

ANALYSIS OF SAW DUST FOR THE STABILIZATION OF SUGROUNDS ON ROAD TRACKS

Antero Yampier Salazar Gallardo, Bach.¹; Carlos Elder Rudecindo Calua Carrasco, Ing²

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca-Perú. N00033302@upn.pe

² Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca-Perú, carlos.calua@upn.edu.pe

Summary – The research was carried out in Cajamarca in order to determine the behavior of the soils with the incorporation of sawdust at 3%, 5% and 10% established in the NTP 339.141 and NTP 339.145 standards. We worked with an experimental design, working on two motorable trails, Puka Siña with Amoshulca and C.P la Huaracella with the cruise; working with 4 samples. It was found that the average moisture content of the first 2 samples was 6.12% and the other two 16.62%, the granulometric analysis indicated the presence of fine clayey silt soil and the plasticity index gave values of 17.5%, 16 %, 20.45% and 22.05%. Likewise, the soils are classified as OL and CL, that is, organic silt soils and organic clays of low plasticity with sandy gravels and silty clays. Concluding that, the incorporation of sawdust at 3% improves the CBR index of soils by more than 12% with respect to the soil in its natural state, which is why the use of this type of material is recommended in solving problems. similar in Cajamarca and Peru.

Keywords – Stabilization, Sawdust, soils, motorized trail.

ANÁLISIS DEL ASERRÍN PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES EN TROCHAS CARROZABLES

Antero Yampier Salazar Gallardo, Bach.¹; Carlos Elder Rudecindo Calua Carrasco, Ing.²

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca-Perú. N00033302@upn.pe

² Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca-Perú, carlos.calua@upn.edu.pe

Resumen – La investigación se efectuó en Cajamarca con el fin de determinar el comportamiento de los suelos con la incorporación de aserrín al 3%, 5% y 10% establecida en la norma NTP 339.141 y NTP 339.145. Se trabajó con un diseño experimental, trabajándose en dos trochas carrozables Puka Siña con Amoshulca y C.P la Huaracilla con el crucero; trabajando con 4 muestras. Se alcanzó que el promedio de contenido de humedad de las 2 primeras muestras fue de 6.12% y de las otras dos de 16.62%, el análisis granulométrico indica la presencia de suelo fino limo arcilloso y el índice de plasticidad dio como valores 17.5%, 16%, 20.45% y 22.05%. Así mismo, los suelos se clasifican como OL y CL, es decir, suelos limos orgánicos y arcillas limosas. Concluyendo que, la incorporación de aserrín en un 3% mejora el índice de CBR de los suelos en un más del 12% con respecto al suelo en estado natural, por lo que se recomienda el empleo de este tipo de material en la solución de problemas similares en Cajamarca y el Perú.

Palabras Claves – Estabilización, Aserrín, suelos, trocha carrozable.

I. INTRODUCCIÓN

Las carreteras tienen un papel vital como infraestructura pública, sirviendo como un activo importante y facilitando las actividades económicas. Según la Comisión Europea en 2013, estas vías contribuyen significativamente al Producto Interno Bruto (PIB) nacional, representando entre el 3% y el 5%, y en algunos casos, hasta un 15%. La Asociación Mundial de la Carretera en 2014 señala que el transporte es esencial para la economía de la Unión Europea y otros lugares del mundo. La mayoría de los países tienen redes viales que se han desarrollado a lo largo del tiempo, siendo cruciales para la conectividad y el desarrollo económico. En países en desarrollo, el transporte por carretera es aún más fundamental, ya que a menudo es el único medio de transporte disponible y accesible.

Alrededor de 900 millones de habitantes de las zonas rurales en todo el mundo enfrentan desafíos debido a la carencia de un sistema de transporte adecuado, con problemas en términos de frecuencia, calidad y seguridad. Esto se debe, en gran medida,

a que muchos caminos rurales no están pavimentados y presentan suelos inapropiados, lo que dificulta el transporte de personas y bienes esenciales. Se propone la posibilidad de mejorar las propiedades de estos suelos utilizando varios residuos como material agregado, con el fin de hacerlos más estables y cumplir con estándares de calidad más exigentes, lo que podría contribuir al desarrollo sostenible de estas comunidades rurales (Bustamante Sánchez & Merma Gallardo, 2022).

Indonesia depende considerablemente del sector vial, que representa aproximadamente el 41% del transporte de carga interurbana y el 93% del transporte de pasajeros. Este sector también tiene un impacto significativo en la economía, contribuyendo alrededor del 7% al PIB y absorbiendo el 20% del presupuesto total asignado al desarrollo. Sin embargo, a pesar de esta importancia, la mayoría de las carreteras del país se encuentran en mal estado, especialmente durante la temporada de lluvias, debido a la presencia de varios tipos de suelos, siendo el arcilloso el más común. Esta situación dificulta el transporte de suministros y materiales esenciales para la población. Es fundamental aumentar la densidad del suelo, disminuir el nivel freático, fortalecer la capacidad portante y corregir las propiedades físicas del suelo para rehabilitar y mejorar estas carreteras. Esto se traduce en un incremento de la resistencia y la capacidad de carga de la vía. Se han utilizado diversos materiales, como las resinas de materiales porosos, con resultados satisfactorios para prolongar la vida útil de las carreteras (Putra et al., 2022).

En el Perú, la infraestructura vial desempeña un papel crucial en el desarrollo económico y social del país, siendo vital para garantizar la conectividad y el funcionamiento adecuado de las vías de comunicación. Sin embargo, se ha observado que muchas carreteras rurales están en mal estado debido a la falta de una adecuada gestión de mantenimiento o al uso de materiales que se deterioran rápidamente, lo que afecta negativamente su calidad y seguridad para el transporte de bienes y servicios. Para extender la vida útil de estas carreteras, es esencial optimizar propiedades como el CBR (índice de soporte de California) y el índice de plasticidad, especialmente en suelos arcillosos. Para abordar este desafío, se recurre a resinas y materiales porosos que buscan mejorar la resistencia mecánica del suelo y aumentar la cohesión en la

subrasante de las carreteras (Tunque, 2021). En la región de Cajamarca, se enfrenta la dificultad de la estabilidad del suelo debido a la variedad de suelos presentes, cada uno con distintas características de resistencia. Los suelos arcillosos, en particular, son especialmente problemáticos debido a su propensión a asentarse bajo cargas aplicadas. Por tanto, resulta crucial estabilizar mecánicamente estos suelos utilizando materiales como la cal o cenizas de diversos productos. Esta medida busca mejorar la resistencia del suelo, reducir los costos de estabilización y promover prácticas ambientales sostenibles (Cajaleón & Mondragón, 2018). La incertidumbre que rodea las características de los suelos en las diversas trochas carrozables de la provincia de Cajamarca refleja similitudes con las carreteras del resto del país. Mayormente compuestos por suelos arcillosos difíciles de manejar, estos suelos requieren técnicas de estabilización mecánica. Este proceso implica manipular o tratar los suelos naturales para aprovechar sus mejores cualidades, obteniendo un suelo sólido y estable capaz de soportar las cargas a las que estará expuesto.

La investigación se llevará a cabo en una trocha carrozable ubicada en el Distrito, Provincia y Departamento de Cajamarca, con coordenadas 7°12'47.4" S 78°28'42.0" W. Esta carretera, al igual que muchas otras trochas carrozables, enfrenta problemas, especialmente durante los meses de enero a abril, cuando las lluvias agravan el deterioro de la subrasante. Este deterioro afecta significativamente el desarrollo económico y social de Cajamarca, ya que esta carretera conecta la capital del departamento con importantes destinos turísticos de la región.

Por consiguiente, llevar a cabo un estudio de estabilización de esta trocha carrozable es de suma importancia, dado que es crucial considerar la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que respecta a la resistencia como a las posibles variaciones de volumen, como el hinchamiento y la retracción. Además, los cambios de volumen en un suelo de subrasante con características expansivas pueden provocar daños severos.

II. METODOLOGÍA Y MÉTODOS

El nivel de investigación aplicada se fundamentó en normas específicas, como el análisis granulométrico por tamizado (MTC E 107 – NTP 339.128), los Límites de Atterberg (MTC E 110, MTC E 111 - NTP 339.129), el Proctor modificado (MTC E 115 – NTP 339.141) y el California Bearing Ratio (CBR) (MTC E 132 – NTP 339.145). Estos métodos permitieron evaluar el comportamiento de la carretera antes y después de la aplicación de aserrín para la estabilización.

Se optó por un diseño experimental, considerado el método más preciso para recopilar datos y probar hipótesis. Este enfoque se caracteriza por el uso de matemáticas, estadísticas y, en ocasiones, lógica para controlar las variables y medir las diferencias estadísticas entre los resultados. En este estudio, la variable independiente involucra las muestras a las que se añadió aserrín en diferentes proporciones (3%, 5% y 10%), mientras que la variable dependiente consiste en la estabilización de los suelos en las trochas carrozables.

La investigación se enmarca en un enfoque descriptivo, que busca explicar el proceso de incorporación del aserrín en varios porcentajes y comparar los eventos observados para la estabilización de las trochas carrozables en Cajamarca. Este enfoque también permite establecer las propiedades y características antes y después de la aplicación del aserrín para analizar los resultados obtenidos.

Población

La población bajo estudio está compuesta por las trochas carrozables que conectan los lugares PUKA SIÑA con AMOSHULCA, cerca de la iglesia pentecostal La Cosecha, y la lotización Walter, con coordenadas aproximadas de 7°12'47.4" S 78°28'42.0" W. Además, se incluye la trocha carrozable que enlaza el centro poblado La Haraclla con el crucero, ubicado en las coordenadas 7°13'46.99" S 78°24'41.83" W. Estas vías se encuentran en el distrito y provincia de Cajamarca y tienen una longitud estimada de entre 2 y 10 kilómetros..

Muestra

La muestra considerada para el estudio en las trochas carrozables propuestas, se ha determinado de manera No probabilística con una longitud aproximada de 400 m para la realización de las calicatas. Así mismo, el criterio que se ha tenido en cuenta para elegir estos lugares es que se observado que dicho lugar presenta inestabilidad en sus suelos en épocas de lluvia, y son del tipo arcillosos y además son las zonas más afectadas en todo el trayecto de las mencionadas trochas, por lo tanto, existe la necesidad de plantear una alternativa de solución a dicha problemática y al ser un problema que afecta a una población humilde es que se realiza este trabajo.

Tabla 1: Vía de acceso a la trocha carrozable Puka Siña con Amoshulca

Punto de partida	Punto de llegada	Tipo de carretera	Distancia en (km)	Tiempo en vehículo
Ovalo del inca	PUKA SIÑA con AMOSHULCA	Asfaltada - Trocha	8 km aprox.	20 min

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 2: Vía de acceso a la trocha carrozable C.P. La Huaracclla con el Crucero

Punto de partida	Punto de llegada	Tipo de carretera	Distancia en (km)	Tiempo en vehículo
Plaza pecuaria Iscocongá	CP LA Huaracclla con el Crucero	Asfaltada - Trocha	5.67 km aprox.	10 min

Nota. En la tabla se muestra la vía de acceso a la trocha carrozable mencionada. Fuente: elaboración propia (2023).

De igual manera, conforme al Manual de Carreteras "Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos", en la sección dedicada a suelos y pavimentos, se especifica que para las carreteras de Bajo Volumen de Tránsito, es decir, aquellas con un Índice Medio Diario Anual (IMDA) de ≤ 200 vehículos/día por calzada, se debe llevar a cabo una calicata por cada kilómetro de longitud de la vía. Estas calicatas deben tener una profundidad de 1.50 metros con respecto al nivel de la subrasante del proyecto. Por lo tanto, en el marco de la

presente investigación, se efectuarán dos calicatas con el fin de extraer el material necesario y obtener una muestra representativa del suelo, sobre la cual se llevarán a cabo posteriormente los ensayos de laboratorio (MTC, 2016).

A. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En esta investigación, se empleará la técnica de observación directa para registrar visualmente los fenómenos bajo estudio. Los instrumentos de recolección de datos incluirán equipos y herramientas de laboratorio, así como manuales y normas que detallan los procedimientos de ensayo. Los ensayos serán realizados en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte, ubicado en Cajamarca, siguiendo tanto las normas técnicas peruanas como las establecidas por la American Society for Testing and Materials (ASTM). Al llevar a cabo estos ensayos tanto antes como después de la incorporación del aserrín en las muestras obtenidas en campo, se podrá evaluar la efectividad de la mejora en la estabilización de las trochas carrozables objeto de estudio. Esto garantizará la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos.

Técnicas e instrumentos de análisis de datos

Se utilizará el software Excel 2020 como instrumento para analizar los datos recopilados en los ensayos mencionados. Este programa facilita la creación de hojas de cálculo individuales para cada ensayo, así como la generación de gráficos y tablas comparativas. Esto permitirá una interpretación clara y comprensible de los resultados de laboratorio para cualquier persona interesada en el estudio.

B. Materiales, instrumentos y métodos

Extraction de la muestra.

La investigación se inicia con la excavación de 2 calicatas cada 500 metros en los sitios determinados por el investigador. Una vez excavadas, se extraen muestras de suelo de estas calicatas y se colocan en sacos emplastados para preservar su composición físico-química original. Estas muestras son luego transportadas al laboratorio de la Universidad Privada del Norte en Cajamarca, donde se llevarán a cabo los ensayos correspondientes. Los ensayos se realizarán tanto en muestras en su estado natural, es decir, sin la adición de aserrín, como en muestras con la adición de este material.

Contenido de humedad (w%) ASTM D 2216

El ensayo se realizó con el fin de determinar el contenido de agua presente en las muestras de suelo extraídas de las trochas carrozables. Para ello, se registraron las características de los recipientes vacíos y se colocó el material sin alterar en su interior. Posteriormente, se sometió el conjunto a un proceso de secado en una estufa a una temperatura controlada de 110 °C ± 5°C, durante un período de 24 horas.

Análisis granulométrico del suelo grueso (retenido malla N° 200) ASTM C 136-01

22nd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Sustainable Engineering for a Diverse, Equitable, and Inclusive Future at the Service of Education, Research, and Industry for a Society 5.0. Hybrid Event, San Jose – COSTA RICA, July 17 - 19, 2024.

Las muestras se introducen en el horno para su desecación. El procedimiento se centra en separar una porción conocida de agregado seco mediante una serie de tamices con aberturas gradualmente más pequeñas, con el objetivo de identificar los tamaños de las partículas. Se utilizan conjuntos de tamices estándar y un tamiz de lavado N° 200, que debe tener una altura mínima sobre la pantalla de 50 mm o 2 pulgadas para evitar pérdidas. Además, se necesitan un horno de secado, balanzas y recipientes para muestras. Por último, entre los materiales empleados se encuentran muestras de suelo en estado seco y muestras patrón de las dos trochas carrozables consideradas para el estudio (Botía, 2015).

Límites de Atterberg (Límite líquido, Límite plástico, y el índice de plasticidad de los suelos) ASTM D 4318.

El límite líquido se estableció mediante ensayos en los que una porción de la muestra se coloca en una copa de bronce y se somete a un proceso de penetración gradual. Por otro lado, el límite plástico se determinó aplicando presión y rodando una parte del suelo en un cilindro de 3.2 mm de diámetro, amasándolo hasta que su contenido de agua se reduce lo suficiente como para formar un hilo que finalmente se quiebra. El índice de plasticidad se calculó a partir de la diferencia entre los valores obtenidos para el límite líquido y el límite plástico (Botía, 2015).

Capacidad portante del suelo (Proctor modificado): ASTM D 1557.

El procedimiento consistió en emplear un molde cilíndrico de 2.320 cm³ de capacidad y una masa de 4,535 kg, la cual fue soltada desde una altura de 457 mm para compactar la muestra. Se realizaron 5 capas de compactación, aplicando entre 25 y 60 golpes a cada capa para asegurar una compactación uniforme y adecuada (Botía, 2015).

En cuanto a los equipos y aparatos utilizados, el ensamblado del molde consistió en un equipo cilíndrico de metal rígido, con las capacidades y dimensiones establecidas en la norma. Se emplearon dos tipos de moldes: uno de 4 pulgadas y otro de 6 pulgadas. El molde de 4 pulgadas tenía un diámetro interior promedio de 4.000 ± 0.016 pulgadas (101.6 ± 0.4 mm), una altura de 4.584 ± 0.018 pulgadas (116.4 ± 0.5 mm) y un volumen de 0.0333 ± 0.0005 pies cúbicos (943.0 ± 14.0 cm cúbicos). Por su parte, el molde de 6 pulgadas tenía un diámetro interior aproximado de 6.000 +/- 0.026 pulgadas (152.4 +/- 0.7 mm), una altura de 4.584 +/- 0.018 pulgadas (116.4 +/- 0.5 mm) y un volumen de 0.0750 +/- 0.0009 pies cúbicos (2124 +/- 25 cm cúbicos). Además, se empleó un pisón que debía estar libre hasta una distancia de 18.00 +/- 0.05 pulgadas (457.2 +/- 1.3 mm) de la superficie de la muestra, con un peso de 10.00 +/- 0.02 libras (44.48 +/- 0.09 N) o una masa de 4.5364 +/- 0.009 kg).

.Materiales

El suelo en estado seco utilizado en el ensayo consistió en

muestras patrón (MP) extraídas de dos trochas carrozables específicas. La primera muestra patrón (MP) fue obtenida de la trocha carrozable que une PUKA SIÑA con AMOSHULCA, mientras que la segunda muestra patrón (MP) fue extraída de la trocha carrozable que conecta el CP LA HARACLLA con el CRUCERO. Estas muestras se emplearon como referencia para el análisis y la comparación de los resultados obtenidos durante el ensayo.

Procedimiento

Sin aserrín

El proceso inicia con el secado de la muestra de suelo, seguido por su desmenuzando utilizando un mazo de goma y su tamizado mediante el procedimiento prescrito en la norma ASTM D 1557. La muestra inicial, con un peso aproximado de 36 kg, se divide en porciones de 6 kg cada una. Se registra el peso de los moldes con y sin el collar superior. Luego, se mezcla el suelo con una cantidad específica de agua para alcanzar la consistencia deseada y se coloca una quinta parte de la muestra en el molde, garantizando una distribución uniforme. Se compacta cada una de las cinco capas, aplicando un número de golpes que varía entre 25 y 60. Una vez completada la compactación, se retira el collar superior y se nivela la superficie del suelo. Se vuelve a pesar el molde y se extrae una muestra que no sea inferior a 100 g para su posterior análisis.

Añadiendo aserrín

En el procedimiento de Proctor, se introduce el aserrín en las proporciones definidas para el estudio. Luego, se realiza la corrección de la unidad de peso y el contenido de agua para suelos que contienen partículas de tamaño superior, siguiendo las directrices establecidas en la norma ASTM D 4718. Este método se fundamenta en pruebas llevadas a cabo en suelos y mezclas de suelo con roca, teniendo en cuenta la fracción de gran tamaño retenida en el tamiz No. 4 (4.75 mm). Se aplica cuando hasta el 40% del material se retiene en dicho tamiz, y es válido incluso si la fracción de gran tamaño está retenida en otro tamiz. Para llevar a cabo este procedimiento, es necesario determinar el contenido de humedad y el peso específico de la muestra que pasa por el tamiz No. 4 y la de tamaño superior al mismo. Después, se utiliza la masa del material seco determinada en el análisis granulométrico, que corresponde a la fracción más fina o sobredimensionada. Se aplica la fórmula establecida en la normativa para calcular la densidad máxima y determinar el contenido de humedad óptimo para la muestra (Botía, 2015).

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California)

El procedimiento involucró la aplicación de una carga de prueba sobre una superficie de suelo utilizada en investigaciones para el diseño de pavimentos. En el entorno de laboratorio, se utilizó un pistón circular para penetrar el material compactado, simulando un molde con un índice de

penetración constante. El CBR (California Bearing Ratio) se expresa como la relación entre la carga requerida para penetrar el suelo de prueba a 0.1 pulgadas (2.5 mm) y 0.2 pulgadas (5 mm) de profundidad, y la carga unitaria necesaria para penetrar el material estándar, según lo establecido por Botía (2015).

Equipos y aparatos a utilizar:

Para llevar a cabo el ensayo, se necesitan varios equipos y dispositivos específicos:

Máquina de carga: Requiere una cabeza móvil o base que se desplace a una velocidad constante y sin vibraciones de 0.05 pulgadas (1.27 mm) por minuto. Se debe mantener un índice de carga dentro de un margen del 20% del rango desarrollado durante la penetración, con una carga máxima anticipada de 10 lbf (44 N) o menos para una capacidad de 10-kip (44.5-kN), 5 lbf (22 N) para 5-kip (22.3-kN), y 2 lbf (8.9 N) para 2.5-kip (11.2-kN).

Dispositivo de medición de penetración: Debe ser capaz de leer desde cero hasta 1 pulgada (0.025 mm) en acero.

diámetro interior de 6 ± 0.026 pulgadas (152.4 ± 0.66 mm) y una altura de 7 pulgadas ± 0.018 pulgadas (177.8 ± 0.46 mm). Asimismo, se requiere que disponga de un collarín metálico de extensión con una altura de 2 pulgadas (50.8 mm) y un plato base de metal que cuente con al menos 28 agujeros distribuidos uniformemente sobre su superficie dentro de la circunferencia interior del molde.

En cuanto al disco de espaciador, debe tener un diámetro exterior mínimo de 5 15/16 pulgadas (150.8 mm) y una altura específica de 2.416 ± 0.0052 pulgadas (61.37 ± 0.127 mm).

Pisón: Debe cumplir con el método de prueba D 1557.

Dispositivo de medición de la expansión.

Pesas: Se requieren una o dos pesas con masas totales de 4.54 ± 0.02 kg, así como otras piezas metálicas ranuradas con masas de 2.27 ± 0.02 kg.

Dispositivo de medición de la hinchazón: Debe ser capaz de leer hasta 0.001 pulgadas (0.025 mm) con un rango mínimo de 0.200 pulgadas (5 mm).

Papel de filtro: Debe ser resistente al agua y tener un diámetro de 15 cm.

Horno secador.

Tamices.

Balanza.

Materiales

Suelo en estado seco:

Muestras patrón (MP) extraída de la trocha carrozable que une PUKA SIÑA con AMOSHULCA.

Muestras patrón (MP) extraída de la trocha carrozable que une el CP LA HARACLLA con el CRUCERO.

Aserrín.

Procedimiento

El método empleado para determinar la humedad óptima y la densidad máxima de las muestras de suelo fue el ensayo Proctor modificado. Una vez obtenidos estos valores, se procedió a ajustar la humedad de una muestra de suelo según lo requerido para alcanzar la humedad óptima. Posteriormente, se compactó la muestra en tres moldes CBR estandarizados, registrando mediciones de los moldes antes y después de la compactación, incluyendo el peso, altura, diámetro externo e interno.

Principio del formulario

La compactación se realizó en tres capas por molde, utilizando un mazo de 2,5 kg que se dejó caer libremente desde cierta altura para aplicar 15, 30 o 60 golpes por capa, dependiendo de la energía de compactación deseada. Después de compactar, se enrasó el molde, se desmontó y se volvió a montar invertido. Los moldes se sumergieron en agua y se colocaron la placa perforada y el vástago, junto con los pesos necesarios para calcular la sobrecarga estimada. Se ubicó el trípode de medición en el borde del molde, alineándolo con el vástago del micro comparador, y se registraron mediciones diarias del micro comparador durante al menos 4 días. Después de este período de medición, se retiró la muestra del agua, se drenó y se secó externamente. Posteriormente, se aplicó una carga sobre el pistón de penetración mediante la prensa CBR y se registraron las lecturas de la curva presión-penetración. Se tomaron registros de las cargas aplicadas y las penetraciones, y finalmente se utilizó la ecuación correspondiente para analizar los resultados obtenidos.

Adicionando aserrín

Lo mismo que se realiza en CBR, pero se adiciona el aserrín en las proporciones en estudio.

IV. RESULTADOS

Los resultados mostrados a continuación, se han plasmado en tablas y gráficos, presentando los ensayos de contenido de humedad, granulometría, límites de Atterberg, proctor modificado, y CBR.

Contenido de humedad de las muestras de las trochas carrozables:

Se obtuvo resultados de las muestras patrones de las trochas carrozables consideradas; las dos primeras pertenecen a la trocha carrozable hacia Agocucho y la dos últimas a la trocha del C.P. La Huaracilla.

Tabla 3: Contenido de humedad de las trochas carrozables

Muestra	W%	Promedio (%)
M1	5.268	6.12
M2	6.976	
M3	20.02	16.52
M4	13.02	

Fuente: elaboración propia (2023).

Peso específico del material fino

Los resultados mostrados a continuación representan el promedio de los análisis encontrados en las pruebas realizadas.

Tabla 4: Peso específico del material fino de las muestras

Muestra	Ys
M1	2.558
M2	2.554
M3	2.899
M4	2.833

Fuente: elaboración propia (2023).

Análisis granulométrico

Trocha carrozable hacia Agocucho M1

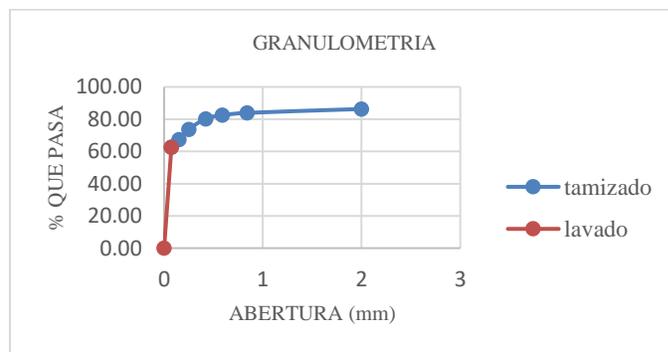
El resultado muestra que el 62.59% de las partículas pasaron a través de la malla número 200, lo cual indica que más de la mitad del suelo es fino y está compuesto principalmente por limo arcilloso.

Tabla 5: Análisis granulométrico de la muestra M1

Tamiz	Abertura	Peso Retenido (gr)	% RP	%RA	% que pasa
Nº 10	2	136.93	13.69	13.69	86.31
Nº 20	0.84	24.04	2.40	16.10	83.90
Nº 30	0.59	13.92	1.39	17.49	82.51
Nº 40	0.42	22.59	2.26	19.75	80.25
Nº 60	0.25	65.93	6.59	26.34	73.66
Nº 100	0.15	62.38	6.24	32.58	67.42
Nº 200	0.074	48.36	4.84	37.42	62.59
P Nº 200 (lavado)	0	625.85	62.59	100.00	0.00
Total		1000	100		

Fuente: elaboración propia (2023).

Gráfico 1: Curva granulométrica M1



Fuente: elaboración propia (2023).

Trocha carrozable hacia Agocucho M2

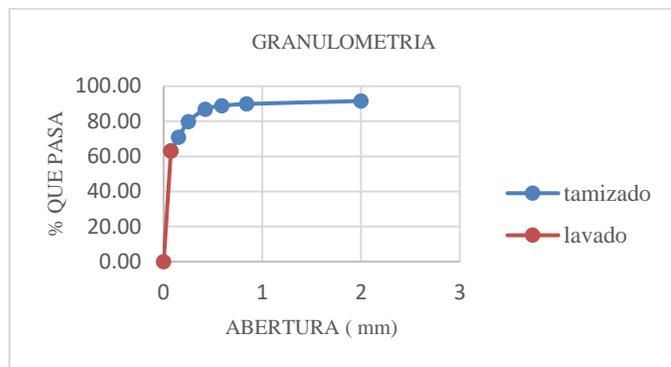
Los resultados muestran que el porcentaje de partículas que pasaron a través de la malla número 200 es del 63.07%, lo cual indica que este valor es superior al 50%. Esto sugiere que el material es granular y corresponde a una arena con presencia de arcillas.

Tabla 6: Análisis granulométrico de la muestra M2

Tamiz	Abertura	Peso Retenido (gr)	% RP	%RA	% que pasa
Nº 10	2	84.73	8.47	8.47	91.53
Nº 20	0.84	16.71	1.67	10.14	89.86
Nº 30	0.59	10.34	1.03	11.18	88.82
Nº 40	0.42	20.2	2.02	13.20	86.80
Nº 60	0.25	71.74	7.17	20.37	79.63
Nº 100	0.15	88.28	8.83	29.20	70.80
Nº 200	0.074	77.35	7.74	36.94	63.07
P Nº 200 (lavado)	0	630.65	63.07	100.00	0.00
Total		1000	100		

Fuente: elaboración propia (2023).

Gráfico 2: Curva granulométrica M2



Fuente: elaboración propia (2023).

Trocha carrozable C.P. La Huaracclla

Se obtuvieron resultados como muestran a continuación

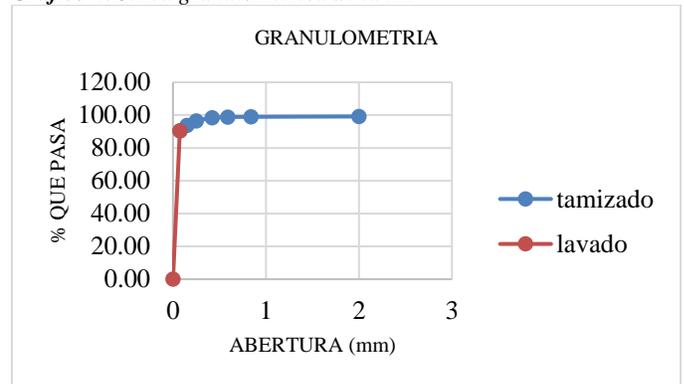
Gráfico 3: Análisis granulométrico de la muestra M3

Tamiz	Abertura	Peso Retenido (gr)	% RP	%RA	% que pasa
Nº 10	2	8.55	0.86	0.86	99.15
Nº 20	0.84	1.99	0.20	1.05	98.95
Nº 30	0.59	1.89	0.19	1.24	98.76
Nº 40	0.42	4.74	0.47	1.72	98.28
Nº 60	0.25	18.44	1.84	3.56	96.44
Nº 100	0.15	26.97	2.70	6.26	93.74
Nº 200	0.074	34.33	3.43	9.69	90.31
P Nº 200 (lavado)	0	903.09	90.31	100.00	0.00
Total		1000	100		

22nd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Sustainable Engineering for a Diverse, Equitable, and Inclusive Future at the Service of Education, Research, and Industry for a Society 5.0. Hybrid Event, San Jose – COSTA RICA, July 17 - 19, 2024.

Fuente: elaboración propia (2023).

Gráfico 4: Curva granulométrica de la M3



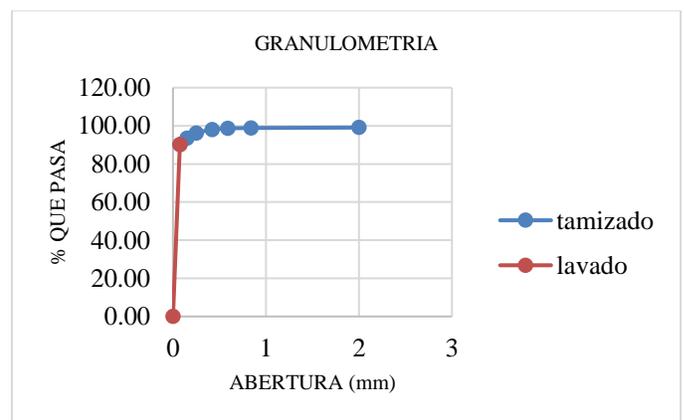
Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 7: Análisis granulométrico de la muestra M3

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% RP	% RA	% que pasa
Nº 10	2	9.49	0.95	0.95	99.05
Nº 20	0.84	1.93	0.19	1.14	98.86
Nº 30	0.59	2.83	0.28	1.43	98.58
Nº 40	0.42	5.68	0.57	1.99	98.01
Nº 60	0.25	18.38	1.84	3.83	96.17
Nº 100	0.15	26.88	2.69	6.52	93.48
Nº 200	0.074	34.27	3.43	9.95	90.05
P Nº 200 (lavado)	0	900.54	90.05	100.00	0.00
Total		1000	100		

Fuente: elaboración propia (2023).

Gráfico 5: Curva granulométrico de la M4



Fuente: elaboración propia (2023).

Resumiendo, se tiene; la granulometría por lavado pasa mas del 50% por el tamiz Nº 200 por ello se considera suelo fino.

Muestra	Antes	Después
M1	1000	374.15
M2	1000	369.35
M3	1000	96.91
M4	1000	99.46

Fuente: elaboración propia (2023).

Límites de plasticidad para las muestras en las trochas carrozables.

Las tablas exponen los resultados encontrados del límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad.

Tabla 8: Índice de plasticidad de la trocha carrozable Agocucho

Muestra	LL	LP	IP (%)
M1	17.5	0	17.5
M2	16	0	16

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 9: Índice de plasticidad de la trocha carrozable C.P. La Huaracilla

Muestra	LL	LP	IP (%)
M3	42.9	22.45	20.45
M4	42	19.954	22.046

Fuente: elaboración propia (2023).

Clasificación de suelos

Respecto a este punto se tiene; en la trocha hacia Agocucho las muestras M1 y M2 y para la trocha en el C.P. La Huaracilla con las muestras M3 y M4.

Tabla 10: Clasificación de Suelos ZUCS

Muestra	Tipo de suelo
M1	OL
M2	OL
M3	CL
M4	CL

Fuente: elaboración propia (2023).

El suelo de tipo OL se caracteriza por ser una mezcla de limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad. Por otro lado, el suelo CL se define como arcillas inorgánicas con una plasticidad que varía de baja a media, acompañadas de gravas arenosas y arcillas limosas.

Ensayo de compactación Proctor modificado

La tabla mostrada a continuación son los resultados obtenidos en la realización de ensayos a la muestra patrón y al ser agregados 3%, 5% y 10% de aserrín.

Tabla 11: Ensayos de proctor modificado de muestra patrón y aserrín en porcentajes indicados

Muestra	Proctor							
	Patrón		3%		5%		10%	
	DS	Wo%	DS	Wo%	DS	Wo%	DS	Wo%
M1	2.26	7	2.205	9.3	1.95	9	1.58	12
M2	2.235	6.5	2.05	9.3	1.84	9.5	1.61	11.5
M3	1.9	11	1.845	10.3	1.845	9.8	1.62	11.5
M4	1.712	9.9	1.59	8	1.623	9.5	1.548	10.2

Fuente: elaboración propia (2023).

Ensayo de CBR

Tabla 12: Ensayos de CBR de la trocha carrozable Agocucho a 1" más el % de aserrín indicado

Muestra	%	CBR 1"							
		Patrón		3%		5%		10%	
		DS	CBR	DS	CBR	DS	CBR	DS	CBR
M1	100	1.24	0.64	1.44	1.62	1.25	1.15	1.11	0.67
	95	1.18	0.55	1.36	1.24	1.18	0.99	1.06	0.59
M2	100	1.26	0.57	Wo% M1=M2	1.62	1.28	1.08	1.16	0.67
	95	1.2	0.52		1.24	1.22	0.95	1.1	0.61

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 13: Ensayos de CBR de la trocha carrozable Agocucho a 2" más el % de aserrín indicado

Muestra	%	CBR 2"							
		Patrón		3%		5%		10%	
		DS	CBR	DS	CBR	DS	CBR	DS	CBR
M1	100	1.24	0.87	1.44	1.8	1.25	1.68	1.11	1.17
	95	1.18	0.71	1.36	1.44	1.18	1.39	1.06	0.98
M2	100	1.26	0.74	Wo% M1=M	1.8	1.28	1.63	1.16	1.1
	95	1.2	0.69		2	1.44	1.22	1.4	1.1

Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 14: Ensayos de CBR de la trocha carrozable C.P. La Huaracilla 1" más el % de aserrín indicado

Muestra	%	CBR 1"							
		Patrón		3%		5%		10%	
		DS	CBR	DS	CBR	DS	CBR	DS	CBR
M3	100	1.34	0.54	1.24	0.19	1.27	0.27	1.22	0.19
	95	1.28	0.354	1.18	0.16	1.21	0.23	1.16	0.17
M4	100	1.38	0.57	1.4	0.18	1.21	0.29	1.26	0.19
	95	1.31	0.37	1.33	0.16	1.15	0.24	1.2	0.17

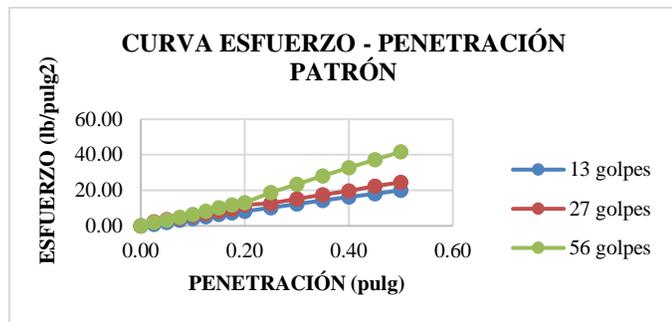
Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 15: Ensayos de CBR de la trocha carrozable C.P. La Huaracilla 1" más el % de aserrín indicado

		CBR 2"							
Muestra	%	Patrón		3%		5%		10%	
		DS	CBR	DS	CBR	DS	CBR	DS	CBR
M3	100	1.34	0.59	1.24	0.21	1.27	0.29	1.22	0.2
	95	1.28	0.4	1.18	0.18	1.21	0.24	1.16	0.18
M4	100	1.38	0.62	1.4	0.21	1.21	0.32	1.26	0.21
	95	1.31	0.44	1.33	0.19	1.15	0.29	1.2	0.19

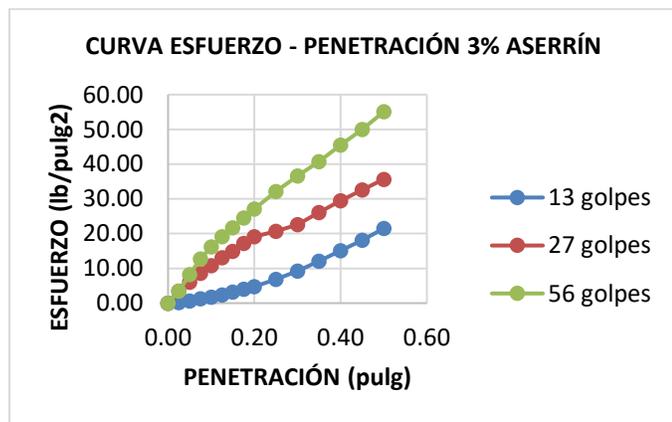
Fuente: elaboración propia (2023).

Gráfico 6: Curva de esfuerzo penetración de la muestra patrón



Fuente: elaboración propia (2023).

Gráfico 7: Curva de esfuerzo penetración de la muestra patrón



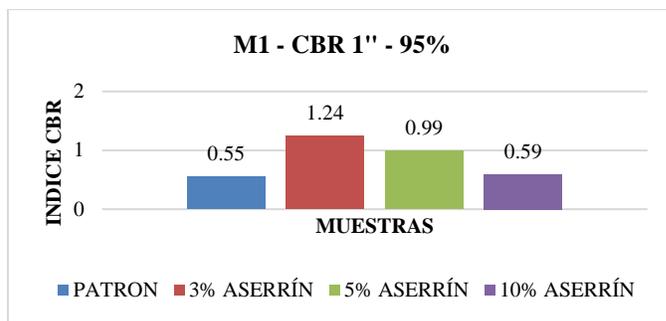
Fuente: elaboración propia (2023).

En el gráfico anterior se muestra la mejora del índice de CBR en un aproximado del 12%.

Determinar la cantidad optima de aserrín y la variación de resistencia.

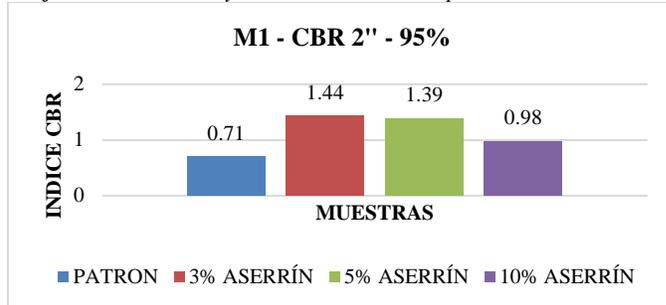
En base a la proporción de aserrín agregado se obtuvieron las siguientes graficas tanto para M1, M2, M3 Y M4. Así mismo, en cada gráfico se observa el índice de CBR y la cantidad de aserrín optimo.

Gráfico 8: Índice CBR y cantidad de aserrín optimo M1



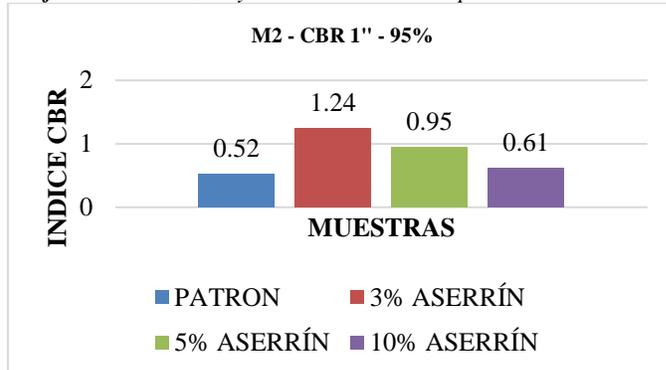
Fuente: elaboración propia (2023).

Gráfico 9: Índice CBR y cantidad de aserrín optimo M1



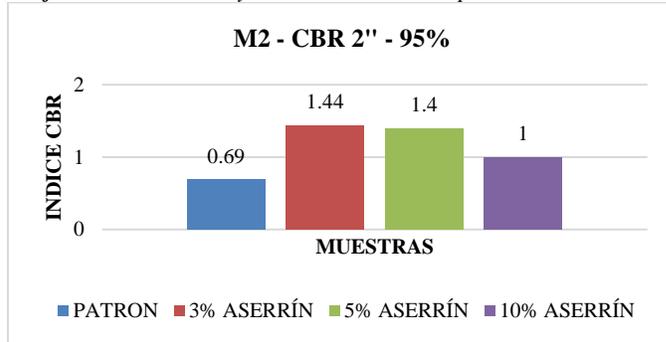
Fuente: elaboración propia (2023).

Gráfico 10: Índice CBR y cantidad de aserrín optimo M2



Fuente: elaboración propia (2023).

Gráfico 11: Índice CBR y cantidad de aserrín optimo M2



Fuente: elaboración propia (2023).

Gráfico 12: Índice CBR y cantidad de aserrín optimo M3

Los resultados del análisis de las muestras de suelo de las dos trochas carrozables estudiadas indican que el suelo de la trocha de Agocucho se clasifica como OL, lo que corresponde a suelos con limos orgánicos arcillosos y limos orgánicos limosos de baja plasticidad. Por otro lado, el suelo de la trocha carrozable

La clasificación de La Huaraclla como CL indica que está compuesta principalmente por arcillas inorgánicas con plasticidad media a baja, y también contiene gravas arcillosas limosas. Estos hallazgos coinciden con investigaciones previas realizadas por Hernández et al. (2016), Pérez & Torres (2015), Cañar (2017), Serrano (2022), Fonseca (2022), y Gálvez & Santoyo (2019), quienes también encontraron suelos con características similares en sus respectivos estudios de estabilización de suelos y clasificaciones según el sistema SUCS.

Asimismo, concuerdan con los hallazgos de Cañar (2017), quien clasificó los suelos como SM (arena limosa) y CH (arcilla de alta plasticidad), y con los resultados de Serrano (2022), que encontró suelos muy inestables. Los resultados también son similares a los obtenidos por Fonseca (2022), quien describió suelos limo arenosos de alta plasticidad y suelos granulares con finos en pequeñas cantidades del tipo A-2-4.

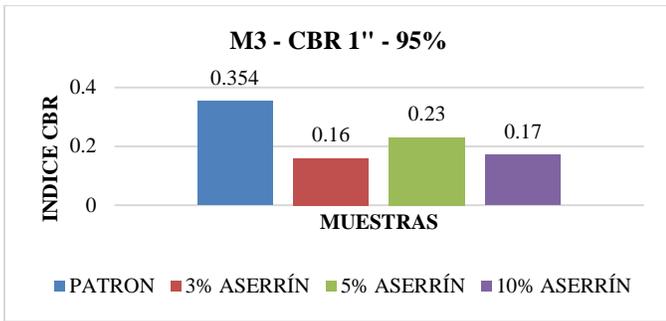
En resumen, los resultados obtenidos en esta investigación corroboran y se alinean con estudios previos realizados sobre la clasificación y características de los suelos en la región, lo que contribuye a fortalecer la comprensión de la naturaleza de los suelos y sus propiedades para futuras intervenciones de estabilización y mejora de las trochas carrozables.

Durante el ensayo de contenido de humedad en las dos primeras muestras de la carretera hacia Agocucho, se observaron valores de 5.27% y 6.98%, respectivamente. En contraste, para las otras dos muestras, se registraron valores de 20.23% y 13.12%.

Además, al analizar la granulometría de las primeras muestras, se observó que más del 50% de las partículas pasaron a través de la malla 200, lo que indica la presencia de un suelo fino compuesto por limo arcilloso.

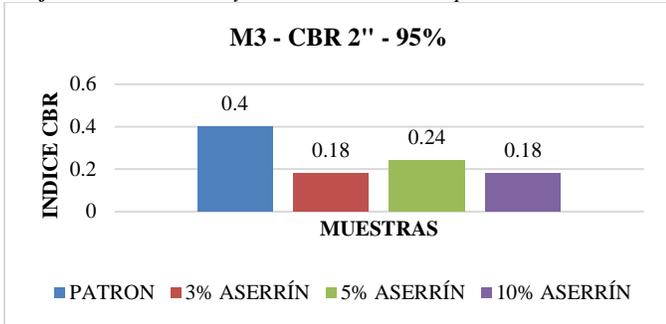
En contraste, al analizar las dos últimas muestras, se encontró que menos del 50% de las partículas pasaron a través de la malla 200, lo que sugiere un suelo más granular, posiblemente compuesto por grava o arena.

Estos descubrimientos están en línea con investigaciones anteriores realizadas por Hernández et al. (2016), quienes observaron que el material fino pasaba el 84.84% de la malla número 200, con una combinación de dicho material con el pasante del 79.33%. Del mismo modo, estos resultados concuerdan con los obtenidos por Cañar (2017), quien identificó un suelo arenoso con partículas limosas durante su investigación sobre granulometría. Además, son consistentes con los hallazgos de Chinchay (2018), que reportó la presencia de un suelo gravoso arcilloso en su estudio. Estos hallazgos



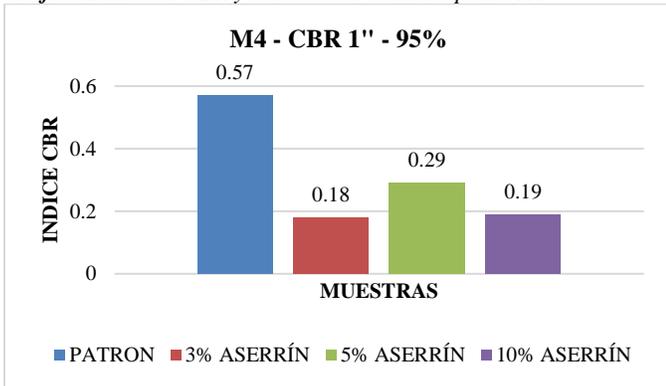
Fuente: elaboración propia (2023).

Gráfico 13: Índice CBR y cantidad de aserrín optimo M3



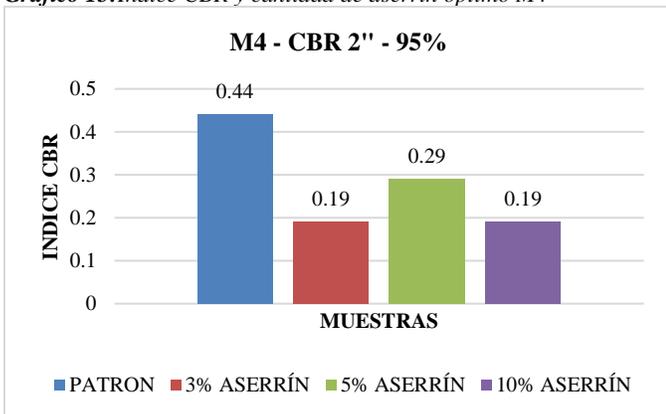
Fuente: elaboración propia (2023).

Gráfico 14: Índice CBR y cantidad de aserrín optimo M4



Fuente: elaboración propia (2023).

Gráfico 15: Índice CBR y cantidad de aserrín optimo M4



Fuente: elaboración propia (2023).

refuerzan la caracterización de los suelos de las trochas carrozables estudiadas y proporcionan información importante sobre su composición y textura, lo que contribuye a comprender mejor su comportamiento y a planificar intervenciones adecuadas para su estabilización y mejora.

Los resultados de los ensayos de CBR en las dos primeras muestras de la carretera hacia Agocucho muestran un incremento significativo en la resistencia al agregar un 3% de aserrín. En la muestra M1, el índice de CBR aumentó del 0.55 al 1.24, representando un aumento del 55.65%, mientras que en la muestra M2, este valor aumentó a 1.44, lo que equivale al 50.69%. Del mismo modo, al adicionar un 3% de aserrín a la muestra patrón M3, el índice de CBR aumentó de 0.52 a 1.24, y en la M4, aumentó de 0.69 a 1.44.

Estos resultados difieren de los obtenidos por Hernández et al. (2016), quienes encontraron un valor de CBR del 1.93%, lo que indica una inadecuación del suelo para este tipo de terreno. Sin embargo, coinciden con los resultados de Pérez & Torres (2015), quienes observaron un aumento significativo en la resistencia a la compactación al agregar un 20% de salmuera. Además, son similares a los resultados de Cañar (2017), quien encontró un aumento del 11.20% en el CBR al agregar un 3% de ceniza de carbón, convirtiendo el suelo en una buena opción para subrasante.

Asimismo, estos resultados se asemejan a los hallazgos de Serrano (2022), quien recomendó la adición del 5% de cloruro de sodio para obtener un CBR del 14.5% al 95%. También son comparables a los resultados de Segovia (2022), quien logró aumentar el valor de CBR con un 30% de hollejo de uva, y a los de Cristóbal (2022), quien mejoró la resistencia con un 10% de ceniza. Además, concuerdan con los resultados de Fonseca (2022), quien mencionó que el cemento aumentó el CBR del 4.7% al 64.30%, y con los de Gálvez & Santoyo (2019), quienes observaron un aumento considerable en la resistencia al agregar un 15% de cáscara de arroz.

La comparación entre las cuatro muestras patrón y las muestras adicionadas con 3, 5 y 10% de aserrín revela una mejora notable en la resistencia, que va desde aproximadamente un 6% hasta un 58.06%. Estos resultados reflejan una tendencia consistente hacia una mayor estabilidad en todas las muestras tratadas.

Sin embargo, es importante señalar que estos resultados contrastan con los obtenidos por Hernández et al. (2016), quienes encontraron un efecto negativo en la muestra estudiada, convirtiéndola en una subrasante inadecuada. Por otro lado, estos hallazgos son similares a los de Pérez & Torres (2015), quienes observaron un aumento significativo en la resistencia al agregar salmuera a la muestra.

En resumen, los resultados de los ensayos muestran una clara mejora en la resistencia de las muestras tratadas con aserrín, lo que sugiere que este material puede ser efectivo para mejorar la estabilidad de las subrasantes de las carreteras.

Después de analizar las cuatro muestras estudiadas, se concluye que la adición del 3% de aserrín es la opción más

favorable. Comparado con otros porcentajes, este nivel de adición proporciona una mayor estabilidad al suelo, aumentando significativamente el CBR en la mayoría de los casos.

Al comparar estos resultados con investigaciones previas mencionadas en la revisión de literatura, se observa que cada estudio presenta diversos porcentajes de adición que demuestran la capacidad de ciertos materiales regionales para mejorar la estabilidad del suelo. Esto resalta la importancia de considerar los recursos locales en la búsqueda de soluciones para la estabilización de carreteras.

Con lo descrito anteriormente, se obtuvo como conclusiones que:

Los resultados obtenidos en este estudio demostraron que la inclusión de un 3% de aserrín mejora el índice de CBR de los suelos en más del 12% en comparación con el suelo en su estado natural. Esta mejora considerable en la resistencia del suelo hace que la opción del 3% sea la más óptima en términos de viabilidad laboral, costos y sostenibilidad para su implementación en este tipo de terreno. Además, esta cantidad de aserrín cumple con los estándares establecidos por las normativas NTP y MTC, confirmando su eficacia en la estabilización del suelo.

Durante la investigación, se logró clasificar los suelos de las trochas carrozables estudiadas. En la carretera hacia Agocucho, el suelo fue clasificado como tipo OL, caracterizado por limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad. Por otro lado, en la carretera de La Huaraclla, el suelo se clasificó como tipo CL, compuesto por arcillas inorgánicas de plasticidad baja con gravas arenosas y arcillas limosas.

Los ensayos de contenido de humedad revelaron diferencias significativas entre las muestras de las dos trochas, y se determinaron los límites de plasticidad de cada muestra, reflejando las características únicas de cada tipo de suelo.

Después de llevar a cabo los ensayos correspondientes, se concluyó que la cantidad óptima de aserrín es del 3% de la muestra, lo que mejora de manera significativa las propiedades físicas y mecánicas de los suelos estudiados.

Se evaluó la resistencia del suelo para cada muestra, tanto la muestra patrón como las muestras con diferentes porcentajes de aserrín adicionado. Los análisis mostraron que la muestra con un 3% de aserrín presentó la mayor mejora en resistencia, lo que la convierte en la opción más adecuada.

En resumen, la comparación entre las muestras sin adición de aserrín y aquellas con diferentes porcentajes de aserrín reveló que la adición del 3% permite una estabilización significativa y una mejora considerable en las propiedades físicas y mecánicas de los suelos estudiados.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asociación Mundial de la Carretera. (2014). *Importancia de la conservación de carreteras*. <http://www.piarc.org>
- Baloochi, H., Aponte, D., & Barra, M. (2020). Estabilización de suelos mediante cenizas volantes de papel usado: Precauciones para su correcto uso. *Applied Sciences*

- (Suiza), 10(23), 1–15.
<https://doi.org/10.3390/app10238750>
- Botía, W. (2015). *MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CÁLCULO* [Tesis de Grado]. Universidad Militar Nueva Granada.
- Bustamante Sánchez, R. D. P., & Merma Gallardo, L. M. (2022). Stabilization of Clay Soils applying PET at 2%, 4% and 6% on Unpaved Roads. *Proceedings of the 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology: "Education, Research and Leadership in Post-Pandemic Engineering: Resilient, Inclusive and Sustainable Actions," 2022-July*.
<https://doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.45>
- Cajaleón, O., & Mondragón, D. (2018). Estabilización de suelos arcillosos agregando cenizas de cáscaras de arroz para la subrasante en el km+ 17 Pimpingos, Choros 2018 [Universidad Cesar Vallejo]. In *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/40609>
- Cañar, E. (2017). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA AL CORTE Y ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS FINOS Y ARCILLOSOS COMBINADAS CON CENIZA DE CARBÓN*. [Título profesional]. Universidad Técnica de Ambato.
- Chinchay, L. (2018). *INFLUENCIA DEL ADITIVO SIKADUST SEAL COMO AGENTE ESTABILIZADOR DE SUELOS EN LA TROCHA CARROZABLE TRAMO LA SERMA-TAMBILLO JAEN, CAJAMARCA* [Tesis de Grado]. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Cristóbal, F. (2022). Estabilización de subrasante con cenizas de eucalipto, paraje turístico Piedra Parada, Concepción, Junín 2021 [Tesis para Título Profesional, Universidad Continental]. In *Universidad Continental*.
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11362>
- Fonseca, M. (2022). Evaluación, incorporando cal y cemento para estabilización de suelos cohesivos en subrasante de carretera Corralcucho - Las Palmas, Cajamarca – 2021 [Título profesional, Universidad César Vallejo]. In *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/101747>
- Gálvez, P., & Santoyo, J. (2019). "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ, CARRETERA YANUYACU BAJO-SEÑOR CAUTIVO" [Título Profesional]. Universidad nacional de Jaén.
- Hernández, J., Mejía, D., & Zelaya, C. (2016). *PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR* [Tesis para título]. Universidad del Salvador.
- MTC. (2016). *MANUAL DE CARRETERAS Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos* (El peruano, Ed.; 3ra ed.).
- Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J., & Romero, H. (2018). *Metodología de la investigación Cuantitativa-Cualitativa y Redacción de la Tesis* (Adriana Gutierrez, Ed.; 5ta ed.).
- Pérez, W., & Torres, J. (2015). *ESTUDIO DE LA CAL Y EL CLORURO DE SODIO COMO AGENTES ESTABILIZADORES DE SUELOS ARCILLOSOS EN PROPIEDADES COMO LA RESISTENCIA Y EXPANSIVIDAD* [Tesis de Grado]. Universidad de Santander.
- Putra, O. A., Herman, H., Medriosa, H., & Nugroho, F. (2022). Eficacia de la ceniza de papel usado para la estabilización en suelos arcillosos. *Revista Ingeniería de Construcción*, 37(2), 253–259.
<https://doi.org/10.7764/RIC.00030.21>
- Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. In *Libro 6ta edición*.
- Segovia, K. (2022). Estabilización de subrasantes blandas modificados con cenizas de hollejo de uva, carretera IC-107, división Cocharcas – Tingue, Los Aquijes, Ica - 2022 [Título Profesional, Universidad Cesar Vallejo]. In *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/97170>
- Serrano, J. (2022). Estabilización de suelos incorporando cloruro de sodio y resina de pino en subrasante de la Avenida Santo Domingo, Abancay 2022 [Tesis para título profesional, Universidad César Vallejo]. In *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/101108>
- Tunque, F. (2021). Estabilización de subrasantes blandos empleando resina natural de pino, trocha carrozable Mayupata, San Pablo, Cusco 2021 [Universidad Cesar Vallejo]. In *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/70768>