

# Effect of Sugarcane Molasses on the Subgrade of a Carriageway

Jack Hendrix Inga Arista, Bachiller<sup>1</sup> , Robert John Vera Benites, Bachiller<sup>1</sup> , Carlos Mario Fernández Díaz, Doctor<sup>1</sup> , Marco Antonio Cerna Vasquez, Doctor<sup>1</sup> , Segundo Eloy Soto Abanto, Doctor<sup>1</sup> , Flor Alicia Calvanapón-Alva, Doctora<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidad César Vallejo (UCV). Perú, ingaj@ucvvirtual.edu.pe, rverabe@ucvvirtual.edu.pe, cmfernandezd@ucvvirtual.edu.pe, mcernav@ucvvirtual.edu.pe, ssotoa@ucv.edu.pe, calvanaponfa@ucvvirtual.edu.pe

**Abstract-** *The objective of this research is to determine the effect of cane molasses on the subgrade of the Sol de Mayo dirt road, Laredo, 2022, where the soil conditions were analyzed in a 1.8 km section of the road, within the district of Laredo, field and laboratory work was carried out. The data were processed to improve the bearing capacity of the road using sugarcane molasses as a stabilizing agent, incorporating 3%, 6% and 9% percentages to the subgrade and thus obtaining various conditions and CBR values, which responded to the general objective of this research. Finally, as a result, it was obtained that there is a directly proportional relationship as the percentage of sugarcane molasses as a stabilizing agent increases, thus increasing and improving the bearing capacity (CBR) of the subgrade.*

**Keywords -** *unpaved roads, cane molasses, CBR, granulometry, consistency limits.*

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

# Efecto de la Melaza de Caña en la Subrasante de una Trocha Carrozable

Jack Hendrix Inga Arista, Bachiller<sup>1</sup>, Robert John Vera Benites, Bachiller<sup>1</sup>, Carlos Mario Fernández Díaz, Doctor<sup>1</sup>, Marco Antonio Cerna Vasquez, Doctor<sup>1</sup>, Segundo Eloy Soto Abanto, Doctor<sup>1</sup>, Flor Alicia Calvanapón-Alva, Doctora<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad César Vallejo (UCV). Perú, ingaj@ucvvirtual.edu.pe, rverabe@ucvvirtual.edu.pe, cmfernandezd@ucvvirtual.edu.pe, mcernav@ucvvirtual.edu.pe, ssotoa@ucv.edu.pe, calvanapofa@ucvvirtual.edu.pe

**Resumen–** La presente investigación tiene como objetivo determinar el efecto de la melaza de caña en la subrasante de la trocha carrozable Sol de Mayo, Laredo, 2022, donde se analizó las condiciones del suelo en un tramo de 1.8 km de la vía, dentro del distrito de Laredo: Se realizaron trabajos de campo y laboratorio para los cuales se procesaron los datos en función a mejorar la capacidad portante de la vía utilizando melaza de caña como agente estabilizador, incorporando a la subrasante porcentajes de 3%, 6% y 9% y así obtener varias condiciones y valores del CBR, con lo cual se respondió al objetivo general de la presente investigación. Finalmente, como resultado se obtuvo que existe una relación directamente proporcional, a medida que se incrementa el porcentaje de melaza de caña como agente estabilizador, consiguiendo incrementar y mejorar la capacidad portante (CBR) de la subrasante.

**Palabras clave:** vías no pavimentadas, melaza de caña, CBR, granulometría, límites de consistencia.

ello se presenta este proyecto de investigación que tiene como principal objetivo evaluar el efecto de la melaza de caña en la subrasante de una trocha carrozable.

Se decidió realizar esta investigación en vista de que esta trocha carrozable Sol de Mayo se encuentra en malas condiciones y carece de una estabilización a nivel de subrasante; por lo consiguiente se busca, incrementar su transitabilidad a raíz de presentar una estabilización mejorada con respecto a la inicial, prestando un mejor servicio. La estabilización del suelo se realiza con cemento, cal hidratada, cloruros de magnesio y sodio, materiales asfálticos, agentes químicos (polímeros, aceites sulfonados y otros), cuya selección debe realizarse previo diseño técnico para cada caso, considerando el área de ubicación de la vía, el clima y los materiales disponibles en la zona.

Como bien se sabe la melaza de caña sirve como estabilizador, pues el problema de la investigación es: ¿Cuál es el efecto de la melaza de caña en la subrasante de la trocha carrozable Sol de Mayo, Laredo, 2022?

Esta iniciativa nace con la finalidad de evaluar el efecto de la melaza de caña a nivel de subrasante y mejorar su resistencia a la compresión, de tal manera que la sea considerado en la formulación de expedientes técnicos como un estabilizante natural, para justificar dicha investigación se ha considerado los lineamientos brindados por la norma internacional ASTM que son: ASTM D1883 método de ensayos de CBR, ASTM D1557 método de compactación de suelos utilizando energía modificada a través de un martillo de golpe en el laboratorio (Proctor modificado), para determinar la relación de agua y peso seco de los suelos (curva de compactación) siguiendo el método C, ASTM D2216 método de ensayo para la determinación su humedad del suelo y roca en masa y ASTM D4318 método de ensayo para la determinación del límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad de los de suelos, estas normativas nos permite obtener resultados de calidad en los ensayos realizados. Siguiendo la metodología se podrá determinar el porcentaje óptimo de melaza de caña en la subrasante de la trocha carrozable Sol de Mayo, asimismo la mejora significativa de la resistencia a la compresión, humedad, límites de Atterbeg e índice de plasticidad.

## I. INTRODUCCIÓN

A lo largo de su existencia el ser humano viene promoviendo actividades que involucren nuestro desarrollo social y económico, para ello es de vital importancia estar comunicados, siendo las carreteras una prioridad, ya que es de vital utilidad debido a que une muchos puntos, asimismo generar progreso en todos los países, “La red vial es fundamental para el desarrollo debido a que impulsa el transporte; asimismo cuando se tiene carreteras en buen estado este costo tiende a ser menor, mientras que en la región las carreteras son ineficiente y deterioradas, incrementando los costos de transporte. Con las carreteras en mal estado la población no puede satisfacer sus necesidades y están destinadas al retraso y se mantendrán en un elevado índice de pobreza”.

En el Perú de acuerdo al Sistema Nacional de Carreteras (SINAC) publicado a través de la Memoria Anual del MTC [1] existe 149,659.97 km entre vías pavimentadas, sin pavimentar, trochas y proyectadas; reflejándose un alto número de vías no pavimentadas en mal estado, así mismo la región La Libertad cuenta con 2,179.610 km de los cuales 412.841 km se encuentran pavimentadas, mientras que 1,535.544 km a nivel de afirmado, sin afirmar y trochas lo cual refleja un grave problema en nuestras redes viales, por

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).

**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).

**DO NOT REMOVE**

El objetivo de la investigación es el siguiente: Evaluar el efecto de la melaza de caña en la subrasante de la trocha carrozable Sol de Mayo, Laredo, 2022.

Becerra [2] en su investigación determinó el efecto de la miel de caña de azúcar sobre las propiedades físico mecánicas de un material afirmado de la cantera en la localidad el Gavilán del distrito de Cajamarca, para ello se realizaron pruebas de contenido de humedad (2.36%), análisis granulométrico por tamizado (A-1), límite líquido (11.8%), sin presencia de límite plástico por ser limo; Proctor modificado densidad de 2.284 g/cm<sup>3</sup>, siendo el porcentaje de miel directamente proporcional al incremento de densidad, llegando a incrementar a 2.355 g/cm<sup>3</sup> con un 10% de miel de caña de azúcar; en cuanto al CBR 0.1” al 95% de la máxima densidad seca se obtuvo 71% (muestra patrón) y 74% (2% de miel de caña de azúcar), para el CBR 0.2” al 95% para su máxima densidad seca se obtuvo 100% (muestra patrón) y 144% (2% de miel de caña de azúcar) respectivamente, encontrando que en las dosificaciones posteriores disminuye el CBR tanto para 0.1” y 0.2”, llegando a concluir que la adición de miel de caña de azúcar modifica significativamente las propiedades físico mecánicas del afirmado de cantera.

También se tiene a Córdova y Sánchez [3] quienes buscaron evaluar el efecto de carbón molido y melaza de caña en la subrasante de una vía no pavimentada en Laredo, Trujillo, para ello se realizaron ensayos de Proctor modificado, CBR, humedad, límite líquido y plástico, agregando melaza de caña y carbón molido al 3%, 6%, y 9% en peso del afirmado seco, inicialmente se tenía las calicatas 1 y 2 (muestra patrón) con máxima densidad seca de 1.99 gr/cm<sup>3</sup> y 1.88 gr/cm<sup>3</sup>; CBR de 6.9% y 7.1% para 95% y; CBR de 10.10% y 9.8% para 100%, con una plasticidad baja de 6 y 11 (CL) respectivamente, determinando que la dosificación óptima es de 6% (melaza de caña de azúcar) y 6% (carbón molido) obteniendo un 8.70% y 8.80% de CBR al 95%; 12.37% y 11.24% de CBR al 100% respectivamente, variando en el contenido de humedad y su densidad seca máxima, llegando a concluir que la adición de melaza de caña de azúcar influye significativamente en las propiedades físico mecánicas de la subrasante de manera combinada con el carbón molido e individualmente, debido a que es un componente orgánico y amigable con el medio ambiente es una de las ventajas para utilizarlo.

De acuerdo con lo que afirma Quispe[3], investigo donde estabiliza una subrasante blanda adicionando melaza de caña en una carretera no pavimentada en el Cusco, su objetivo fue determinar el porcentaje de melaza de caña que presente las mejores características físico mecánicas, para ello se realizaron ensayos de Proctor modificado y CBR agregando melaza de caña al 3%, 5% y 8%, demostrando que la adición de melaza de caña mejora las propiedades físico mecánicas en la subrasante, en cuanto al CBR inicialmente fue de 6.8% (muestra patrón) y se llegó a obtener un 18.2% con 8% de melaza de caña, también influye significativamente en la

densidad seca y la humedad de la subrasante, cabe resaltar que el contenido de humedad óptimo disminuye ya que al agregar melaza de caña de azúcar el material presenta mayor resistencia al corte disminuyendo el nivel de agua.

Por otro lado Quispe y Salazar [4], aplicaron cloruro de calcio (1%, 2% y 3%) y melaza de caña de azúcar (6%, 8% y 10%) en una vía no pavimentada en San Juan de Lurigancho, para ello se realizaron ensayos de Proctor modificado, CBR, humedad, límite líquido y plástico, su objetivo fue valorar la influencia del cloruro de calcio y melaza de caña en carreteras a nivel de afirmado, se logró mejorar la subrasante que inicialmente presentaba un valor de 15.8% y 22.30% de CBR al 95% y al 100%, incrementando hasta 28.80% y 40.70% de CBR al 95% y 100% respectivamente, siendo la dosificación óptima de cloruro de calcio al 2% y melaza de caña al 6%, se concluye que la melaza de caña puede trabajar con otros aditivos para mejorar una subrasante en carretera no pavimentada, presentando un efecto significativo sobre las propiedades físico mecánicas como la resistencia del suelo al esfuerzo de corte (CBR), humedad óptima, límite líquido y plástico de manera combinada e individualmente como estabilizante natural.

Rojas [5] evaluó el efecto de la ceniza de bagazo de caña de azúcar en la subrasante de la trocha carrozable del centro poblado San Antonio en Cajamarca, para fue necesario realizar ensayos de Granulometría, CBR, Proctor Modificado y Límites de Atterberg, siendo la investigación de tipo aplicada con enfoque cuantitativo adicionando ceniza de bagazo de caña de azúcar al 8%, 12%, 18% y 30% , se llegó a determinar que IP disminuyó de 24% (muestra patrón) al 11% (adición al 30%), en cuanto a los resultados de Proctor modificado se redujo el contenido de humedad óptimo de 27.60% (muestra patrón) a 8.69% e incrementado la máxima densidad seca de 1.456 gr/cm<sup>3</sup> a 2.194 gr/cm<sup>3</sup> adicionando ceniza de bagazo de caña al 8% y por último en cuanto al CBR al 95% de la máxima densidad seca se presentó un incremento de 8.6% (muestra patrón) a 17.5% con una adición de 8%, concluyendo que la adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar influye significativamente en las propiedades físico mecánicas de la subrasante, mejorando su resistencia de la trocha carrozable.

Tuesta [6], diseño una capa de rodadura con material romerillo de cantera y melaza de caña de azúcar en la provincia de Moyobamba, siendo una investigación de tipo aplicada con enfoque cuantitativo, se buscó determinar una óptima dosificación entre el material romerillo de cantera y melaza de caña de azúcar en una muestra de 100 metros de la vía extrayendo una calicata, se realizaron ensayos de CBR al 95% y 100% en material romerillo como muestra patrón arrojando valores de 15.4% y 19.53%, respectivamente, posteriormente se realizaron ensayos de CBR al material romerillo adicionando 1.00%, 3.00 % y 4.50% de melaza de caña, obteniendo un CBR de 23.30% y 27.90% con 3.00% de

melaza de caña siendo la óptima dosificación, cabe mencionar que la adición de melaza de caña presenta un efecto significativo en las propiedades físico mecánicas como el CBR en el diseño de una capa de rodadura con material romerillo de cantera.

En investigación internacional se tiene a Abbs et al. [7], en su artículo de investigación científica estudiaron los suelos naturales que presentan fallas y se califican como inadecuados o suelos cohesivos, su objetivo fue mejorar las características físico mecánicas del suelo usando melaza de caña, se realizaron los ensayos de límite de Atterberg, relación de carga de California (CBR) y prueba de hinchazón, para ello se adicionó melaza de caña al 4.00, 8.00 y 12.00% en relación peso/volumen de la muestra de suelo, para los ensayos de CBR se utilizó muestras de suelo sin tratar y suelo tratado con melaza, los resultados de CBR se obtuvieron después de 14 días para las muestras tratadas con melaza y luego remojadas con una carga adicional de 4.5 kg durante cuatro días, se determinó que la adición de melaza de caña influye significativamente en el incremento del CBR, de 1.25% (muestra patrón sin adición de melaza) a 8%, de 8 a 9.5% y de 9.5 a 7.5%, con adición de melaza al 4, 8 y 12%, respectivamente, determinando que el 8% de melaza de caña es la mejor dosificación ya que al ser mayor la capacidad portante disminuye, finalmente, se explora la cantidad de melaza que es eficaz como agente estabilizador.

De acuerdo con Jiménez, Fontes Viera y Kaolin [8] en su artículo científico de investigación indican que el uso de agentes químicos y biológicos son usados para mejorar las características físico mecánicas del suelo, lo cual es una práctica común en la ingeniería haciendo uso de materiales de desecho, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el uso de fibras de polímero de neumáticos reciclados y melaza de caña de azúcar con arcilla caolín en un suelo tipo CL (arcilla magra con arena) según clasificación SUCS, la melaza fue extraída de un ingenio azucarero en Colombia, se realizaron ensayos de contenido de humedad, límites de Atterberg, Proctor y resistencia a la compresión (CBR). Determinando que el 32% es el contenido de humedad óptima mediante el ensayo Proctor, se prepararon soluciones con polímeros de diferentes diámetros con melaza de caña al 2, 4, 6, 8, 10 y 12%, mediante los resultados se obtuvo que el 2% de melaza presentó un mejor efecto significativo sobre la resistencia a la compresión que inicialmente fue de 1.42 MPa (muestras patrón) a 2.04 MPa (muestras con 0.1% en peso de fibras y 2.0% en peso de melaza con respecto al peso seco del suelo).

Según Popoola, Adekanmi y Olawale [9], en su artículo de investigación realizaron ensayos donde evaluaron la estabilización de un suelo laterítico después de adicionar ceniza de desecho de coco, esta investigación se llevó a cabo en Ikere y Ado-Ekiti en Nigeria donde estudiaron los efectos para determinar el porcentaje óptimo de ceniza de desecho de

coco como estabilizante en el mencionado tipo de suelo, para ello se realizaron ensayos de humedad, gravedad específica, tamaño de partícula, límites de Atterberg y CBR, adicionando ceniza de desecho de coco al 2, 4, 6, 8, y 10%, en cuanto a los resultados se encontró que el índice plástico varió de 13.93 a 9.33% y de 23.64 a 14.46% para ceniza de desecho de coco al 8 y 6%, respectivamente, determinando que el índice plástico es inversamente proporcional a la adición de ceniza, la subrasante natural presentó un CBR de 2% siendo inadecuada y se logró incrementar a un 28% de CBR con ceniza al 8%, la capacidad portante del suelo incrementa con la adición de ceniza de desecho de coco.

De acuerdo con Kiran et al. [10] en su artículo de investigación científica estudia el mejoramiento del suelo utilizando melaza de caña de azúcar y hebras de nuez de areca, se sabe que la melaza de caña contiene dióxido de silicio, óxido de potasio y óxido de calcio, se presentó como objetivo comprobar el efecto y aporte de este subproducto en el incremento de la capacidad portante, para ello se realizaron ensayos de límites de Atterberg, la proporción de rodamiento de California (CBR) y la compresión, se adicionó melaza al 2, 4, 6, 8 y 10% buscando obtener el nivel ideal de melaza, asimismo se realizaron combinaciones con hebras de nuez de areca al 1, 2, 3 y 4%, se realizaron ensayos por separado y combinaciones en una muestra patrón que inicialmente presentó un valor de 1.5% de CBR, se llegó a concluir que el 10% de melaza arroja el mayor valor de CBR (8%) a los 14 días de curación en condición no remojada, sin embargo en condición remojada se obtuvo un CBR de 3.2%, respectivamente, la combinación óptima (10 % de melaza + 4 % de hebras de nuez de areca) a los 14 días de curado en condición no remojada arrojó el valor máximo de CBR (10%), por otro lado la misma combinación óptima en condición de remojo durante 4 días se obtuvo un CBR de 5% de, demostrando que la combinación presenta un mejor efecto que por separado, se observó que la melaza contenía componentes minerales que son dinámicos en la generación de respuestas químicas incluido el intercambio catiónico, la melaza contiene Ca, Mg y K, Se sabe que estos componentes responden tan eficazmente con suelos de este tipo.

## II. METODOLOGÍA

Investigación aplicada de enfoque cuantitativo, de diseño experimental debido a que se modificó las muestras adicionando material estabilizante para obtener mejor resultados de compactación en la subrasante.

Se consideró una vía no pavimentada con subrasante inadecuada para el tránsito de vehículos. La muestra estuvo conformada por 1.8 km de la trocha carrozable Sol de Mayo, distrito de Laredo, Trujillo, Perú. Para efectos del muestreo se realizaron 2 calicatas ya que el tramo de prueba es de 1.8 km y debido al bajo volumen de vehículos por ser una trocha carrozable de una calzada se considera una calicata por km

[1]. Se utilizó la técnica de observación directa y como instrumento la ficha de recopilación de información. Se consideró los siguientes ensayos por calicata de acuerdo con las propiedades de la subrasante.

TABLA I  
CANTIDAD DE ENSAYOS A REALIZAR POR CALICATA

Denominación de la subrasante estabilizada	Ensayos de propiedades de la subrasante			
	Índice de plasticidad	Óptimo contenido de humedad	Densidad máxima seca	Capacidad de soporte
Suelo	3	3	3	3
S + 3% melaza de caña	3	3	3	3
S + 6% melaza de caña	3	3	3	3
S + 9% melaza de caña	3	3	3	3
Subtotal de muestra	12	12	12	12
Total	48			

Se realizó el siguiente procedimiento

1. Se realizaron ensayos de; granulometría, contenido de humedad, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, Proctor modificado y CBR.
2. Para el ensayo de contenido de humedad se siguieron los pasos establecidos en la norma NTP 339.127.
3. El ensayo de análisis granulométrico se realizó siguiendo lo citado en la norma NTP 339.128.
4. Los ensayos de límites líquido y plástico se realizaron bajo los pasos establecidos en la norma NTP. 339.129.
5. Luego de que se realizaron los ensayos de granulometría y límites se realizó su respectiva clasificación SUCS y AASHTO.
6. Se procedió a realizar la preparación de las soluciones de melaza de caña en agua en proporción Peso/Volumen.
7. Después de haber obtenido la humedad óptima de acuerdo con el ensayo Proctor, se humedeció las muestras de la subrasante con el agua que contenía la melaza de caña diluida al 3.00%, 6.00% y 9.00%, respectivamente.
8. El ensayo de compactación de Proctor modificado se desarrolló de acuerdo con el método “C” contemplado en la norma NTP. 339.141.
9. El ensayo de CBR fue calculado de acuerdo con los parámetros establecidos en la norma NTP. 339.145.

El método de análisis de datos se basa en los ensayos de las muestras extraídas en campo y analizadas en el laboratorio de suelos, siendo de enfoque cuantitativo reflejados en tablas y gráficos almacenados en el programa de Microsoft Excel, siguiendo los parámetros establecidos por la NTP. 339.12 y la NTP 339.138.

### III. RESULTADOS

De acuerdo con los resultados obtenidos se considera responder los objetivos específicos, seguidos del objetivo general y para ello se considera los siguientes puntos.

Efecto de la melaza de caña sobre las propiedades físico-mecánicas en la subrasante de la trocha carrozable Sol de Mayo en el centro poblado de Menocucho, distrito de Laredo, provincia de Trujillo, departamento La Libertad en el año 2022, cabe mencionar que se ubica cerca al peaje en la salida a la sierra liberteña por la ruta de Quirihuac – Otuzco, donde los usuarios transportistas dan uso a esta trocha carrozable como desvío de dicho peaje con dirección al centro poblado de Sol de Mayo y salida por centro poblado de Menocucho. El tramo consta de una distancia de 1.8 km y para ello se consideró extraer 2 calicatas, ya que en trocha carrozable de bajo volumen de tránsito es necesario una calicata por km a profundidad de 1.50 m como lo indica el Manual de Carreteras [1].

En la figura 1, se muestra la ruta y la ubicación de las calicatas extraídas con las distancias respectivas.



Fig. 1. Ubicación de calicatas en la trocha carrozable Sol de Mayo

En la tabla 2, se muestra las coordenadas de las calicatas extraídas en la trocha carrozable Sol de Mayo, Laredo, 2022.

TABLA II  
COORDENADAS DE LAS CALICATAS

Calicata	Este	norte	Profundidad
C-1	737632.00	9111335.00	1.50 m
C-2	737813.00	9111675.00	1.50 m

Los ensayos de esta investigación se realizaron en el laboratorio de mecánica de suelos, asfalto, concreto y materiales Ingeniería Geotecnia y Gama de Materiales S.A.C.

De acuerdo con el objetivo específico 1 que es conocer las características físico-mecánicas de la subrasante en la trocha carrozable, Laredo, 2022, se presenta las siguientes tablas.

En la tabla 3, se presenta la clasificación SUCS y ASHTO de la subrasante natural en la trocha carrozable en la trocha carrozable Sol de Mayo, Laredo, 2022.

TABLA III  
CLASIFICACIÓN SUCS Y ASHTO DE LA SUBRASANTE NATURAL

Descripción calicata	Límites Atterberg (%)			Clasificación de suelos		
	Líquido	Plástico	Índice SUCS	AASTHO	Detalle	
C-1	17.83%	16.72%	1.11%	SM	A-1-b (0)	Regular
C-2	NP	NP	NP	SM	A-1-b (0)	Regular

Según la clasificación se determina como un suelo de tipo SM que hace referencia a un suelo de tipo arena arcillosa según la norma internacional ASTM D - 4318, donde se presenta un índice de plasticidad menor a 5% resulta muy sensible a los cambios de humedad y a su vez que en un pequeño incremento del contenido de agua en la subrasante lo transforma de semisólido a líquido ya que el IP es el resultado de la diferencia entre límite líquido y límite plástico.

Los valores obtenidos de las muestras se obtuvieron en base y siguiendo el procedimiento establecido en la normativa internacional ASTM D-2216, como se detalla en la siguiente tabla IV.

TABLA IV  
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA SUBRASANTE NATURAL

Descripción	Resultado (%)
C-01	7.25
C-02	6.89

Como se muestra en la tabla IV, se observan los resultados del contenido de humedad de las muestras sin tratamiento según la normativa ASTM D-2116, se obtuvo resultados de las calicatas con su orden secuencial donde mostró valores de 7.25 y 6.89% de contenido de humedad para las calicatas C-01 y C-02, respectivamente.

En la tabla V se presenta los resultados del ensayo Proctor donde se obtuvo los valores de máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad.

TABLA V  
VALORES DE ENSAYO PROCTOR MODIFICADO DE LA SUBRASANTE NATURAL

Calicata	Máxima densidad seca (g/cm <sup>2</sup> )	Óptimo contenido de humedad (%)
C-1	2.162	5.23
C-2	2.182	7.39

Según los resultados obtenidos de máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad en el ensayo de Proctor modificado se obtuvieron siguiendo el procedimiento de acuerdo con la normativa internacional ASTM D-1557, determinando que es una subrasante que presenta bajo contenido de humedad, este porcentaje fue útil para realizar

los ensayos de CBR en las muestras con adición de melaza de caña.

En la tabla VI, se muestra los valores de CBR en la subrasante sin adición de melaza de caña a una penetración de 0.1" y velocidad de 0.05 m/s, según el ensayo ASTM D-1883 de la norma NTP 339, 145.

TABLA VI  
ENSAYO CBR AL 95 Y 100%, PENETRACIÓN DE 0.1"

Descripción	CBR al 95% MDS 0.1"	CBR al 100% MDS 0.1"
C-01	6.05%	8.26%
C-02	6.47%	10.51%

Para la calicata C-1 se obtiene un valor de 6.05 y 8.26%, calicata C-02 un valor de 6.47 y 10.51% de CBR al 95 y 100%, respectivamente. Los valores se encuentran entre 6 y 10%, por lo que se determinó que la subrasante natural de la trocha carrozable Sol de Mayo es regular según la MTC [1].

En la tabla VII, se muestra los valores de CBR en la subrasante sin adición de melaza de caña a una penetración de 0.2" y velocidad de 0.05 m/s, según el ensayo ASTM D - 1883 de la norma NTP 339, 145.

TABLA VII  
ENSAYO CBR AL 95 Y 100%, PENETRACIÓN DE 0.2"

Descripción	CBR al 95% MDS 0.2"	CBR al 100% MDS 0.2"
C-01	7.00%	9.40%
C-02	8.25%	11.82%

Para la calicata C-1 se obtiene un valor de 7.00 y 9.40%, calicata C-02 un valor de 8.25 y 11.82% de CBR al 95 y 100%, respectivamente, los valores se encuentran entre 6 y 10%, por lo que se determinó que la subrasante natural de la trocha carrozable Sol de Mayo es regular según la MTC [1] cabe mencionar que para un valor de CBR entre 10 y 20% es una subrasante buena como es el caso de la calicata C-02 al 100% y teniendo en cuenta que la penetración es mayor por lo que requiere de más carga.

Según el objetivo específico (ii) Calcular la resistencia a la compresión al adicionar melaza de caña en la subrasante de la trocha carrozable Sol de Mayo, Laredo, 2022. Se obtiene valores de soporte de California o soporte a carga (CBR) diferentes a los obtenidos con una subrasante natural o sin tratamiento, cabe mencionar que el porcentaje de agua que se adicionó fue en base al contenido de humedad óptimo obtenido con el ensayo Proctor modificado, para realizar los ensayos y seguir con el procedimiento según la normativa ASTM D - 1883 de la norma NTP 339, 145

En la tabla 8, se muestra los valores de la capacidad de soporte de California de la subrasante de la trocha carrozable Sol de Mayo tratada con melaza de caña al 3.0% a

una penetración de 01”, siguiendo el procedimiento de la normativa internacional ASTM D-1883.

TABLA VIII.  
ENSAYO CBR AL 95 Y 100%, PENETRACIÓN DE 0.1” EN  
SUBRASANTE CON MELAZA DE CAÑA AL 3.0%.

Descripción	CBR al 95% MDS 0.1”	CBR al 100% MDS 0.1”
C-01	11.15%	18.07%
C-02	14.47%	20.71%

Para la calicata C-1 se obtiene un valor de 11.15 y 18.07%, calicata C-02 un valor de 14.47 y 20.71% de CBR al 95 y 100%, respectivamente a una penetración de 0.1”, los valores se encuentran entre 10 y 20%, por lo que se determinó que la subrasante de la trocha carrozable Sol de Mayo con melaza de caña al 3.0% es buena según la MTC [1]. Cabe mencionar que la calicata C-02 presentó un valor de 20.71% de CBR al 100% por lo que es una subrasante muy buena.

En la tabla IX, se muestra los valores de la capacidad de soporte de California de la subrasante de la trocha carrozable Sol de Mayo tratada con melaza de caña al 3.0% a una penetración de 02”, siguiendo el procedimiento de la normativa internacional ASTM D-1883.

TABLA IX.  
ENSAYO CBR AL 95 Y 100%, PENETRACIÓN DE 0.2” EN  
SUBRASANTE CON MELAZA DE CAÑA AL 3.0%.

Descripción	CBR al 95% MDS 0.2”	CBR al 100% MDS 0.2”
C-01	15.32%	22.43%
C-02	18.51%	24.82%

Para la calicata C – 1 se obtiene un valor de 15.32 y 22.43%, calicata C – 02 un valor de 18.51 y 24.82% de CBR al 95 y 100%, respectivamente a una penetración de 0.2”, los valores se encuentran entre 10 y 20% de CBR al 95%, por lo que se determinó que la subrasante de la trocha carrozable Sol de Mayo con melaza de caña al 3.0% es buena, según la MTC (2014), cabe mencionar que para un valor de CBR entre 20 y 30% es una subrasante muy buena como es el caso de la calicata C – 01 y C – 02 al 100% y teniendo en cuenta que la penetración es mayor por lo que requiere de más carga.

En la tabla X, se muestra los valores de la capacidad de soporte de California de la subrasante de la trocha carrozable Sol de Mayo tratada con melaza de caña al 6.0% a una penetración de 01”, siguiendo el procedimiento de la normativa internacional ASTM D-1883.

TABLA X  
ENSAYO CBR AL 95 Y 100%, PENETRACIÓN DE 0.1” EN  
SUBRASANTE CON MELAZA DE CAÑA AL 6.0%.

Descripción	CBR al 95% MDS 0.1”	CBR al 100% MDS 0.1”
C-01	17.17%	28.34%
C-02	20.25%	30.73%

Para la calicata C – 1 se obtiene un valor de 17.17 y 28.34%, calicata C – 02 un valor de 20.25 y 30.73% de CBR al 95 y 100%, respectivamente a una penetración de 0.1”, el valor de la calicata C – 01 al 95% se encontró entre 10 y 20%, por lo que se determinó que la subrasante de la trocha carrozable Sol de Mayo con melaza de caña al 6.0% es buena según la MTC [1]. Cabe mencionar que para valores de subrasante entre 20 y 30% es muy buena como la calicata C – 02 al 95 y 100%, asimismo la calicata C – 01 al 100%, respectivamente.

En la tabla XI, se muestra los valores de la capacidad de soporte de California de la subrasante de la trocha carrozable Sol de Mayo tratada con melaza de caña al 6.0% a una penetración de 02”, siguiendo el procedimiento de la normativa internacional ASTM D-1883.

TABLA XI  
ENSAYO CBR AL 95 Y 100%, PENETRACIÓN DE 0.2” EN  
SUBRASANTE CON MELAZA DE CAÑA AL 6.0%.

Descripción	CBR al 95% MDS 0.2”	CBR al 100% MDS 0.2”
C-01	21.28%	33.61%
C-02	24.46%	35.93%

Para la calicata C – 1 se obtiene un valor de 21.28 y 33.61%, calicata C – 02 un valor de 24.46 y 35.93% de CBR al 95 y 100%, respectivamente a una penetración de 0.2”, los valores se encontraron entre 20 y 30% de CBR al 95%, por lo que se determinó que la subrasante de la trocha carrozable Sol de Mayo con melaza de caña al 6.0% es muy buena, según la MTC [1], cabe mencionar que para un valor de CBR > 30% es una subrasante excelente como es el caso de la calicata C – 01 y C – 02 al 100% y teniendo en cuenta que la penetración es mayor por lo que requiere de más carga.

### Subrasante con melaza de caña al 9.0%.

En la tabla 12, se muestra los valores de la capacidad de soporte de California de la subrasante de la trocha carrozable Sol de Mayo tratada con melaza de caña al 9.0% a una penetración de 01”, siguiendo el procedimiento de la normativa internacional ASTM D-1883.

TABLA XII.  
ENSAYO CBR AL 95 Y 100%, PENETRACIÓN DE 0.1” EN  
SUBRASANTE CON MELAZA DE CAÑA AL 9.0%.

Descripción	CBR al 95% MDS 0.1”	CBR al 100% MDS 0.1”
C-01	14.50%	24.58%
C-02	17.65%	26.64%

Para la calicata C – 1 se obtiene un valor de 14.50 y 24.58%, calicata C – 02 un valor de 17.65 y 26.64% de CBR al 95 y 100%, respectivamente a una penetración de 0.1”, los valores se encontraron entre 10 y 20% de CBR al 95%, por lo que se determinó que la subrasante de la trocha carrozable Sol

de Mayo con melaza de caña al 9.0% es buena según la MTC [1], Cabe mencionar que para valores de CBR entre 20 y 30% es una subrasante muy buena como se obtuvo en las calicatas C – 01 y C – 02 de CBR al 100%.

En la tabla XIII, se muestra los valores de la capacidad de soporte de California de la subrasante de la trocha carrozable Sol de Mayo tratada con melaza de caña al 9.0% a una penetración de 0.2”, siguiendo el procedimiento de la normativa internacional ASTM D-1883.

TABLA XIII.  
ENSAYO CBR AL 95 Y 100%, PENETRACIÓN DE 0.2” EN  
SUBRASANTE CON MELAZA DE CAÑA AL 9.0%

Descripción	CBR al 95% MDS 0.2”	CBR al 100% MDS 0.2”
C-01	20.00%	30.83%
C-02	23.29%	32.96%

Para la calicata C – 1 se obtiene un valor de 20.00 y 30.83%, calicata C – 02 un valor de 23.29 y 32.96% de CBR al 95 y 100%, respectivamente a una penetración de 0.2”, los valores se encontraron entre 20 y 30% de CBR al 95%, por lo que se determinó que la subrasante de la trocha carrozable Sol de Mayo con melaza de caña al 9.0% es muy buena, según la MTC [1], cabe mencionar que para un valor de CBR > 30% es una subrasante excelente como es el caso de la calicata C – 01 y C – 02 al 100%, teniendo en cuenta que la penetración es mayor por lo que requiere de más carga.

De acuerdo con el objetivo específico, demostrar que la melaza de caña mejora las características físico-mecánicas de la subrasante en la trocha carrozable, Laredo, 2022. Es de mucha importancia indicar que la estabilización de la subrasante depende y se determina por la capacidad de soporte de California (CBR), lo que indica la capacidad de la subrasante o el suelo en general para soportar una determinada carga a una penetración de 0.1” o 0.2”, asimismo se logró un incremento en el CBR para las muestras tratadas con melaza de caña a diferencia de las muestras de la subrasante natural o sin melaza de caña, mejorando la subrasante de regular a muy buena basado en los parámetros del Manual de Carreteras del MTC [1].

Según el objetivo general que fue, Evaluar el efecto de la melaza de caña en la subrasante de la trocha carrozable Sol de Mayo, Laredo, 2022. Cabe mencionar que al evaluar el efecto de la melaza de caña en la subrasante presenta una influencia significativa en la capacidad de soporte de California, mejorando la subrasante de la trocha carrozable Sol de Mayo de regular a muy buena, asimismo se logró evaluar y determinar que la melaza de caña es un estabilizante natural efectivo y estabiliza la subrasante de un suelo tipo SM que es una arena arcillosa según clasificación SUCS y ASHTO.

#### IV. DISCUSIÓN

En esta sección se desarrolló los resultados de cada antecedente planteado en la parte inicial de la investigación, se logró analizar y explicar los valores obtenidos, encontrando similitud o diferencia en cuanto a los valores obtenidos en los antecedentes sobre el estudio de estabilización de subrasante con melaza de caña al 3.0, 6.0 y 9.0% respecto al peso seco del suelo frente a una muestra de subrasante natural o sin la adición de melaza de caña, cabe mencionar que la estabilización de la subrasante u otro tipo de suelo se determina de acuerdo a la capacidad de soporte de California o CBR.

Respecto a la discusión, se planteó como primer objetivo específico Conocer las características físico-mecánicas de la subrasante natural en la trocha carrozable Sol de Mayo, Laredo, 2022: Estas propiedades físicas y mecánicas son definidas por Córdova y Sánchez [11], que en su investigación realizan una estabilización de subrasante con melaza de caña y carbón molido en u suelo tipo CL que es una arcilla arenosa o limosa de plasticidad baja, en nuestra investigación según clasificación SUCS y ASHTO se obtuvo una subrasante de suelo tipo SM que es una arena arcillosa de plasticidad baja, cabe mencionar que los resultados son similares ya que la melaza de caña fue aplicada en suelos ligeramente iguales, en ambas investigación se determinó la dosificación óptima de melaza de caña al 6.0%, sin embargo en la investigación de Córdova y Sánchez aplicaron carbón molido en diferentes combinaciones y pese a ello los resultados de la investigación son similares en cuanto a la capacidad de soporte de California.

Se planteó como segundo objetivo específico Calcular la resistencia a la compresión al adicionar melaza de caña en la subrasante de la trocha carrozable Sol de Mayo, Laredo, 2022. Dicha resistencia a la compresión se define como la capacidad de soporte de California o CBR, de acuerdo a los antecedentes que presentan mayor semejanza con nuestra investigación se menciona a Abbs et al. [7], que en su artículo de investigación buscaron determinar la dosificación óptima de melaza de caña encontrando que mejora la capacidad de soporte de California hasta un 8.0% de melaza de caña, a un porcentaje mayor de melaza de caña el CBR disminuye y no genera un efecto sobre la estabilización, resultado similar al obtenido en nuestra investigación que se determina como dosificación óptima la adición de melaza de caña al 6%, se presentó una subrasante menor a 6% por lo que se clasificó como subrasante insuficiente de acuerdo al Manual de Carreteras del MTC [1]. Por otro lado se tiene a Tuesta (202) que en su investigación realiza un estudio para diseñar una capa de rodadura con material de romerillo y melaza de caña con el fin de estabilizar el material de cantera, determinando que la adición de melaza de caña al 1, 3 y 4.5% sobre el material de romerillo presenta un efecto significativo obteniendo un CBR de 23.30% a una penetración de 0.1” con melaza de caña al 4.5%, siendo su

dosificación óptima con material de romerillo, obteniendo resultados similares a los de nuestra investigación.

De acuerdo al objetivo específico, Demostrar que la melaza de caña mejora las características físico-mecánicas de la subrasante en la trocha carrozable, Laredo, 2022; Se menciona que la melaza de caña mejora las características físico-mecánicas de la subrasante, principalmente la capacidad de soporte de California o CBR que es el indicador de la estabilización del suelo en general, para demostrar el efecto significativo o la mejora se menciona a Fonte Viera y Kaolin (2022), quienes en su artículo de investigación científica buscan mejorar la estabilización de una subrasante de suelo tipo CL (arcilla magra con arena) con desecho de neumáticos agregando melaza de caña, para ello se realizó el ensayo Proctor modificado para obtener la humedad óptima y realizar el ensayo de CBR, se adicionó melaza de caña al 2, 4, 6, 8, 10 y 12% de melaza de caña en combinación con polímeros de caucho, llegando a determinar que la melaza presenta un efecto significativo en la estabilización de la subrasante, demostrando que la subrasante mejora su capacidad de soporte de California como se observa en los valores obtenidos en nuestra investigación mejorando la estabilización de la subrasante natural de regular (6.11%) a muy buena (29.8%) de CBR de acuerdo al Manual de Carreteras MTC [1], con melaza de caña al 6.0%.

## V. CONCLUSIONES

Después de evaluar los efectos que genera la melaza de caña al ser adicionado en la subrasante de la trocha carrozable Sol de Mayo, Laredo, 2022 se concluye que presenta efectos significativos mejorando sus propiedades físico-mecánicas.

Una vez conocidas las características físico-mecánicas de la subrasante natural en la trocha carrozable Sol de Mayo, Laredo, 2022, se interpretó que presenta las características de un suelo tipo SM (arena limosa con grava) con un resultado de CBR para la calicata C – 1 se obtiene un valor de 6.05% y 8.26%, calicata C – 02 un valor de 6.47% y 10.51% de CBR al 95 y 100%, respectivamente; los valores se encontraron entre 6% y 10%, concluyendo que la subrasante natural de la trocha carrozable Sol de Mayo es regular según la MTC (2014).

Se calculó la resistencia a la compresión al adicionar melaza de caña en la subrasante de la trocha carrozable Sol de Mayo, Laredo, 2022 y según los resultados se concluyó que el CBR es bueno encontrándose entre un 10% y 20% para las calicatas C – 01 y C- 02 al 95%; asimismo muy bueno con CBR entre 20 y 30% para las calicatas C – 01 y C- 02 al 100%, con adición de melaza de caña al 6.0%.

Finalmente se demuestra que la melaza de caña mejora significativamente las características físico-mecánicas de la subrasante en la trocha carrozable Sol de Mayo, Laredo, 2022, siendo la dosificación óptima de melaza de caña al 6%.

## REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Perú). Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Lima: N° 10-2014-MTC/14. 281 pp.
- [2] BECERRA, Yesica. Adición de miel de caña sobre el CBR del afirmado de la cantera el gavilán, Cajamarca 2017. Tesis (para optar el título de ingeniero civil). Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte, 2019. 93 pp.
- [3] CORDOVA, Rosa y SANCHEZ, Joe. Efecto de la melaza y carbón molido en la estabilización de subrasante en vía no pavimentada, distrito de Laredo, Trujillo. Tesis (para optar el título de ingeniero civil). Trujillo, Perú: Universidad Cesar Vallejo, 2021. 149 pp.
- [4] QUISPE, Miguel. Estabilización de subrasantes blandas con adición de melaza de caña, carretera Quebrada - Versalles, Cusco 2021. Tesis (para optar el título de ingeniero civil). Lima, Perú: Universidad Cesar Vallejo, 2021. 119 pp.
- [5] QUISPE, Henry y SALAZAR, Katy. Influencia de la aplicación de cloruro de calcio y melaza de caña en vías no pavimentadas, Lurigancho Chosica 2021. Tesis (para optar el título de ingeniero civil). Lima, Perú: Universidad Cesar Vallejo, 2021. 191 pp.
- [6] ROJAS, Jhonathan. Influencia de ceniza de caña en la subrasante de la trocha carrozable del centro poblado san Antonio, Cajamarca – 2021. Tesis (para optar el título de ingeniero civil). Lima, Perú: Universidad Cesar Vallejo, 2021. 88pp.
- [7] TUESTA, Cesar. Diseño de la capa de rodadura con material romerillo y la adición de melaza de caña para su uso en la vía baños sulfurosos - Shucshuyacu, distrito de Jepelacio, Moyobamba – 2020. Tesis (Para obtener el título profesional de Ingeniería Civil). Moyobamba, Perú: Universidad Cesar Vallejo, 2020. 188 pp. Disponible en <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/55300>.
- [8] ABBAS, Azhar, XIONGYAO, Xie, ZAR, Ali. Muhammad yousaf, muhammad gul nawaz Investigation of Treacle's Effects for cohesive Soil Stabilization. Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai, China. North American Academic Research journal. 2021.
- [9] JIMÉNEZ, Juan, MAURICIO, Carlos y FONTES VIEIRA, Henry. Composite Soil Made of Rubber Fibers from Waste Tires, Blended Sugar Cane Molasses, and Kaolin Clay. Sustainability. Universidad de Antioquia UdeA, Medellín, Colombia. 2022.
- [10] POPOOLA, Oluniyi, ADEKANMI, Jonathan y OLAWALE, Oluwaseyu. Stabilization of Laterite Soil with Coconut Waste Ashes as a Partial Replacement for Lime. American Journal of Engineering Research. Vol. 8, pp: 208-217. 2019.
- [11] KIRAN, HARSHA, K V S BRAJU, NAVEEN. Experimental study on stabilization of black cotton soil with molasses and arecanut fibers. International Journal of Applied Engineering Research Issn. volume 13, number 7, pp. 219-223. 2018.
- [12] CORDOBA, Jeffry. Utilización de la vinaza de caña azúcar para estabilizar suelos cohesivos, Huancayo, Perú: Universidad Peruana los Andes, 2018.149 pp.