

## Análisis a nivel de subrasante de estabilización de suelos con melaza de caña de azúcar *Saccharum officinarum* en el Centro Poblado El Sol, Huaura, Lima, 2022

Analysis at subgrade level of soil stabilization with *Saccharum officinarum* sugarcane molasses in the Centro Poblado El Sol, Huaura, Lima, 2022

Jose Miguel Rodriguez Trejo<sup>1</sup>, Hugo Serrano Rodas<sup>2</sup>

### RESUMEN

**Objetivo:** Analizar la estabilización de suelos a nivel de subrasante con melaza de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en el centro poblado El Sol, Huaura, Lima, en 2022. **Métodos:** La investigación fue de tipo aplicada, con un diseño descriptivo-explicativo y enfoque cuantitativo. Se trabajó con 12 especímenes de suelo compactados en moldes según el ensayo CBR (ASTM D-1883). A estos se les añadió melaza de caña en proporciones de 2 %, 4 % y 6 % en peso seco del suelo para evaluar su impacto en la capacidad de soporte. **Resultados:** Se registraron incrementos del 4.32 % y 1.72 % en la capacidad portante para las adiciones del 2 % y 4 %, respectivamente, mientras que con 6 % hubo una reducción del -3.56 %. **Conclusiones:** La melaza de caña mejora la capacidad de soporte del suelo en proporciones moderadas. Con 2 %, la resistencia aumentó 4.32 %, mientras que con 4 % solo 1.72 %, y con 6 % disminuyó -3.56 %. El 2 % es la proporción óptima para mejorar la estabilidad sin afectar las propiedades mecánicas.

**Palabras clave:** Estabilización de suelos, subrasante, suelo arcilloso, melaza de caña de azúcar, ensayo CBR

### ABSTRACT

**Objective:** To analyze the subgrade soil stabilization using sugarcane molasses (*Saccharum officinarum*) in the rural settlement of El Sol, Huaura, Lima, in 2022. **Methods:** This was an applied research study with a descriptive-explanatory design and a quantitative approach. The study included 12 soil specimens compacted in molds following the CBR test procedure (ASTM D-1883). Sugarcane molasses was added in proportions of 2 %, 4 %, and 6 % by dry weight to evaluate its effect on soil bearing capacity. **Results:** Soil bearing capacity increased by 4.32 % and 1.72 % for the 2 % and 4 % molasses additions, respectively, whereas a 6 % addition resulted in a -3.56 % decrease. **Conclusions:** Sugarcane molasses improves soil bearing capacity when used in moderate proportions. The 2 % addition increased resistance by 4.32 %, while the 4 % addition resulted in a smaller 1.72 % increase. However, the 6 % addition led to a -3.56 % reduction. The 2 % proportion is optimal for improving soil stability without compromising its mechanical properties.

**Keywords:** Soil stabilization, subgrade, clay soil, sugar cane molasses. CBR test

Recibido 13/04/2024 Aprobado 03/06/2024

Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



<sup>1</sup>Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, [jrodriguez0105@gmail.com](mailto:jrodriguez0105@gmail.com) ORCID: 0009-0007-1387-7222

<sup>2</sup>Ingeniería Industrial, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, [hserrano@unjfsc.edu.pe](mailto:hserrano@unjfsc.edu.pe) ORCID: 0000-0003-1138-9368

## INTRODUCCIÓN

Los suelos empleados como subrasante en obras viales deben poseer ciertas propiedades que garanticen un adecuado desempeño como base de soporte para el volumen de tráfico de diseño. Entre estas propiedades se encuentran la tipología del suelo, los límites líquido y plástico, el índice de plasticidad, el porcentaje óptimo de humedad y la densidad máxima seca. Cuando la subrasante no cumple con estas propiedades, se requieren métodos de mejoramiento del suelo mediante el uso de aditivos, como cemento, cenizas volantes, materiales bituminosos, aditivos aglomerantes, cloruro de sodio, cal, desechos de construcción y demolición, telas geotextiles y desechos reciclados, entre otros.

Sin embargo, el uso de estos aditivos no siempre justifica su aplicación debido a los costos económicos y el impacto ambiental que generan en los proyectos de pavimentación. Por esta razón, se están investigando alternativas más sostenibles para mejorar las condiciones del suelo sin comprometer la viabilidad económica y ecológica de las obras viales.

La melaza de caña se produce en diversas regiones del mundo como subproducto de la extracción de azúcar refinada. Su composición incluye principalmente agua, azúcares y proteínas (Palmonari et al., 2020). En los últimos años, se ha investigado su potencial como aditivo en la estabilización de suelos, especialmente en aquellos con alta presencia de arcilla, debido a su capacidad para mejorar la cohesión entre partículas finas.

Estudios previos han demostrado resultados prometedores en este campo. Loaiza (2017) encontró que la resistencia y capacidad de soporte del suelo, medida a través del ensayo CBR, aumentó en un 10 % con la dosificación óptima de vinaza, mientras que la cohesión se redujo en un 40 %. Por su parte, Becerra (2019) señaló que al incorporar un 2% de melaza de caña en la muestra de suelo, la capacidad portante se incrementó en un 4.22 %.

Desde una perspectiva aplicada, esta investigación tiene una justificación práctica, ya que busca implementar un aditivo estabilizante de suelos en el sector de la construcción vial. Además, posee un enfoque ambiental al proponer el uso de la melaza de caña como una alternativa a otros estabilizantes como el cemento, lo que podría contribuir a la reducción de la huella de carbono en estos procesos. Finalmente, presenta una justificación social, pues al fomentar un nuevo uso para la melaza de caña, se impulsa el desarrollo de la industria agrícola y se generan oportunidades de empleo en sectores relacionados con la construcción y el aprovechamiento de subproductos industriales.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es evaluar el potencial de la melaza de caña como aditivo estabilizante en suelos arcillosos, con el propósito de mejorar su resistencia y capacidad de soporte en obras viales, reduciendo el impacto ambiental asociado al uso de otros

estabilizantes tradicionales como el cemento.

## MATERIAL Y MÉTODOS

La presente investigación se enmarca dentro del enfoque aplicado, dado que su propósito es generar conocimientos con una aplicación concreta y directa en la sociedad (Lozada, 2014). Se adoptó un enfoque cuantitativo, ya que se analizaron fenómenos medibles mediante técnicas específicas para el procesamiento y evaluación de los datos obtenidos (Sánchez, 2019).

El diseño de la investigación es de tipo descriptivo-explicativo, ya que implica la manipulación de la variable independiente para analizar su impacto en la variable dependiente, permitiendo así establecer una relación de causa y efecto (Ato, López & Benavente, 2013). Además, el estudio se enmarca en un nivel descriptivo, dado que su objetivo es caracterizar los cambios que la melaza de caña produce en las propiedades del suelo.

Para la selección de la muestra, se prepararon cuatro porciones de suelo, una de ellas sin modificaciones y las otras tres con la adición de melaza de caña en proporciones del 2 %, 4 % y 6 % en peso, respectivamente. Cada una de estas muestras fue sometida a ensayos de límites de consistencia, Proctor y CBR, con el objetivo de evaluar las variaciones en sus propiedades mecánicas.

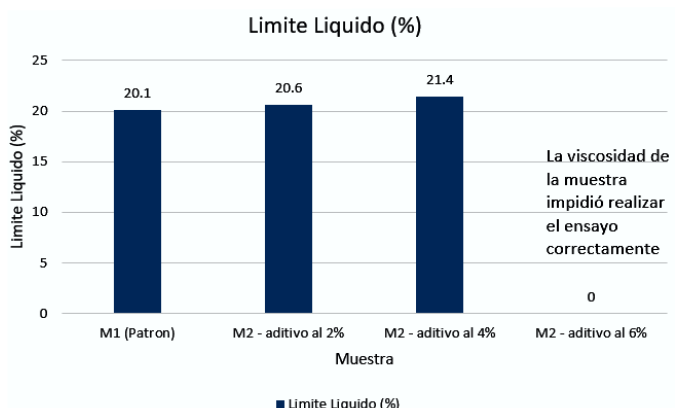
Los valores obtenidos en cada ensayo fueron comparados, lo que permitió determinar la influencia de la melaza de caña en las características del suelo y su comportamiento ante cargas aplicadas.

## RESULTADOS

### 1. Influencia en la consistencia:

**Figura 1**

*Comparativo entre los valores de límite líquido para cada muestra*

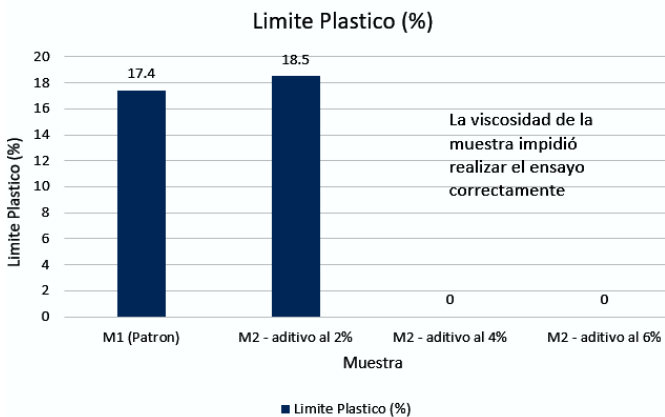


La Figura 1 muestra un análisis comparativo del límite líquido en diferentes muestras de suelo estabilizadas con melaza de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), evidenciando variaciones en su consistencia.

Se observa que la muestra sin aditivo presenta un límite líquido del 20.1 %, mientras que la adición del 2 % y 4 % de melaza genera incrementos a 20.6 % y 21.4 %, respectivamente, lo que sugiere una mayor capacidad del suelo para retener humedad y resistir deformaciones sin perder estabilidad estructural. Sin embargo, al incorporar un 6 % de aditivo, la viscosidad del material impidió la ejecución del ensayo, lo que indica una alteración excesiva en la cohesión del suelo.

**Figura 2**

*Gráfico de barras comparativo entre los valores de límite plástico para cada muestra*

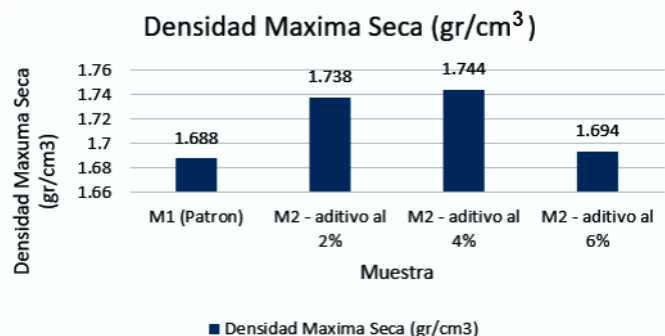


La Figura 2 presenta el análisis comparativo del límite plástico en muestras de suelo estabilizadas con melaza de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), reflejando cambios en su comportamiento plástico. Se observa que la muestra sin aditivo (patrón) exhibe un límite plástico del 17.4 %, mientras que la adición del 2 % de melaza eleva este valor a 18.5 %, lo que sugiere un incremento en la cohesión del suelo y su capacidad para resistir deformaciones sin fracturarse. No obstante, en las muestras con 4 % y 6 % de aditivo, no fue posible determinar el límite plástico, posiblemente debido a un exceso de viscosidad que impidió la ejecución del ensayo.

## 2. Influencia en la densidad

**Figura 3**

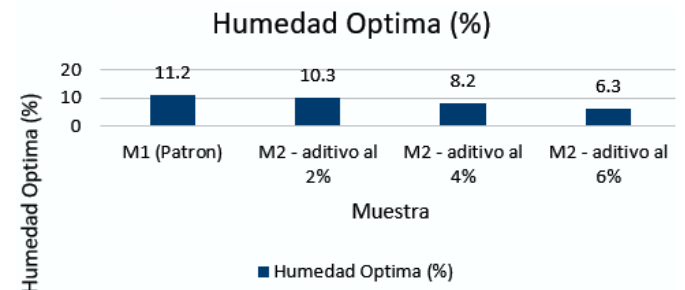
*Gráfico de barras comparativo entre los valores de densidad máxima seca para cada muestra*



La Figura 3 muestra la influencia de la melaza de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en la densidad máxima seca del suelo, evidenciando variaciones en función del porcentaje de aditivo incorporado. Se observa que la muestra sin aditivo (patrón) presenta una densidad de 1.688 g/cm³, mientras que con la adición del 2 % de melaza, este valor aumenta a 1.738 g/cm³, lo que indica una mejor compactación del suelo. Con un 4 % de aditivo, la densidad alcanza su punto máximo de 1.744 g/cm³, reflejando un incremento en la cohesión y reducción del espacio vacío entre partículas. Sin embargo, con un 6 % de adición, la densidad disminuye a 1.694 g/cm³, lo que sugiere un exceso de material orgánico que interfiere en la compactación óptima.

**Figura 4**

*Gráfico de barras comparativo entre los valores de humedad óptima para cada muestra*

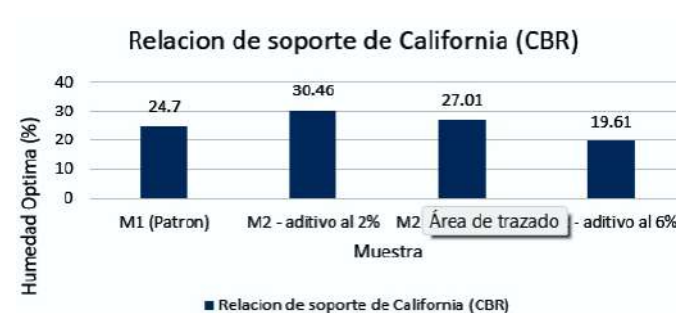


La figura 4, evidencia una comparación entre los valores de humedad óptima de diferentes muestras, indicando que la muestra M1 (patrón) tiene la mayor humedad óptima, alcanzando un valor de 11.2 %. En contraste, las muestras con aditivos, como la M2 con aditivo al 2 %, muestran un valor ligeramente inferior de 10.3 %. A medida que se incrementa la concentración del aditivo (4 % y 6 %), los valores de humedad óptima disminuyen aún más, alcanzando 8.2 % y 6.3 %, respectivamente, en las muestras M2 con aditivos al 4 % y 6 %. Esta tendencia sugiere que el aumento de la concentración del aditivo podría tener un efecto negativo en la humedad óptima de las muestras, lo que podría influir en el comportamiento del material bajo diferentes condiciones experimentales. Estos resultados se presentan como parte del análisis comparativo realizado en este estudio.

## 3. Influencia en la capacidad de soporte

**Figura 5**

*Gráfico de barras comparativo entre los valores de límite líquido para cada muestra*



En la figura 5 se ha presentado muestra la relación de soporte de California (CBR) de diferentes muestras, donde se observa que la muestra M2 con aditivo al 2 % presenta el valor más alto, alcanzando un 30.46 %, superando incluso al patrón M1, que tiene un valor de 24.7 %. Sin embargo, al aumentar la concentración del aditivo, se observa una disminución en la relación de soporte de California. Las muestras M2 con aditivos al 4 % y 6 % tienen valores de 27.01 % y 19.61 %, respectivamente, lo que indica que el aumento de la concentración del aditivo puede afectar negativamente la capacidad de soporte de las muestras. Estos resultados sugieren que, aunque los aditivos pueden tener un impacto inicial positivo, su concentración debe ser cuidadosamente controlada para evitar efectos adversos en las propiedades de soporte.

## DISCUSIÓN

De acuerdo con las figuras 1, 2, 3, 4 y 5, la adición de melaza de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como estabilizante en el suelo del centro poblado El Sol mejoró sus propiedades para su uso como subrasante. En particular, con una adición del 2 % en peso del estabilizante, se observó una disminución del índice de plasticidad en -0.8 %, un incremento de la densidad máxima seca en +2.96 %, una reducción de la humedad óptima en -0.9 % y un aumento del valor de la Relación de Soporte de California (CBR) en +5.76 %, alcanzando un valor final de 30.46 %. Estos resultados indican que la dosificación del 2 % fue la más óptima en comparación con las demás proporciones evaluadas (4 % y 6 %).

Estos hallazgos son consistentes con lo reportado por Amunza (2020), quien, al combinar melaza de caña con suelos inalterados de laterita, determinó que el porcentaje óptimo del aditivo fue del 2 %, logrando una reducción del índice de plasticidad en -2.1 %, un incremento de la densidad máxima seca en 20.56 %, una reducción de la humedad óptima en -2.6 % y un aumento del valor de CBR en 51.5 %, obteniendo un valor final de 40 %.

Los resultados obtenidos en el presente estudio cumplen con los estándares establecidos en el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC), que exige un valor mínimo de CBR del 30 % al 95 % de compactación para una subrasante de categoría S5 (subrasante excelente).

En cuanto a la variación de la consistencia, los resultados coinciden con la investigación de Córdova (2018), donde al añadir una mezcla de 25 % melaza y 75 % agua al 3 % en peso, se observó un incremento del límite líquido en +0.2 % y una disminución del índice de plasticidad en -3.03 %.

Respecto a la variación de la densidad, los hallazgos son similares a los de Córdova y Sánchez (2021), quienes encontraron un incremento en la densidad máxima seca de +1.11 % y una reducción en la humedad óptima de -1.65 % al adicionar 3 % en peso de melaza de caña.

Finalmente, en lo que respecta a la capacidad de soporte, los resultados guardan relación con el estudio de Cahuana (2016), quien determinó que al incorporar 2 % en peso de melaza de caña como aditivo estabilizante, el valor de CBR al 95 % se incrementó en +0.4 %.

Estos hallazgos confirman que la melaza de caña puede ser una alternativa viable para mejorar las propiedades del suelo en aplicaciones de estabilización vial.

## CONCLUSIONES

Se determinó que la adición de melaza de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en un 2 % en peso aumentó el límite líquido en +0.05 % y redujo el índice de plasticidad en -0.8 %. Para una adición del 4 % en peso, el límite líquido aumentó en +1.3 % y la plasticidad se anuló. En el caso del 6 % en peso, la plasticidad del suelo disminuyó aún más, impidiendo la realización de los ensayos de límite líquido y plástico.

Se encontró que la incorporación de 2 % en peso de melaza de caña incrementó la densidad máxima seca en +2.96 % y redujo la humedad óptima en -0.9 %. Con una adición del 4 % en peso, la densidad máxima seca aumentó en +3.32 %, mientras que la humedad óptima disminuyó en -3.0 %. Para el 6 % en peso, el aumento en la densidad máxima seca fue de +0.36 %, con una disminución de la humedad óptima en -4.2 %.

Se determinó que la adición de 2 % en peso de melaza de caña incrementó el valor de la Relación de Soporte de California (CBR) al 95 % en +5.76 %, alcanzando un CBR de 30.46 %, lo que la convierte en la proporción más óptima. Para el 4 % en peso, el incremento fue de +2.31 %, llegando a un CBR de 27.01 %, mientras que para el 6 % en peso, el CBR disminuyó en -5.09 %, alcanzando un valor de 19.61 %.

Se concluye que la proporción óptima de melaza de caña como agente estabilizante de suelos es del 2 % en peso seco del suelo, ya que permitió:

- Reducir el índice de plasticidad en -0.8 %.
- Aumentar la densidad máxima seca en +2.96 %.
- Disminuir la humedad óptima en -0.9 %.
- Incrementar el CBR al 95 % en +5.76 %, alcanzando un CBR de 30.46 %.

Este resultado cumple con los criterios del Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC), que establece que un CBR superior al 30 % clasifica al suelo como subrasante excelente (categoría S5), lo que valida el uso de melaza de caña como alternativa viable para la estabilización de suelos en obras viales.

## REFERENCIAS

Amunza A. (2020). Stabilization of Laterite Soil for Unpaved Roads Using Molasses in Butere and Mumias Sub Counties. (Tesis de título). Kenia: Jomo



Kenyatta University of Agriculture and Technology

- Becerra Y. (2019). Adición de miel de caña sobre el CBR del afirmado de la cantera El Gavilán, Cajamarca 2017. (tesis de título). Perú: Universidad Privada del Norte
- Bhardwaj, A., Sharma, A., y Sharma, R. (2021). Stabilization of Clayey Soil Using Waste Foundry Sand and Molasses. En *Sustainable Development Through Engineering Innovations* (pp. 641-649). Singapur
- Cahuana F. (2016). Dosificación óptima del cloruro de calcio y la melaza de caña para la estabilización de suelos en caminos vecinales no pavimentados del distrito de Barranca 2016. (tesis de título). Perú: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Cordova J. (2018). Utilización de la vinaza de caña de azúcar para estabilizar suelos cohesivos, Huancayo (tesis de título). Perú: Universidad Peruana los Andes
- Córdova R. y Sánchez J. (2021). Efecto de la melaza y carbón molido en la estabilización de subrasante en vía no pavimentada, distrito de Laredo, Trujillo. (tesis de título). Perú: Universidad Cesar Vallejo
- Kiran, Harsha, S., Raju, K. V. S. B., y Kumar, N. (2018). Experimental Study on Stabilization of Black Cotton Soil with Molasses and Arecanut Fibers. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(7), 219-223. India
- Loaiza J. (2017). Mejoramiento de suelos GP con vinaza. (tesis de título) Ecuador: Universidad de Especialidades Espíritu Santo
- Malanda, N., Mfoutou, N., Madila, E. and Louzolo-Kimbembe, P. (2022) Microstructure of Fine Clay Soils Stabilized with Sugarcane Molasses. *Open Journal of Civil Engineering*, 12, 247-269
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2014). Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos. Lima, Perú.
- Musinguzi A. y Makomuki C. (2019). A study of the performance of subgrade expansive soils modified with molasses and cement. (tesis de título). Uganda: Makerere University
- Palmonari A., Cavallini D., Sniffen C.J., Fernandes L., Holder P., Fagioli L., Fusaro I., Biagi G., Formigoni A., Mammi L. (2020). Short communication: Characterization of molasses chemical composition, *Journal of Dairy Science*, 103(7), 6244-6249.
- Tuesta C. (2020). 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 de título). Perú: Universidad Cesar Vallejo.