



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**Título del Proyecto**

Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil**

**Autores:**

Allauca Avilés, Lenin Stiven  
Cherrez Pasmay, Karen Gisell

**Tutor:**

Mgs. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluzza

**Riobamba, Ecuador. 2022**

## DERECHOS DE AUTORÍA

Nosotros, **Lenin Stiven Allauca Avilés**, con cédula de ciudadanía **060411869-5** y **Karen Gisell Cherrez Pasmay**, con cédula de ciudadanía y **060396530-2** respectivamente, autores del trabajo de investigación titulado: **“DISEÑO DE CAPAS DE RODADURA BÁSICAS GRANULARES CON ADICIÓN DE MELAZA DE CAÑA, PARA VÍAS DE TERCER ORDEN Y VECINALES”**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

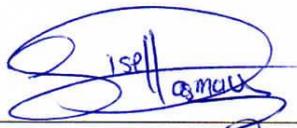
Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 10 de agosto de 2022.



---

Lenin Stiven Allauca Avilés  
C.I: 060411869-5



---

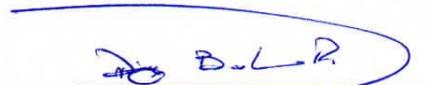
Karen Gisell Cherrez Pasmay  
C.I: 060396530-2

## DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación: **“DISEÑO DE CAPAS DE RODADURA BÁSICAS GRANULARES CON ADICIÓN DE MELAZA DE CAÑA, PARA VÍAS DE TERCER ORDEN Y VECINALES”**, presentado por **Lenin Stiven Allauca Avilés**, con cédula de identidad número **060411869-5** y **Karen Gisell Cherrez Pasmay**, con cédula de identidad número **060396530-2** respectivamente, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba, 10 de agosto de 2022.

Mgs. Diego Javier Barahona Rivadeneira  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Mgs. Jorge Eugenio Núñez Vivar  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Mgs. Víctor Renee Velásquez Benavides  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Mgs. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluzza  
TUTOR



Firma



Lenin Stiven Allauca Avilés  
C.I: 060411869-5



Karen Gisell Cherrez Pasmay  
C.I: 060396530-2

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **“DISEÑO DE CAPAS DE RODADURA BÁSICAS GRANULARES CON ADICIÓN DE MELAZA DE CAÑA, PARA VÍAS DE TERCER ORDEN Y VECINALES”**, presentado por **Lenin Stiven Allauca Avilés** con cédula de identidad número **060411869-5** y **Karen Gisell Cherrez Pasmay**, con cédula de identidad número **060396530-2** respectivamente, bajo la tutoría de Mgs. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 10 de agosto de 2022.

Presidente del Tribunal de Grado  
Mgs. Diego Javier Barahona Rivadeneira



Firma

Miembro del Tribunal de Grado  
Mgs. Jorge Eugenio Núñez Vivar



Firma

Miembro del Tribunal de Grado  
Mgs. Víctor Renee Velásquez Benavides



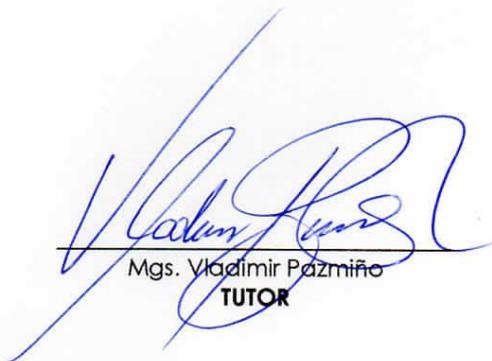
Firma



# CERTIFICACIÓN

Que, **ALLAUCA AVILÉS LENIN STIVEN** con CC: **0604118695**, y **CHERREZ PASMAY KAREN GISELL** con CC: **0603965302**, estudiantes de la Carrera de **INGENIERÍA CIVIL, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**DISEÑO DE CAPAS DE RODADURA BÁSICAS GRANULARES CON ADICIÓN DE MELAZA DE CAÑA, PARA VÍAS DE TERCER ORDEN Y VECINALES**", cumple con el **6%**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 29 de julio de 2022



Mgs. Vladimir Pazmiño  
**TUTOR**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación está dedicado principalmente a mi madre, Myriam Lucila Pasmay Vizuite, que desde el cielo ha sabido guiarme y darme su bendición para alcanzar los objetivos de mi vida personal y académica, siendo la mayor meta lograr que se sienta orgullosa de mí.

A mi hermano, Carlos Alejandro Chávez, por ser la motivación para superarme día a día y dar siempre lo mejor de mí, esperando convertirme en su fuente de inspiración y apoyo.

A mi mascota Bady, cuya compañía hacía que las largas noches de estudio se sientan menos pesadas. A mis amigos cercanos, por los desvelos y risas compartidas a pesar del estrés y presión del momento.

A toda mi familia, que siempre me ha apoyado y aconsejado para ser la mejor versión de mí. Finalmente, a mi persona, por el esfuerzo comprometido para salir adelante a pesar de las adversidades.

***Karen Gisell Cherrez Pasmay***

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación va dedicado primeramente a Dios, a San Juan Bosco y a María Auxiliadora, quienes siempre me han acompañado y han sido mi guía en los momentos más difíciles de mi vida.

Se la dedico a mis padres, Galo y Estela, quienes me han convertido en una persona de bien, dedicada y responsable, quienes nunca me han decepcionado y siempre han estado a mi lado apoyándome en cada momento. A mi hermano Jairo, quien es mi modelo a seguir; a Joseph quien es mi motivación para seguirme esforzando y superándome en mi día a día, a mis abuelitos que están orgullosos de sus nietos y a mi familia en general.

A mis mascotas, Optimus y Rolly, que con su cariño y compañía, en noches de desvelo, han estado a mi lado.

Al grupo anti-castores, con quienes hemos estudiado, aprendido y nunca nos hemos dejado caer, siempre nos hemos ayudado y apoyado.

A todos ustedes, por haberme apoyado y haber estado presentes en todos aquellos buenos y difíciles momentos.

*Lenin Stiven Allauca Avilés*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios, por ser quien guía nuestra vida, quienes nos brinda salud y fortaleza en cada paso que damos; a nuestros padres quienes nos han llenado de sabiduría, consejos, motivación y apoyo así también como nos han brindado el sustento para culminar exitosamente esta etapa de nuestra vida.

A nuestros familiares y amigos cercanos, por el apoyo y la motivación que portaron en este proceso.

A la Universidad Nacional de Chimborazo por la formación profesional, de manera puntual para aquellos docentes que en verdad motivaban a los estudiantes a aprender, a ser profesionales por excelencia, para aquellos que preparaban con antelación sus clases, para transmitirnos su conocimiento lo cual nos permitirá desarrollarnos en nuestras vidas profesionales.

Y de manera especial extendemos nuestro agradecimiento, al Mgs. Vladimir Pazmiño, quien como amigo, docente y tutor de este proyecto de investigación, nos ha brindado su guía, conocimiento y apoyo incondicional

## ÍNDICE GENERAL

Resumen .....	14
Abstract.....	15
Capítulo I. Introducción.....	16
1.1. Antecedentes .....	16
1.2. Planteamiento del Problema .....	17
1.3. Justificación .....	18
1.4. Objetivos.....	18
1.4.1. Objetivo General.....	18
1.4.2. Objetivos Específicos .....	18
Capítulo II. Marco Teórico.....	20
2.1. Estado del arte.....	20
2.2. Suelo .....	21
2.2.1. Definición .....	21
2.2.2. Clasificación de suelos .....	21
2.3. Propiedades del suelo y/o áridos.....	23
2.3.1. Contenido de humedad .....	23
2.3.2. Granulometría.....	23
2.3.3. Límites de Atterberg.....	23
2.3.4. Desgaste por abrasión.....	23
2.3.5. Resistencia a los sulfatos .....	23
2.3.6. Contenido de deletéreos.....	23
2.3.7. Densidad Máxima y Humedad Óptima .....	23
2.3.8. Capacidad portante .....	24
2.4. Vía.....	24
2.5. Capas de rodadura.....	24
2.5.1. Superficies de rodadura afirmadas (básica granular) .....	25
2.5.2. Superficies de agregados no tratados.....	25
2.5.3. Requisitos de capas de rodadura básicas granulares .....	25
2.6. Estabilización de suelos .....	28
2.6.1. Clasificación de materiales para estabilización.....	28
2.7. Caña de azúcar (aditivo no tradicional - residuo) .....	29
2.7.1. Melaza de caña .....	29
Capítulo III. Metodología.....	32
3.1. Tipo de investigación.....	32
3.2. Diseño de investigación .....	32
3.3. Técnicas de recolección de datos .....	32
3.4. Población de estudio y tamaño de muestra .....	33
3.4.1. Población de estudio.....	33
3.4.2. Muestra .....	33
3.5. Hipótesis .....	33
3.6. Métodos de análisis, y procesamiento de datos .....	33
Capítulo IV. Resultados y Discusión.....	35

4.1.	Resultados .....	35
4.1.1.	Caracterización de melaza de caña .....	35
4.1.2.	Caracterización del material de afirmado (muestra patrón) .....	35
4.1.3.	Influencia de la melaza de caña en el material base .....	38
4.2.	Discusión.....	40
4.2.1.	Índice de plasticidad .....	40
4.2.2.	Proctor modificado .....	41
4.2.3.	California Bearing Ratio (CBR).....	42
4.2.1.	Proporciones en peso y volumen .....	44
4.2.2.	Proceso de análisis jerárquico – Análisis Comparativo AHP.....	45
Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones .....		49
5.1.	Conclusiones .....	49
5.2.	Recomendaciones .....	50
Bibliografía.....		51
Anexos.....		53

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. <i>Sistema de clasificación AASHTO</i> .....	21
Tabla 2. <i>Sistema de clasificación SUCS</i> .....	22
Tabla 3. <i>Clases de vías según su jerarquía y volumen de tránsito</i> .....	24
Tabla 4. <i>Requerimientos de ensayos según normativas nacionales y regionales</i> .....	26
Tabla 5. <i>Granulometría de superficies de rodadura según la norma ecuatoriana</i> .....	27
Tabla 6. <i>Granulometría de material de afirmado según la norma colombiana</i> .....	27
Tabla 7. <i>Granulometría para bases granulares de rodadura según la norma chilena</i> .....	27
Tabla 8. <i>Granulometría para cada tipo de afirmado de acuerdo a la norma peruana</i> .....	28
Tabla 9. <i>Composición de melaza de caña</i> .....	31
Tabla 10. <i>Resultados de ensayo de granulometría de agregado fino</i> .....	35
Tabla 11. <i>Resultados de ensayo de granulometría de agregado grueso</i> .....	36
Tabla 12. <i>Resultados de ensayo de densidad de agregado fino y grueso</i> .....	36
Tabla 13. <i>Granulometría ajustada a las bandas seleccionadas</i> .....	37
Tabla 14. <i>Resumen de propiedades mecánicas de material granular seleccionado</i> .....	38
Tabla 15. <i>Densidad máxima y humedad óptima en diferentes porcentajes de melaza</i> .....	38
Tabla 16. <i>Capacidad de soporte CBR en diferentes porcentajes de adición de melaza</i> .....	39
Tabla 17. <i>Límites de Atterberg en diferentes porcentajes de adición de melaza</i> .....	40
Tabla 18. <i>Adición de melaza de caña en peso y volumen por m<sup>3</sup> de afirmado</i> .....	44
Tabla 19. <i>Matriz con datos y valoraciones de importancia para el análisis AHP</i> .....	45
Tabla 20. <i>Matriz de comparación de criterios</i> .....	45
Tabla 21. <i>Matriz de comparación de opciones – Límite Líquido</i> .....	46
Tabla 22. <i>Matriz de comparación de opciones – Índice de Plasticidad</i> .....	47
Tabla 23. <i>Matriz de comparación de opciones – Densidad Máxima Seca</i> .....	47
Tabla 24. <i>Matriz de comparación de opciones – California Bearing Ratio</i> .....	48
Tabla 25. <i>Matriz de calificación final</i> .....	48

## **ÍNDICE DE FIGURAS.**

Figura 1. Clasificación de los tipos de materiales usados para estabilización de suelos.....	29
Figura 2. Proceso de obtención de la melaza.....	30
Figura 3. Ajuste de banda granulométrica según normativa ecuatoriana (B). .....	37
Figura 4. Variación del CBR según el porcentaje de adición de melaza.....	40
Figura 5. Índice de plasticidad versus porcentaje de adición de miel de caña .....	41
Figura 6. Densidad máxima seca versus porcentaje de adición de miel de caña. ....	41
Figura 7. Humedad óptima versus porcentaje de adición de miel de caña.....	42
Figura 8. Valores de CBR según el porcentaje de adición de miel de caña. ....	42
Figura 9. Valores de CBR al 95% de la máxima densidad seca.....	43
Figura 10. Valores de CBR al 100% de la máxima densidad seca.....	43

## GLOSARIO DE ACRÓNIMOS

- AASHTO:** *American Association of State Highway and Transportation Officials*, traducido al español, Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes, es una asociación estadounidense que elabora y dictamina normativas, métodos y procedimientos para el diseño y construcción de vías.
- AHP:** Proceso Analítico Jerárquico, del inglés, *Analytic Hyerarchy Process*, es una técnica estructurada para la toma objetiva de decisiones.
- CBR:** Relación de Soporte california, del inglés *California Bearing Ratio*, ensayo de penetración para medir propiedades mecánicas del suelo.
- MDS:** Máxima Densidad Seca, hace referencia a la máxima densidad que puede tener un suelo tras haber sido compactado con un porcentaje óptimo de humedad.
- SUCS:** Por sus siglas, Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, es un sistema de clasificación de suelos en base a su textura y/o tamaño nominal de partículas.

## RESUMEN

La red vial de Ecuador está conformada por un gran número de caminos vecinales no pavimentados, que, si bien ayudan a facilitar la movilidad terrestre, no se encuentran en las mejores condiciones ya sea debido a que su capacidad portante sea insuficiente o no cuenten con un material de mejoramiento, lo cual influye en su vida útil.

El principal problema de las superficies de rodadura es el rápido desgaste y el desprendimiento de polvo, por ello en varios estudios se ha planteado el uso de estabilizantes para el mejoramiento de esta capa, aun así, en Ecuador, es escasa la información que se tiene respecto al uso de la melaza de caña como estabilizante, por este motivo en el presente trabajo de investigación se propone medir la capacidad de soporte incorporando melaza de caña a una capa de rodadura básica granular especificada para vías de bajo tránsito con subrasantes arenosas lastradas, ya que gracias a este estabilizante se estima que incremente su valor de soporte CBR.

El diseño de investigación fue de tipo experimental puro, realizándose a través de la observación directa mediante ensayos de laboratorio requeridos por el “Ministerio de Transporte y Obras Públicas” en la Norma Ecuatoriana Vial “NEVI-12 Vol. 3” para así determinar la influencia de este aditivo en las propiedades mecánicas de capas de rodadura básicas granulares.

En cuanto a la dosificación de material granular óptimo para superficies de rodadura corresponde a un 60% de agregado fino y 40% de agregado grueso. Finalmente se determinó que el contenido óptimo de melaza de caña corresponde a un 2.5%, incrementando tanto la capacidad de soporte de la superficie de rodadura del 92.9% hasta un 207.4%, además de aportar con una plasticidad de 3.4%, lo cual ayuda a mantener la cohesión entre las partículas de afirmado.

**Palabras claves:** melaza, caña, estabilizante, CBR, capas, rodadura, granulares

## ABSTRACT

Ecuador's road network is made up of a large number of unpaved country roads, which facilitate land mobility. However, the roads are not in the best condition due to insufficient bearing capacity or because the roads don't have an improvement material, which influences their useful life.

The main problem of road surfaces is the rapid wear and the release of dust, so several studies have proposed using stabilizers to improve this layer. Even so, there is little information on sugarcane molasses as a soil stabilizer in Ecuador. For this reason, in this research, we propose to measure the bearing capacity by incorporating cane molasses into a basic granular wearing layer specified for low-traffic roads with ballasted sandy subgrades. Due to this stabilizer, it is estimated that its CBR bearing value will increase.

The research design was a pure experimental type, carried out through direct observation using laboratory tests required by the "*Ministerio de Transporte y Obras Publicas*" in the Ecuadorian road standard "NEVI-12 Vol. 3" in order to determine the influence of this additive on the mechanical properties of basic granular wearing courses.

The optimum dosage of granular material for road surfaces corresponds to 60% fine aggregate and 40% coarse aggregate. Finally, it was determined that the optimum content of cane molasses corresponds to 2.5%, increasing the road surface's bearing capacity from 92.9% to 207.4% and providing plasticity of 3.4%, which helps maintain the cohesion between the pavement particles.

*Keywords: molasses, cane, stabilizer, CBR, granular, bearing, layer*



Reviewed by:

Mgs. Lorena Solís Viteri

ENGLISH PROFESSOR

c.c. 0603356783

# CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.

## 1.1. Antecedentes

Las carreteras son un medio de comunicación esencial utilizado a nivel global, pues influyen en el desarrollo económico y social de los países. En la actualidad, toda red vial aporta en la economía de los países y en la calidad de vida de las personas. Así, las vías o carreteras consisten en estructuras construidas con el fin de facilitar la movilidad terrestre, permitiendo la comunicación entre diferentes regiones, provincias, cantones, incluso países, cuya conformación comprende las facilidades necesarias que aseguran la correcta circulación (*Reglamento Ley Sistema Infraestructura Vial Del Transporte Terrestre*, 2018). Estas pueden estar pavimentadas o no; tomando en consideración que la estructura interna de una vía pavimentada consta de: subbase, base y capa de rodadura, esta combinación de capas se asienta sobre una subrasante que permite soportar y distribuir las cargas de tránsito (NEVI-12, 2013).

La inversión en infraestructura de transporte en los países de América Latina entre los años 2007 y 2015 es insuficiente, pues se estima que el promedio de inversión vial respecto al PIB, es del 2.2% (CEPAL, 2018). Por ende, a nivel regional la inversión en infraestructura de transporte se consideraría precaria e insuficiente con falta de cobertura y sostenibilidad; es por esto que se ha podido apreciar la falta de vías pavimentadas, o que por lo menos cuenten con una capa de rodadura que permitan una adecuada transitabilidad.

A nivel nacional, en Ecuador se han implementado varios proyectos viales de diversos tipos de acuerdo a su diseño entre ellos caminos vecinales y urbanos. En este contexto, se ha podido apreciar que muchas de estas vías no están pavimentadas y se encuentran en malas condiciones; por lo tanto, no garantizan una adecuada funcionalidad. En la última actualización del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, se estima que en el 33.11% de la red vial estatal se debe circular con precaución debido al estado en que se encuentran las vías (MTO, 2020). Además de que según MTO (2014) cerca del “52% de la red vial nacional está formada por caminos terciarios y vecinales, concentrados principalmente en la Sierra y con condiciones subóptimas de transitabilidad”. Por lo anteriormente citado, es necesario buscar alternativas para mitigar el problema mejorando en cierto grado el estado de las vías, dando prioridad a las vías de tercer orden y vecinales.

Se han realizado varios estudios respecto a la utilización de materiales alternativos que permiten un mejoramiento de la capa de rodadura básica granular de una vía, en donde se adiciona un estabilizador que mejore las propiedades de esta capa, de manera que incremente su capacidad de soporte. Para lograr este mejoramiento existen métodos ligantes, donde se incluyen el cemento, cal y melaza. De ello, la melaza de caña es el producto de la cristalización final del azúcar, de los cuales ya no se puede obtener más, por los medios físicos (Esperanza & Constanza, 2007). Por otro lado, de acuerdo a la norma NEVI-12, las capas de rodadura básicas granulares consisten en una capa estabilizada de arena y/o grava, según sea la granulometría del árido, colocada sobre una subrasante terminada con la finalidad de proporcionar una superficie uniforme y resistente para circulación de baja intensidad, es por ello que este estudio puede ser aplicado tanto en vías de tercer orden y vecinales (NEVI-12, 2013).

De acuerdo al Manual de Carreteras de Chile, las capas granulares de rodadura consisten en material granular compactado y cuya superficie no cuenta con otro tipo de revestimiento conformando, son así las denominadas carreteras no pavimentadas (MOP-DGOP-Dirección de Vialidad, 2018). Esta capa granular, también es conocida como afirmado o lastrado.

Las superficies de rodadura están conformadas por ripio o piedra, arena y finos o arcilla; cada uno de estos materiales aporta propiedades importantes a la mezcla, así la piedra ayuda a soportar las cargas vehiculares, la arena llena los vacíos entre las partículas, y finalmente los finos aportan en la cohesión entre las distintas partículas del afirmado (MTC, 2008). Tras lo anteriormente mencionado, uno de los inconvenientes que se generan a nivel local, es el bajo o nulo contenido de arcilla en el material para lastrado comercializado en las canteras locales, lo cual provoca que se evidencie en el desprendimiento de las partículas de las vías no pavimentadas locales, estando expuesto a perderse por su inestabilidad. Es por esto, que el contenido de finos o arcilla es indispensable en un buen afirmado, pues este material actúa como un ligante que estabiliza la superficie de rodadura granular.

Así mismo, la plasticidad que aporta las arcillas, influye en la vida útil de la carretera, pues en caso de encontrarse fuera de los rangos especificados por la norma, se deberá estabilizar mediante el uso de cal, material bituminoso, cemento u otros estabilizadores.

De tal modo, en el presente trabajo de investigación se pretende mejorar las propiedades de la capa de rodadura básica granular adicionando melaza de caña, con la finalidad de analizar y determinar su viabilidad en la aplicación de vías vecinales y de tercer orden. Para el efecto se plantea realizar varias mezclas en base a las normativas nacionales y/o internacionales; posteriormente, analizar la capacidad de soporte de estas muestras aplicando el ensayo California Bearing Ratio (CBR) en laboratorio, buscando un porcentaje óptimo de adición de melaza de caña y finalmente realizar un análisis comparativo a través del Método de Análisis Jerárquico (AHP), con el fin de establecer la factibilidad del uso de la melaza de caña como estabilizador en capas de rodadura básicas granulares.

## **1.2. Planteamiento del Problema**

La presente investigación gira en torno a la interrogante:

¿Es factible el diseño de capas de rodadura básicas granulares con la adición de melaza de caña, para vías no pavimentadas de tercer orden y caminos vecinales?

Para ello se debe tener en cuenta que, en el país, la red vial estatal está compuesta en su gran mayoría de vías de tercer orden y vecinales, muchas de las cuales no están pavimentadas, o cuentan con una capa de lastrado que llega a desgastarse fácilmente, provocando problemas de tránsito, además de afectar el desarrollo económico del sector. En relación a lo anteriormente mencionado, se formula la pregunta: ¿Cuál es la influencia de la incorporación de melaza de caña en capas de rodadura básica granular tomando como punto de referencia valores obtenidos a partir de ensayos CBR?, debido a que la capacidad de soporte será un índice de la durabilidad de la vía. Para ello se busca comparar una capa de rodadura básica granular con la adición de melaza de caña versus una capa granular simple analizando lo preestablecido en las normativas nacionales y la normativa internacional.

### **1.3. Justificación**

En Ecuador generalmente las vías vecinales y de tercer orden no cuentan con una capa de rodadura flexible o rígida, su calzada presenta irregularidad y a su vez, restringen el rápido tránsito vehicular y la comodidad. En muchos sectores del país, este tipo de vías se encuentran a nivel de subrasante conocido comúnmente como nivel de terreno natural, motivo por el cual la normativa NEVI-12 sugiere la implementación de capas de rodadura básicas granulares, las cuales constan de una combinación de arena y arcilla o grava y arcilla.

Es común que al transitar por una vía afirmada en tierra sin estabilizar sumando el efecto de no recibir el respectivo mantenimiento rutinario y periódico se puede notar la presencia de baches, corrugaciones, depresiones y ahuellamientos generados por precipitaciones y por el mismo tránsito; añadiendo también el desprendimiento de polvo.

De manera análoga, la melaza de caña tiene sus usos para alimento ganadero y como suplemento alimenticio para el ser humano, esta se obtiene como un producto secundario tras el refinamiento del azúcar de caña, para ello, tras haber cortado, lavado y extraído el jugo la caña de azúcar, se procede a cocinarlo hasta que el agua se evapore, obteniéndose un líquido viscoso residuo final de la cristalización del azúcar (Esperanza & Constanza, 2007). No obstante, con esta investigación se pretende darle un nuevo uso introduciéndola en la Ingeniería Civil, pues hoy en día se busca la implementación de nuevas tecnologías y técnicas constructivas que sean amigables con el medio ambiente, y simultáneamente, que sean económicas y presenten mayor durabilidad, por tal motivo se estima que la melaza de caña se puede utilizar como ligante para que aglutine el material y, por consiguiente, pueda aumentar la capacidad de soporte de la capa de rodadura básica granular para la estabilización de suelos.

El desarrollo de esta investigación tiene relevancia puesto que es una alternativa de solución para vías de tercer orden y vecinales que no están pavimentadas. Siendo un estudio conveniente pues aportará en el mejoramiento de las vías previamente mencionadas y consecuentemente, garantizará una adecuada transitabilidad que aportará en el desarrollo social y económico.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo General**

- Medir la capacidad de soporte incorporando melaza de caña a una capa de rodadura básica granular especificada para vías de bajo tránsito con subrasantes arenosas lastradas.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Examinar las propiedades del material de lastrado básico proveniente de una cantera local, empleando granulometrías, límites Atterberg, densidad y humedad óptima, y capacidad de soporte (CBR) en laboratorio.
- Determinar la densidad y pesos específicos de la melaza de caña para caracterizar sus propiedades.
- Elaborar varias muestras incorporando melaza de caña en capas granulares utilizando diferentes porcentajes en peso para la mezcla.

- Comparar la capacidad de soporte de las muestras utilizando el ensayo CBR, e identificar la concentración óptima de melaza de caña en relaciones de peso y volumen.
- Realizar un análisis comparativo a través del método AHP, con el fin de establecer la factibilidad del uso de la melaza de caña como estabilizador en capas de rodadura básicas granulares.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.**

### **2.1. Estado del arte**

En Perú, Yesica Becerra V. en su investigación “Adición de miel de caña sobre el CBR del afirmado de la cantera el Gavilán, Cajamarca 2017” investigó el efecto que produce la adición de miel de caña sobre un material para afirmado procedente de una cantera local, donde determinó que la capacidad portante del material para afirmado arcilloso tuvo un incremento con la adición de este estabilizante.

En Ecuador, ciudad de Riobamba, Ángel Patín P. en el año de 2018 realizó una investigación denominada “Reciclado de aceite quemado de vehículo en la estabilización de suelos arenosos”, tal como el título lo indica, utilizó el aceite quemado de vehículo como estabilizante. Es necesario recordar que el aceite quemado es un tipo de estabilizador de residuo. En la investigación se realizaron varias mezclas de suelo areno limoso adicionando aceite quemado de vehículo, que a través de ensayos de laboratorio de mecánica de suelos se pudo contrastar el mejoramiento de las propiedades mecánicas de la mezcla con un 10 a 11% del estabilizante versus el suelo compactado en su estado natural.

De igual manera, en Perú Cesar Tuesta T. en su investigación “Diseño de la capa de rodadura con material romerillo y la adición de melaza de caña para su uso en la vía baños sulfurosos - Shuchshuyacu, distrito de Jepelacio, Moyobamba” aplicó una combinación de melaza de caña y material denominado romerillo el cual en su composición contiene arcilla, para diseñar una capa de rodadura en el sector Vía Baños Sulfurosos, donde extrajo una calicata para realizar ensayos de laboratorio y determinar las propiedades mecánicas del suelo de aquella región, posteriormente incorporó la melaza de caña en porcentajes al peso y comparándolos entre sí para determinar el porcentaje óptimo, el autor concluye que la adición de melaza de caña con romerillo influye en la capacidad portante de la capa de rodadura, sin embargo a medida que el porcentaje aumenta, llega hasta un punto donde afecta negativamente a la capacidad portante de las muestras realizadas.

En 2018, Ulate & Vargas en su artículo de investigación “Control de polvo en caminos no pavimentados” establece que una de las mayores desventajas de los caminos no pavimentados es la emisión de polvo generado por la poca o nula adherencia entre partículas y la acción de las llantas sobre esta.

Por otro lado, Tucay, Geremew y Mamuye (2018), desarrollaron la investigación “Combined Effects of Molasses-Lime Treatment on Poor Quality Natural Gravel Materials Used for Sub-Base and Base Course Construction” donde se evalúa la mezcla de melaza y cal con material granular de la cantera Jimma Jiren, con la finalidad de mejorar las propiedades mecánicas de este material. Se estableció que el porcentaje óptimo para subbases corresponde a un 8% de melaza en relación al peso, aun así las muestras con cal presentaron valores más altos de CBR en comparación a las muestras en donde únicamente se añadió melaza; pero la grava en combinación con melaza y cal presenta los mejores resultados.

Finalmente, una de las soluciones es la aplicación de melaza y aceite de palma en este tipo de caminos; de esta manera se mitiga el problema y las repercusiones que genera en la salud de los usuarios (Ulate & Vargas, 2018). Así mismo, en relación al tema (Tacilla, 2021) en su tesis titulada “Estudio del supresor de polvo melaza para la mitigación de

material particulado en La Trocha Bella Unión Cajamarca” en el cual se logra una reducción de 83.33% de polvo con la mezcla de agua y melaza, que además repercute en la reducción del 90% de consumo de agua, concluyendo en la efectividad de la dilución agua más melaza para la reducción de las partículas de polvo y el impacto ambiental que se puede llegar a generar.

## 2.2. Suelo

### 2.2.1. Definición

Das (2015) establece que desde el punto de vista ingenieril se puede definir al suelo como un agregado que presenta granos minerales y que no se encuentra cementado, es decir, presenta espacios vacíos entre cada una de las diferentes partículas que lo componen. Este material puede servir como materia prima de construcción para diferentes fines tales como vivienda, infraestructura o vías.

### 2.2.2. Clasificación de suelos

Es común que se hable de arenas, arcillas o también llamados suelos granulares o finos, sin embargo, es importante establecer la clasificación para los diferentes suelos existentes para ello se presentan dos sistemas de clasificación de suelos:

#### 2.2.2.1. Clasificación AASHTO

Fue creado y propuesto por la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes, por sus siglas en inglés AASHTO, que basándonos en la granulometría de los suelos podemos clasificarlos en siete grupos tal como se muestra a continuación:

**Tabla 1.**

*Sistema de clasificación AASHTO (Inacap, 2020)*

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO											
Clasificación General	Suelos granulares ( $\leq 35\%$ pasa 0,08 mm)							Suelos finos ( $> 35\%$ Bajo 0,08 mm)			
Grupo	A-1		A-2					A-4	A-5	A-6	A-7
Sub-grupo	A-1a	A-1b	A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*				A-7-5**	A-7-6**
2 mm	$\leq 50$										
0,5 mm	$\leq 30$	$\leq 50$	$\leq 51$								
0,08 mm	$\leq 15$	$\leq 25$	$\leq 10$	$\leq 35$				$\leq 36$			
WL			$\leq 40$	$\leq 41$	$\leq 40$	$\leq 41$	$\leq 40$	$\leq 41$	$\leq 40$	$\leq 41$	
IP	$\leq$		$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 11$	$\leq 11$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 11$	$\leq 11$	
Descripción								Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
	** A-7-5: $IP \leq (WL-30)$					A-7-6: $IP > (WL-30)$					
	$IG = (F-35)[0,2 + 0,005(WL - 40)] + 0,01(F-15)(IP - 10)$ * Para A-2-6 y A-2-7: $IG = 0,01(F-15)(IP - 10)$ Si el suelo es NP $\rightarrow IG = 0$ ; Si $IG < 0 \rightarrow IG = 0$										

Para la determinación del Índice de grupo (IG), se emplea la siguiente ecuación:

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

Donde:

F: Porcentaje que pasa por el tamiz N° 200

WL: Límite líquido  
 IP: Índice de plasticidad

### 2.2.2.2. Clasificación SUCS

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), basándose en la granulometría del suelo, se pueden tener suelos granulares y cohesivos si más del 50% de sus partículas se quedan retenidas por en el tamiz N°200 o no, respectivamente. Cada uno de los diferentes tipos existentes están representados por una o dos letras mayúsculas que nos indican con antelación a que tipo de suelo pertenecen. Estas iniciales representan su nombre y características típicas tal como se puede apreciar a continuación:

**Tabla 2.**  
 Sistema de clasificación SUCS (Juarez & Rico, 2005).

**SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.)**  
 INCLUYENDO IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN

DIVISIÓN MAYOR		SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO		
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 ⊕ Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla No.200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/4 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	GRAVAS LIMPIA Poco o nada de partículas finas	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu: mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA Cc: entre 1 y 3. $Cu = D_{60} / D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$	
			GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos		
		GRAVA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	* GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.	Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
			u			
		ARENA LIMPIA Poco o nada de partículas finas	GC	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla	LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.	de símbolos dobles.
			SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.		
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/4 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	ARENA LIMPIA Poco o nada de partículas finas	ARENA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.	Cu = $D_{60} / D_{10}$ mayor de 6 ; Cc = $(D_{60})^2 / (D_{10})(D_{60})$ entre 1 y 3.  No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW
				* SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	
		u				
		ARENA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.	de símbolos dobles.
			ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.		
		SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 ⊕ Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla No.200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor de 50	LIMOS Y ARCILLAS	CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.					
MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomeos, más elásticos.					
LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50	LIMOS Y ARCILLAS		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.		
			OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.		
			P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.		
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS						

\*\* CLASIFICACIÓN DE FRONTERA- LOS SUELOS QUE POSEAN LAS CARACTERÍSTICAS DE DOS GRUPOS SE DESIGNAN CON LA COMBINACIÓN DE LOS DOS SÍMBOLOS. POR EJEMPLO GW-GC, MEZCLA DE ARENA Y GRAVA BIEN GRADUADAS CON CEMENTANTE ARCILLOSO.  
 ⊕ TODOS LOS TAMAÑOS DE LAS MALLAS EN ESTA CARTA SON LOS U.S. STANDARD.  
 \* LA DIVISIÓN DE LOS GRUPOS GM Y SM EN SUBDIVISIONES d y u SON PARA CAMINOS Y AEROPUERTOS UNICAMENTE, LA SUB-DIVISIÓN ESTA BASADA EN LOS LÍMITES DE ATTERBERG EL SUFJO d SE USA CUANDO EL L.L. ES DE 28 O MENOS Y EL I.P. ES DE 6 O MENOS. EL SUFJO u ES USADO CUANDO EL L.L. ES MAYOR QUE 28.

## **2.3. Propiedades del suelo y/o áridos**

### **2.3.1. Contenido de humedad**

El contenido de humedad es la cantidad de agua retenida en el suelo. Ahora bien, si nos referimos al contenido de humedad de una muestra de agregados, se hace referencia a la cantidad de agua retenida respecto al peso seco de la muestra; esta humedad tiene una estrecha relación con la porosidad y permeabilidad de los mismos agregados.

### **2.3.2. Granulometría.**

La granulometría permite caracterizar una muestra de suelo o agregados en base a los diferentes tamaños de sus partículas, de manera que la distribución puede ser analizada y representada mediante tablas o gráficos.

### **2.3.3. Límites de Atterberg**

También se conocen como límites de consistencia, y permiten caracterizar a las partículas finas en base a su contenido de agua, clasificándose así en 4 estados: líquido, plástico, semisólido y sólido. En cuanto al área de pavimentos, en las normas nacionales e internacionales se analizan principalmente el límite líquido y el límite plástico de los agregados a emplear.

#### **2.3.3.1. Límite líquido.**

El límite líquido hace referencia a la cantidad de agua contenida en el suelo con la cual pasa del estado plástico al estado líquido. Para determinar el límite líquido se emplea un dispositivo denominado Copa de Casagrande para así determinar el contenido de agua en el suelo de acuerdo a cierto número de golpes.

#### **2.3.3.2. Límite plástico.**

Por otro lado, el límite plástico hace referencia a la cantidad de agua contenida en el suelo con la cual pasa del estado semisólido al estado plástico, es decir, que la muestra al ser deformada no se llega a agrietar.

### **2.3.4. Desgaste por abrasión**

Consiste en la pérdida de partículas de la superficie de un cuerpo por la acción mecánica contra otro cuerpo, es decir se genera fricción entre estos cuerpos, generado así un deterioro en el material en desgaste que se desplaza entre las partículas abrasivas.

### **2.3.5. Resistencia a los sulfatos**

Esta propiedad permite conocer la firmeza de los agregados ante la exposición al desgaste con sulfato de sodio o sulfato de magnesio. Esta característica se correlaciona con la durabilidad que puede llegar a tener la estructura que emplee dichos agregados.

### **2.3.6. Contenido de deletéreos**

La palabra deletéreo es equivalente a algo dañino, así pues, en el área de suelos y pavimentos, el contenido de deletéreos consiste en determinar el contenido de arcilla en los agregados, pues sabemos que este tipo de partículas perjudican las propiedades de los áridos.

### **2.3.7. Densidad Máxima y Humedad Óptima**

La humedad a la que se logra alcanzar la densidad máxima se considera como óptima, y puede ser aplicada para muestras de suelo o de agregados finos y gruesos. Un suelo que contenga una humedad óptima puede conseguir una mayor capacidad de soporte, lo cual es

un requisito en el diseño de vías pues permite una mayor resistencia a las cargas de tránsito que éstas soportan.

### 2.3.8. Capacidad portante

Es la capacidad del suelo para soportar las cargas que se aplican sobre este. En el diseño de pavimentos se relaciona con la capacidad de las diferentes capas que lo conforman ante las cargas del tránsito que soportan, llegando a generar esfuerzos y deformaciones sobre el pavimento diseñado.

## 2.4. Vía

Se entiende por vía a un espacio o área delimitada y habilitada para el tránsito de personas o vehículos (MOP-001-F, 2002), estos últimos pueden ser de tracción animal, humana o mecánica.

Una vía debe brindar un adecuado nivel de acceso para ello se requiere de dos elementos: transitabilidad y nivel de servicio. La transitabilidad hace referencia a la facultad de poder transitar determinado camino o vía durante los 365 días del año, mientras que el nivel de servicio está definido por su velocidad media y calidad de rodado. La velocidad media de operación para una vía en Ecuador está determinada por su categoría, esta puede ser desde vías arteriales hasta vecinales, es común que para vías con bajo volumen de tránsito su velocidad de circulación este entre los 30 km/h hasta los 60 km/h (Thenoux, 2021).

Adicionalmente según el MTOP (2003) clasifica a las vías por su jerarquía y volumen de tránsito de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 3.**

*Clases de vías según su jerarquía y volumen de tránsito (MTOP, 2003).*

FUNCIÓN	CLASE DE CARRETERA	TPDA (AÑO FINAL DE DISEÑO)
Corredor – Arterial	RI – RII	> 8000
	I	3000 – 8000
Colectora	II	1000 – 3000
	III	300 – 1000
Vecinal	IV	100 – 300
	V	< 100

Conforme a lo exhibido por la tabla, existen vías arteriales conformadas por autopistas (RI y RII) y vías tipo I y II, mientras que los caminos del tipo colectores son aquellas vías del tipo I, II, III y IV. Por otra parte los caminos denominados vecinales corresponden a las vías del tipo IV y V.

## 2.5. Capas de rodadura

Según el Ministerio de Obras Públicas de Ecuador (2002) define a una capa de rodadura como: “Capa superior de la calzada, de material especificado, designada para dar comodidad al tránsito. Debe tener características antideslizantes, ser impermeable y resistir la abrasión que produce el tráfico y los efectos desintegrantes del clima.”

De acuerdo a la Nevi-12 (2013) las capas de rodadura pueden ser de varios tipos tales como: flexibles, rígidas, afirmadas y de superficie natural.

Adicionalmente la MOP-001-F describe varias superficies de rodadura entre las cuales destacamos:

#### **2.5.1. Superficies de rodadura afirmadas (básica granular)**

Las capas de rodadura básicas consisten en una capa estabilizada de suelo ya sea esta gravas y/o arenas las cuales están sobre una subrasante terminada y de cumplir con todas aquellas dimensiones, lineamientos con la finalidad de dar a la vía una superficie uniforme y resistente para Bajo Volumen de Transito (BVT) (MOP-001-F, 2002).

#### **2.5.2. Superficies de agregados no tratados**

De manera similar que, en las anteriores, los agregados son colocados sobre una subrasante terminada y debe cumplir con aquellas dimensiones y lineamientos prestablecidos durante la etapa de diseño. Es importante indicar que estos agregados no tratados pueden estar constituidos por gravas o fragmentos de roca que deberán ser combinados con suelos finos, además, se los deberá tamizar para separar aquellos agregados que excedan de los límites granulométricos (MOP-001-F, 2002).

#### **2.5.3. Requisitos de capas de rodadura básicas granulares**

Las capas de rodadura básicas granulares, también son llamadas coloquialmente como lastre/lastrado o afirmado, y en general consisten en una mezcla de áridos finos y gruesos que, con cierto contenido de agua, permite resistir la carga vehicular de carreteras de bajo tránsito.

Entre las normas que se consideran en el diseño de capas de rodadura en Ecuador, están las normas locales e internacionales:

Normas locales:

- Norma Ecuatoriana Vial (NEVI – 12 – MTOP)
- Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN)

Normas regionales:

- Instituto Nacional de Vías (INVIAS) – Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras 2012, Colombia.
- Manual para carreteras de Chile 2018
- Manual de Diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito 2008 (Ministerio de Transporte y Comunicaciones), Perú.

En base a estas normas, se establecen ciertos requerimientos mediante la ejecución de ensayos para de esta manera lograr las características óptimas de los materiales a emplear para el diseño de capas de rodadura básicas granulares.

**Tabla 4.**

Requerimientos de ensayos según normativas nacionales y regionales.

Norma/ Ensayo	Normas nacionales	Normas regionales		
	NEVI -12 -MTOP Año: 2013	INVIAS - Colombia Año: 2012	Manual para Carreteras de Chile Año: 2018	MTC Perú Año: 2008
Granulometría	Tabla 5	Tabla 6	Tabla 7	Tabla 8
Límite Líquido	$LL \leq 35$	$LL \leq 40$	$LL \leq 35$	$LL \leq 35$
Límite Plástico (Índice de plasticidad)	$IP \leq 9$	$4 \leq IP \leq 9$	$4 \leq IP \leq 9$	$4 \leq IP \leq 9$
Desgaste en máquina los Ángeles	-	A 500 revoluciones, máximo 50%	Máximo 30% (fracción gruesa)	Máximo 50%
Resistencia a los sulfatos	-	- Sulfato de sodio: máximo 12 - Sulfato de magnesio: máximo 18 %.		-
Contenido de deletéreos	-	Máximo 2%		
Capacidad de soporte CBR	$CBR \geq 20\%$	$CBR \geq 15\%$	$CBR \geq 60\%$	$CBR \geq 40\%$

**Tabla 5.**

*Granulometría de superficies de rodadura de acuerdo a la norma ecuatoriana (MOP-001-F, 2002).*

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada				
	A	B	C	D	E
2"	100				
1 1/2"	80-100				
1"	60-80	100	100	100	100
3/8"	-	50-85	60-100	-	-
N° 4	45-65	35-70	45-85	-	-
N° 10	-	25-50	30-65	40-100	55-100
N° 40	-	12-30	15-40	20-50	30-70
N° 200	5-15	4-12	5-15	6-20	8-25

**Tabla 6.**

*Granulometría de material de afirmado según la norma colombiana (INVÍAS, 2013).*

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
	A-38	A-25
1 1/2"	100	-
1"	-	100
3/4"	80-100	90-100
3/8"	60-85	65-90
N° 4	40-65	45-70
N° 10	30-50	35-55
N° 40	13-30	15-35
N° 200	9-18	10-20

**Tabla 7.**

*Granulometría para bases granulares de rodadura según la norma chilena (MOP-DGOP-Dirección de Vialidad, 2018).*

Tamiz (mm)	TM-40b	TM-40c
40	100	100
25	80-100	80-100
20		
10	50-80	50-80
5	35-65	35-65
2.5		
2	25-50	25-50
0.5	10-30	15-30
0.08	5-15	5-20

**Tabla 8.**

*Granulometría para cada tipo de afirmado de acuerdo a la norma peruana (MTC, 2008).*

<b>Porcentaje que pasa del tamiz</b>	<b>Tráfico T0 y T1: Tipo 1 IMD &lt; 50 veh.</b>	<b>Tráfico T2: Tipo 2 51-100 veh.</b>	<b>Tráfico T3: Tipo 3 101-200 veh.</b>	<b>Tráfico T4: Tipo 4 201-400 veh.</b>
50 mm (2")	100	100		
37.5 mm (1 ½")		95-100	100	
25 mm (1")	50-80	75-95	90-100	100
19 mm (¾")			65-100	80-100
12.5 mm (½")				
9.5 mm (3/8")		40-75	45-80	65-100
4.75 mm (N°4)	20-50	30-60	30-65	50-85
2.36 mm (N° 8)				
2.0 mm (N°10)		20-45	22-52	33-67
4.25 μm (N° 40)		15-30	15-35	20-45
75 μm (N° 200)	4-12	5-15	5-20	5-20

## **2.6. Estabilización de suelos**

Toro (2007) afirma que la estabilización de suelos tiene por objetivo mejorar las propiedades mecánicas del mismo, sobre todo en la construcción de carreteras en donde se deben cumplir los requisitos necesarios que garanticen la impermeabilidad y durabilidad en condiciones desfavorables.

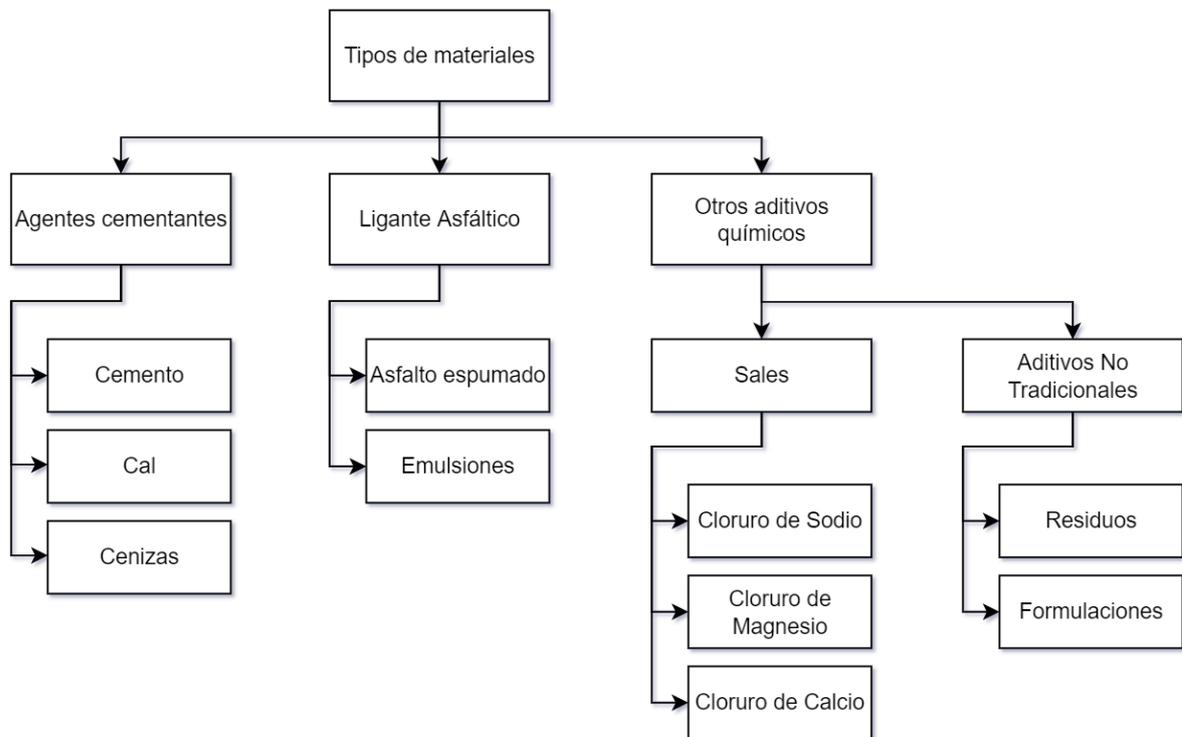
Del mismo modo, el proceso de estabilización está ligado a la capacidad de soporte conjuntamente con la humedad del material a emplear (Toro, 2007). Adicionalmente, tiene como objetivo fundamental evitar el reemplazo del suelo buscando que este sea trabajable y permita la compactación adecuada del material (Thenoux, 2021).

Sin embargo, esto no solamente es aplicado a suelo natural, sino que puede ser empleada para la conformación de superficies de rodadura, tal como previamente ha sido descrito por la normativa ecuatoriana. Asimismo, un estabilizador puede ser empleado a manera de ligante para que se mejoren considerablemente las propiedades mecánicas del material de afirmado.

### **2.6.1. Clasificación de materiales para estabilización**

Según Thenoux (2021) los principales materiales usados para estabilización son: asfalto, agentes cementantes como cemento, cal o cenizas, y otros aditivos químicos. De estos últimos podemos diferenciar dos subclasificaciones tales como: Aditivos de sales como por ejemplo cloruro de sodio, cloruro de magnesio, cloruro de calcio; y por otra parte tenemos a los aditivos no tradicionales.

Los aditivos no tradicionales están conformados por formulaciones y residuos, el autor indica que existen muchas clases de residuos sobre las cuales se han hecho investigaciones con la finalidad de realizar la actividad de estabilización, además indica que las proporciones, dosificaciones y formulas son secretas o en muchos de los casos desconocidas, motivo por el cual nos sugiere ser cautelosos al emplear estabilizadores no tradicionales (Thenoux, 2021).



**Figura 1.** Clasificación de los tipos de materiales usados para estabilización de suelos (Thenoux, 2021).

## 2.7. Caña de azúcar (aditivo no tradicional - residuo)

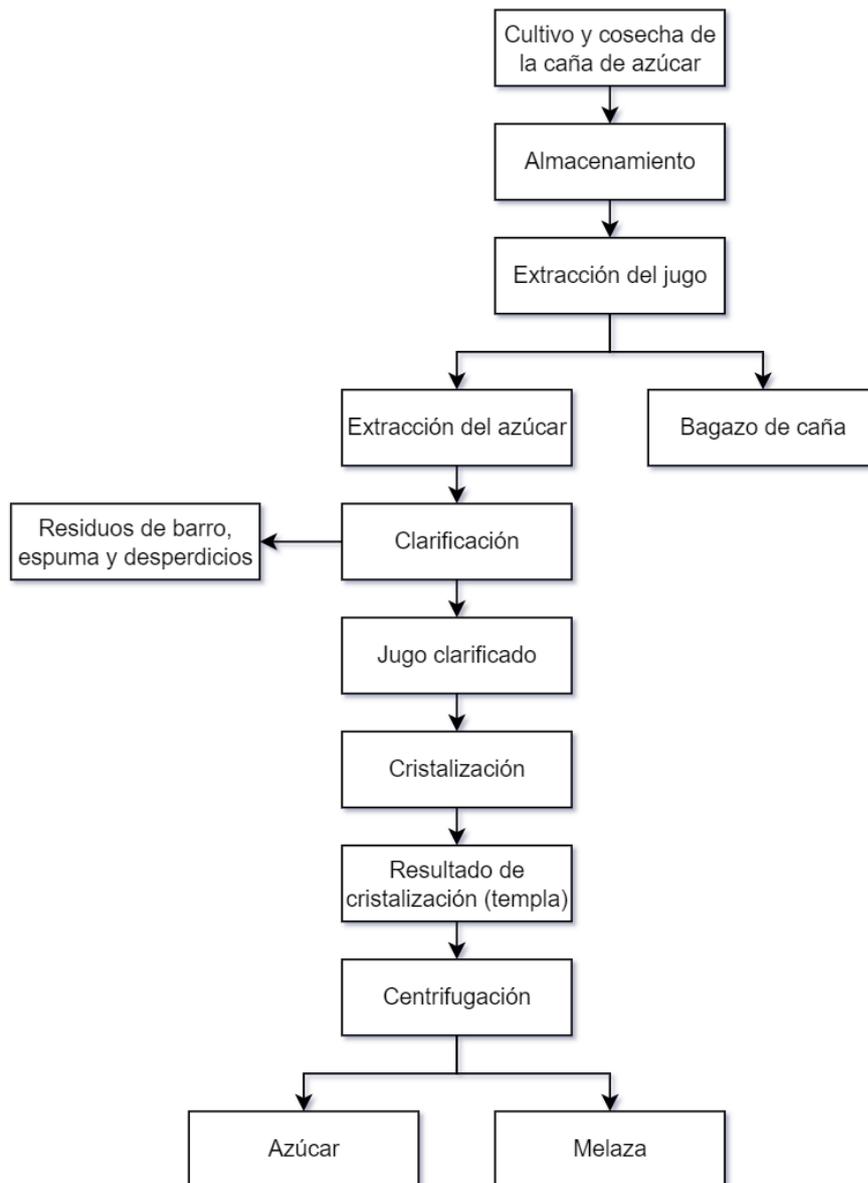
Lleva por nombre científico *Saccharum officinarum*, este espécimen proviene de Nueva Guinea, se caracteriza principalmente debido a que en su tallo forma y acumula una savia dulce y rica en sacarosa, de la cual posteriormente se extrae y cristaliza para obtener el azúcar (Fajardo & Sarmiento, 2007).

Es común que los ingenios azucareros al ser empresas industrializadas aprovechen al máximo la caña de azúcar, a partir de ella se puede producir numerosos subproductos, a saber: azúcar, mieles o melazas, papel, biodiesel, guarapo, licor, confitería, entre otros más. Sin embargo, se va a prestar atención a la melaza.

### 2.7.1. Melaza de caña

Como se describió anteriormente la melaza o miel de caña es un subproducto del proceso y obtención del azúcar blanca, esta miel se caracteriza por ser un líquido viscoso y presentar una coloración amarillenta oscura.

Este subproducto surge como residuo de la obtención y cristalización del azúcar, este procedimiento de cristalización y evaporación se lo realiza un máximo de tres veces hasta que por su viscosidad ya no se puede obtener más azúcar. Este residuo se ocupa principalmente como complemento alimenticio tanto para el ser humano como para ciertos animales de granja (Fajardo & Sarmiento, 2007).



**Figura 2.** Proceso de obtención de la melaza (Ariza & Gonzales, 1997).

### 2.7.1.1. *Composición*

Su composición puede variar debido a múltiples factores tales como: procedencia y cultivo de la caña de azúcar, proceso de obtención de la melaza, herramientas y equipos usados durante su obtención, entre otros, a continuación se presenta una tabla que describe los principales componentes de la melaza de caña.

**Tabla 9.**

*Composición de melaza de caña (Garzón & Hernández, 2009; Tuesta, 2020).*

<b>Componentes principales</b>	<b>Constituyentes</b>	<b>Porcentaje en peso (% p/p)</b>
Componentes mayores	Agua	26%
	Materia seca	74%
Azúcares	Sacarosa	30 – 40
	Glucosa	4 – 9
	Fructosa	5 – 12
	Azúcares reductores	1 – 4
Otros carbohidratos	Almidones, ácidos urónicos, gomas y otros	2 – 5
Cenizas	Carbonatos bases:	
	• K <sub>2</sub> O	7 – 15
	• CaO	30 – 50
	• MgO	7 – 15
	• Na <sub>2</sub> O	2 – 14
	Ácidos	
	• SO <sub>3</sub>	0.3 – 9
	• Cl	7 – 27
	• P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	12 – 20
	• SiO <sub>2</sub>	0.5 – 2.5
Minerales	Calcio	1 – 7
	Magnesio	0.74%
	Fósforo	0.35%
	Potasio	0.08%
Vitaminas	Vitamina A, Biotina, niacina, riboflavina, tiamina, ácido pantoténico.	3.67%
		<i>Cantidades variables</i>

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.**

### **3.1. Tipo de investigación**

La metodología aplicada fue principalmente “cuantitativa”, pues se realizó una medición comparativa mediante ensayos en laboratorio de la capacidad de soporte entre la capa de rodadura con adición de melaza de caña versus la capa de rodadura básica granular simple.

### **3.2. Diseño de investigación**

Por otro lado, la investigación tuvo un diseño experimental puro, el cual consiste en exploraciones donde las suposiciones se verifican mediante el manejo de variables (Tuesta, 2020); permitiendo así determinar el porcentaje óptimo de melaza de caña para mejorar las propiedades mecánicas de un afirmado mediante ensayo de laboratorio de suelos.

En resumen, la investigación tuvo un diseño experimental puro con un enfoque cuantitativo y cualitativo.

### **3.3. Técnicas de recolección de datos**

El desarrollo de esta investigación se realizó mediante la observación directa a través de ensayos de laboratorio establecidos por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas en la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 Vol. 3. Se ensayó el material de afirmado de vías sin adición de miel de caña y con adición de la misma para así determinar la influencia de este aditivo en la capacidad de soporte de capas de rodadura básicas granulares. En general, para la recolección de datos se tomaron como punto de referencia los siguientes ensayos:

➤ **Granulometría**

**Norma de ensayo:** INEN 696

Los ensayos de granulometría serán realizados inmediatamente después de completado el mezclado sin adición de melaza de caña.

➤ **Límite Líquido**

**Norma de ensayo:** INEN 691

El límite líquido se determinará en muestras de afirmado con y sin adición de melaza de caña.

➤ **Índice de Plasticidad**

**Norma de ensayo:** INEN 692

El límite de plasticidad se determinará en muestras de afirmado con y sin adición de melaza de caña.

➤ **Resistencia a los sulfatos**

**Norma de ensayo:** ASTM C 88, INEN 863

La resistencia a los sulfatos se realizó tanto en el agregado fino como en el agregado grueso, y la solución empleada corresponde a sulfato de magnesio hidratado.

➤ **Contenido de deletéreos**

**Norma de ensayo:** ASTM C-142

Para determinar el contenido de arcilla o partículas deleznable de realizó este ensayo tanto en agregado fino y grueso.

➤ **Densidad Máxima y Humedad Óptima**

**Norma de ensayo:** AASHTO T-180, ASTM 1557

La densidad máxima y humedad óptima se determinará en muestras de afirmado con y sin adición de melaza de caña.

➤ **Capacidad de Soporte**

**Norma de ensayo:** AASHTO T-193, ASTM D-1883

El ensayo California Bearing Ratio (CBR) se realizará en muestras de afirmado con y sin adición de melaza de caña, con el fin de determinar la influencia de este aditivo en las capas de rodadura básicas granulares.

### **3.4. Población de estudio y tamaño de muestra**

#### **3.4.1. Población de estudio**

El material para afirmado de capas de rodadura básicas granulares se obtuvo de una cantera local, ubicada en Riobamba, de igual manera la melaza de caña se obtuvo de un centro comercial agroquímico ubicado en el cantón.

#### **3.4.2. Muestra**

El material para afirmado se obtuvo de la cantera Cerro Negro

La melaza de caña se obtuvo en la Veterinaria Económica, cuya procedencia corresponde al Ingenio Azucarero del Norte Compañía de Economía Mixta (IANCEM), ubicada en la provincia de Imbabura, Ecuador.

### **3.5. Hipótesis**

Como se ha indicado previamente, en muchas ocasiones es necesario utilizar un estabilizante para mejorar las propiedades mecánicas del suelo de una vía, es por ello que a través de la miel de caña se estima que aumente el índice de plasticidad del material de afirmado, además, se estima que incremente la densidad óptima y el índice de Capacidad de Soporte California.

Con estas hipótesis planteadas se va a realizar ensayos de suelo en laboratorio para tratar de demostrarlas y posteriormente describir los resultados obtenidos.

### **3.6. Métodos de análisis, y procesamiento de datos**

Una vez obtenido el material de afirmado (arena y grava) de una cantera local en Riobamba, y la melaza de caña se realizaron los ensayos y procedimientos en el siguiente orden:

- a) Se determinó la densidad y pesos específicos de la melaza de caña para caracterizar sus propiedades.
- b) Realización del ensayo de granulometría al material de afirmado sin adición de melaza de caña.
- c) Determinación de los límites de Atterberg, a la mezcla de afirmado con y sin adición de melaza de caña; tratando de apegarnos en lo posible a los requisitos de la norma ecuatoriana NEVI-12-MTOP
- d) Se realizó el ensayo de Proctor para el material con y sin la incorporación de melaza de caña.

- e) Se ejecutó el ensayo California Bearing Ratio (CBR) tanto para el material con la incorporación de melaza de caña en diferentes porcentajes de adición, como para el material sin este aditivo.
- f) Interpretación de resultados
- g) Análisis comparativo mediante el método AHP con el fin de establecer la factibilidad del uso de la melaza de caña como estabilizador en capas de rodadura básicas granulares.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 4.1. Resultados

#### 4.1.1. Caracterización de melaza de caña

##### Determinación de la densidad y peso específico

La miel de caña utilizada en esta investigación presenta una densidad y un peso específico:

$$\begin{array}{ll} \text{Densidad} & \text{Peso específico} \\ 1.32 \frac{g}{cm^3} & 13.337 \frac{kN}{m^3} \end{array}$$

##### Contenido de humedad

Es necesario conocer el contenido de humedad de la melaza pues esta va a aportar humedad al suelo, es por ello que en laboratorio se obtuvo que presenta humedad del 25.96%.

#### 4.1.2. Caracterización del material de afirmado (muestra patrón)

##### Análisis granulométrico del agregado fino

De acuerdo a la clasificación SUCS, el material corresponde a un caso de frontera, por lo tanto se clasifica como arena mal graduada y/o arena limosa (SP - SM), y arena tipo A-1-b según la clasificación AASHTO. El material es coloquialmente denominado como macadam.

**Tabla 10.**

*Resultados de ensayo de granulometría de agregado fino.*

Tamiz N°	Abertura [mm]	Peso retenido [Kg]	Retenido parcial [%]	Retenido acumulado [%]	Pasa [%]
3/8''	9.5	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
N° 4	4.75	0.653	16.33%	16.33%	83.67%
N° 10	2	0.857	21.43%	37.76%	62.24%
N° 40	0.425	1.099	27.48%	65.24%	34.76%
N° 100	0.15	0.844	21.11%	86.35%	13.65%
N° 200	0.075	0.338	8.45%	94.80%	5.20%
	<b>Bandeja</b>	0.208	5.20%	100.00%	0.00%
	<b>Total</b>	3.999			

**Coefficiente de uniformidad,  $C_u = 15.917$**

**Coefficiente de curvatura,  $C_c = 0.599$**

##### Análisis granulométrico del agregado grueso

De acuerdo a la clasificación SUCS, el material corresponde a una grava pobremente graduada (GP), y grava (A-1-a) según la clasificación AASHTO.

**Tabla 11.***Resultados de ensayo de granulometría de agregado grueso.*

Tamiz N°	Abertura [mm]	Peso retenido [kg]	Retenido parcial [%]	Retenido acumulado [%]	Pasa [%]
1''	25.4	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19	0.784	23.18%	23.18%	76.82%
1/2"	12.5	1.066	31.52%	54.70%	45.30%
3/8''	9.5	0.645	19.07%	73.77%	26.23%
N° 4	4.75	0.667	19.72%	93.49%	6.51%
N° 10	2	0.041	1.21%	94.71%	5.29%
N° 40	0.425	0.036	1.06%	95.77%	4.23%
N° 100	0.15	0.053	1.57%	97.34%	2.66%
N° 200	0.075	0.054	1.60%	98.94%	1.06%
	<b>Bandeja</b>	0.036	1.06%	100.00%	0.00%
	<b>Total</b>	3.382			

**Coefficiente de uniformidad,  $C_u = 2.77$** **Coefficiente de curvatura,  $C_c = 1.17$** **Densidad de los agregados****Tabla 12.***Resultados de ensayo de densidad de agregado fino y grueso.*

Densidad agregado fino (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad agregado grueso (g/cm <sup>3</sup> )
2.76	2.60

**Dosificación de ajuste a la banda granulométrica seleccionada**

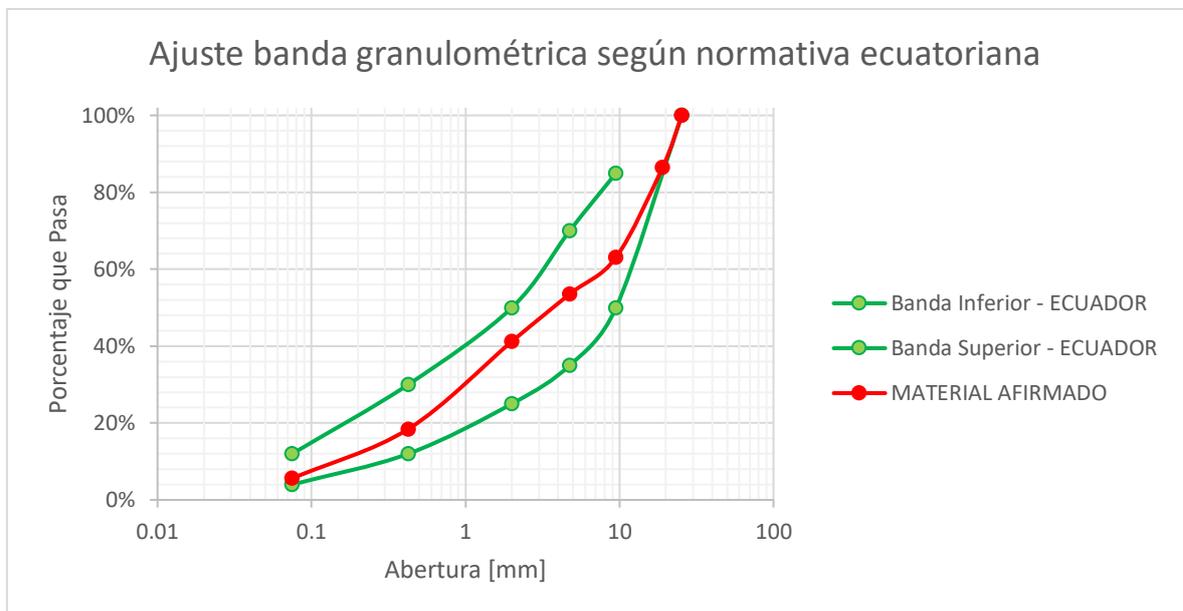
El material presenta un ajuste a la banda granulométrica B, correspondiente a la norma ecuatoriana (Tabla 5); donde la dosificación recomendada para material granular utilizado, es:

**Porcentaje de agregado fino: 60%****Porcentaje de agregado grueso: 40%**

**Tabla 13.**

*Granulometría ajustada a las bandas seleccionadas (Dosificación 60% Finos y 40% Gruesos)*

Tamiz N°	Abertura [mm]	Peso retenido [kg]	Retenido parcial [%]	Retenido acumulado [%]	Pasa [%]
1''	25.4	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19	0.706	13.60%	13.60%	86.40%
3/8''	9.5	1.212	23.34%	36.93%	63.07%
N° 4	4.75	0.495	9.53%	46.47%	53.53%
N° 10	2	0.640	12.32%	58.79%	41.21%
N° 40	0.425	1.183	22.78%	81.57%	18.43%
N° 200	0.075	0.666	12.82%	94.40%	5.60%
	<b>Bandeja</b>	0.291	5.60%	100.00%	0.00%
	<b>Total</b>	5.193			



**Figura 3.** Ajuste de banda granulométrica según normativa ecuatoriana (B).

A continuación, se presentan las demás propiedades del material granular seleccionado:

**Tabla 14.**

*Resumen de propiedades mecánicas de material granular seleccionado.*

Ensayos	Resultados
<b>Límites de Atterberg</b>	
- Límite líquido	<i>El Límite Líquido no puede determinarse</i>
- Límite plástico	No Plástico
- Índice de plasticidad	No presenta plasticidad
<b>Desgaste en máquina de los Ángeles</b>	26.50%
<b>Contenido de deletéreos</b>	0.7%
<b>Solidez en sulfatos</b>	Agregado fino: 12.69% Agregado grueso: 3.87%
<b>Proctor modificado</b>	
- Densidad máxima (MDS)	2.167 g/cm <sup>3</sup>
- Humedad óptima (OCH)	8.78 %
<b>Capacidad de soporte (CBR - %)</b>	Al 100% de MDS: 71 (0.1") y 92.9 (0.2") Al 95% de MDS: 58.9 (0.1") y 86.9 (0.2")

#### **4.1.3. Influencia de la melaza de caña en el material base**

##### **Densidad máxima y humedad óptima**

Es importante indicar que se necesita determinar la densidad máxima y hallar el porcentaje de humedad óptima para llegar a tener una adecuada compactación el suelo a ensayar, además, se debe tener presente la humedad que aporta la melaza. Para ello se realizaron varias combinaciones de suelo-melaza y obtener en laboratorio sus respectivos valores, tal como se aprecia en la Tabla 15:

**Tabla 15.**

*Densidad máxima y humedad óptima en diferentes porcentajes de melaza.*

	PORCENTAJE DE ADICIÓN DE MELAZA DE CAÑA					
	0.0%	2.5%	5.0%	7.5%	10.0%	12.5%
<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.167	2.202	2.224	2.234	2.276	2.239
<b>Humedad (%)</b>	8.79%	6.27%	5.60%	5.07%	4.81%	3.24%

Es necesario indicar que se ha incluido el porcentaje de adición de 0.00%, es decir sin adición de miel de caña, así mismo el porcentaje de 12.50% no contiene adición de agua, sino únicamente melaza.

### Capacidad de soporte CBR

Con los datos obtenidos gracias a los ensayos realizados de densidad máxima y humedad óptima, se realizaron varias probetas para ensayar y obtener los valores de sus respectivos CBR, tal como se aprecia a continuación:

**Tabla 16.**

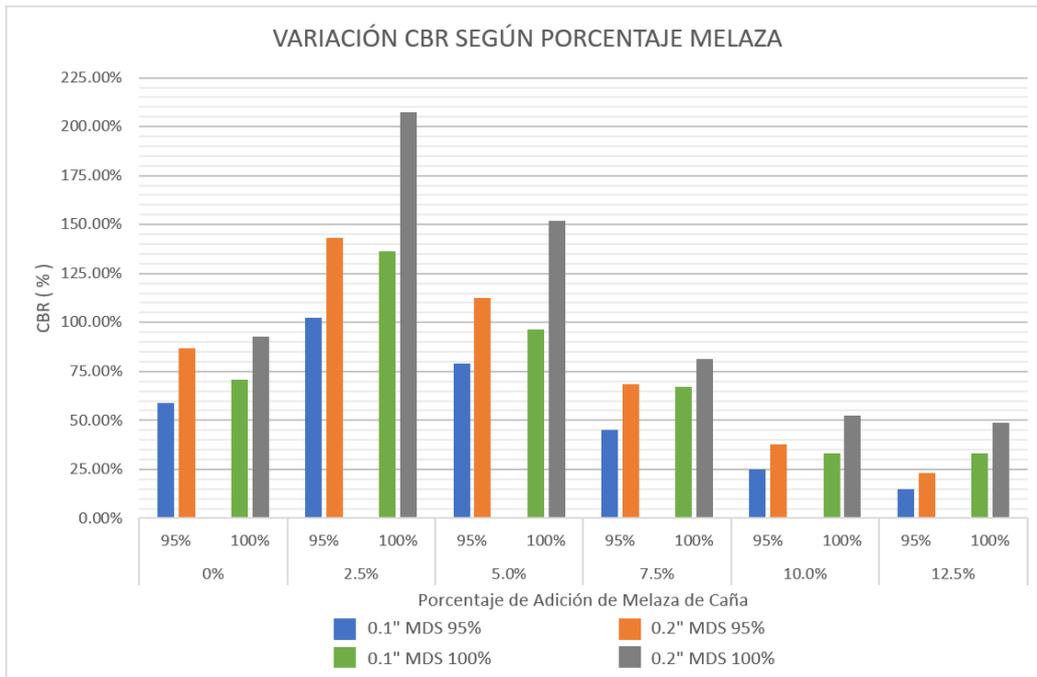
*Capacidad de soporte CBR en diferentes porcentajes de adición de melaza.*

PORCENTAJE DE ADICIÓN DE MELAZA DE CAÑA												
	0.0% (Muestra Patrón)		2.5%		5.0%		7.5%		10.0%		12.5% (Solo melaza de caña)	
	95%	100%	95%	100%	95%	100%	95%	100%	95%	100%	95%	100%
<b>0.1"</b>	58.9%	71.0%	102.3%	136.4%	79.0%	96.5%	44.9%	67.1%	24.8%	33.2%	14.8%	33.0%
<b>0.2"</b>	86.9%	92.9%	143.4%	207.4%	112.3%	152.0%	68.3%	81.4%	37.9%	52.6%	23.0%	48.9%

Tal como en el apartado anterior, se incluyeron los datos obtenidos al 0.0% de adición de melaza de caña, es decir, la muestra patrón con la que se va a realizar los respectivos análisis. Asimismo, se incluyen los resultados obtenidos con el 12.5% de adición de miel de caña sin adición de agua para su compactación.

La Figura 4 resume de manera gráfica los valores mostrados en la anterior tabla, donde podemos apreciar la evolución de los valores de CBR a las diferentes penetraciones y en diferentes valores de máxima densidad seca.

Es importante indicar que para la realización de este ensayo se siguió de manera rigurosa el procedimiento descrito en la norma vigente, es decir, todas las muestras ensayadas, se compactaron con una humedad preestablecida, las muestras tuvieron un período de inmersión, de escurrimiento y tras ello, se procedió a ensayar en la máquina Marshall.



**Figura 4.** Variación del CBR según el porcentaje de adición de melaza.

### **Incidencia de los porcentajes de adición en los índices de plasticidad de las diferentes mezclas**

En la Tabla 17 se muestran los límites de Atterberg en los diferentes porcentajes de adición de melaza de caña

**Tabla 17.**

*Límites de Atterberg en diferentes porcentajes de adición de melaza.*

	<b>PORCENTAJES DE ADICIÓN DE MELAZA DE CAÑA</b>				
	<b>2.5%</b>	<b>5.0%</b>	<b>7.5%</b>	<b>10.0%</b>	<b>12.5%</b>
<b>LL</b>	17.9%	17.2%	15.9%	14.3%	14.4%
<b>LP</b>	14.4%	14.7%	14.7%	13.5%	14.1%
<b>IP</b>	3.4%	2.5%	1.2%	0.8%	0.3%

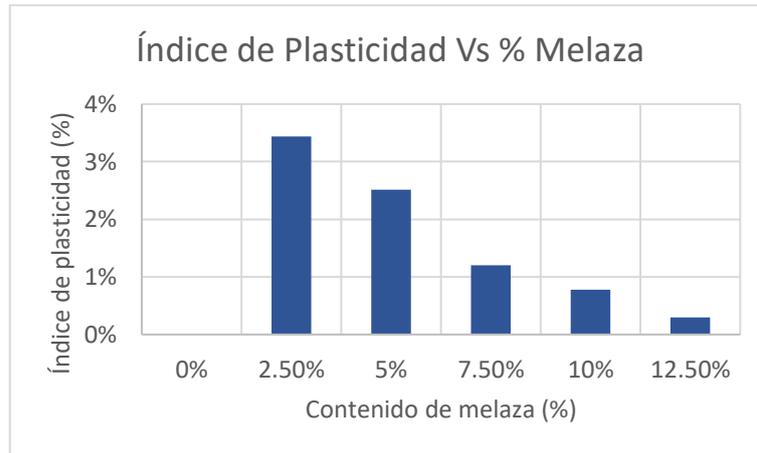
Durante la realización de este ensayo se siguió el procedimiento tal como lo indica la respectiva normativa.

## **4.2. Discusión**

### **4.2.1. Índice de plasticidad**

Se analizó la influencia de la adición de melaza en el afirmado respecto a los límites de consistencia o límites de Atterberg. El ensayo se realizó inmediatamente después de la adición de la miel, y tal como se aprecia en la Figura 5, con un 2.5% de este aditivo se alcanzó el mayor valor de índice de plasticidad, y a medida que se incrementaba la cantidad de melaza, el índice de plasticidad decreció. Es imprescindible indicar que el material con

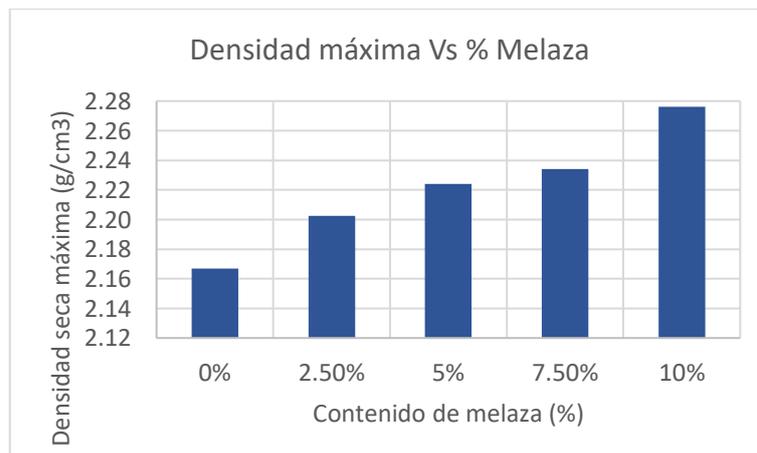
0% de melaza se determinó como no líquido, no plástico y, por consiguiente, con un índice de plasticidad nulo, véase la Tabla 14.



**Figura 5.** Índice de plasticidad versus porcentaje de adición de miel de caña

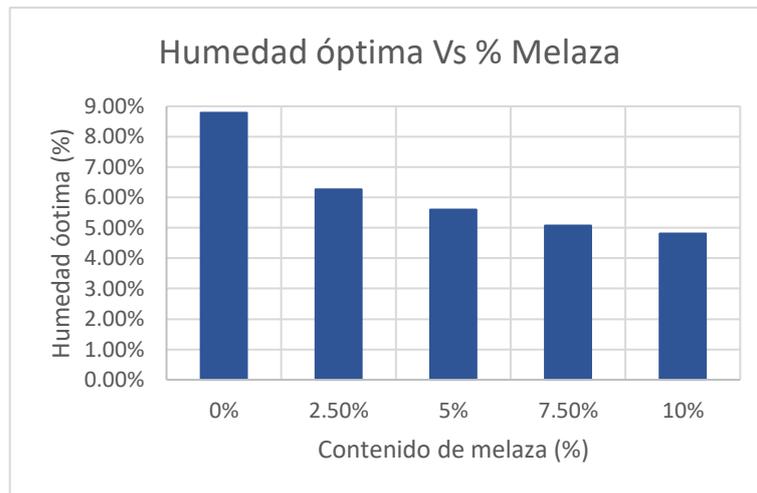
#### 4.2.2. Proctor modificado

Mediante este ensayo se determinó la máxima densidad seca y la humedad óptima de cada una de las muestras con los diferentes porcentajes de melaza adicionados, donde se pudo apreciar que a mayor cantidad de adición de miel de caña aumenta la máxima densidad seca tal como se exhibe en la Figura 6.



**Figura 6.** Densidad máxima seca versus porcentaje de adición de miel de caña.

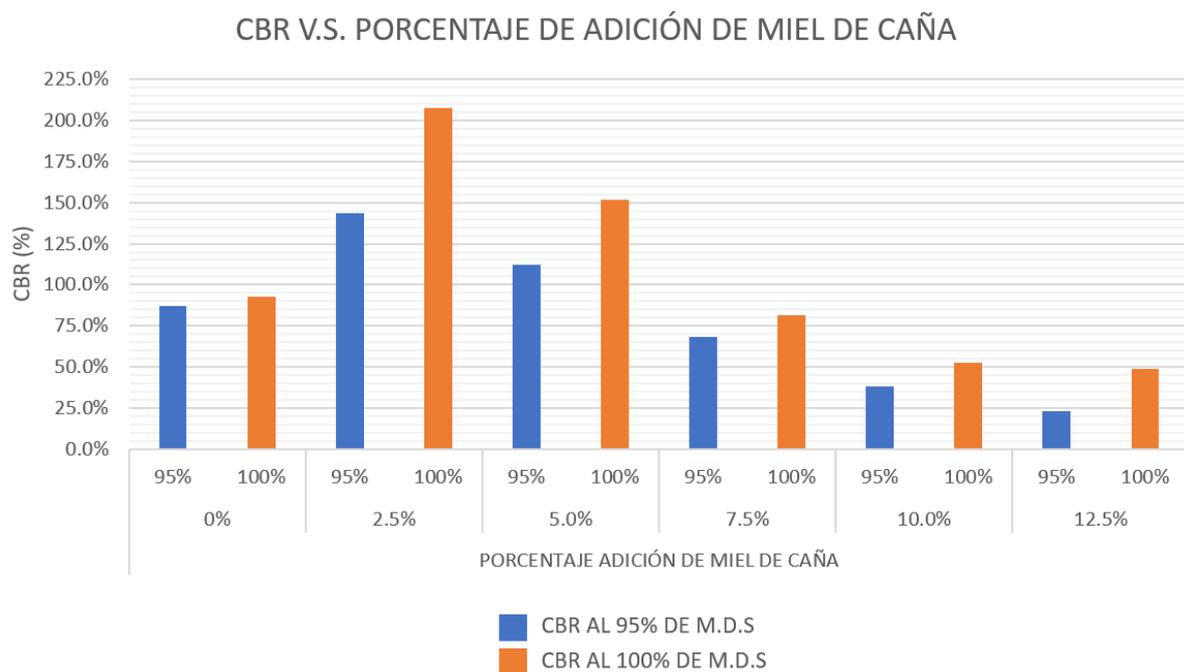
Por el contrario, en la Figura 7, se evidencia que, a mayor porcentaje de adición de melaza la humedad óptima necesaria para alcanzar la máxima densidad seca, es cada vez menor.



**Figura 7.** Humedad óptima versus porcentaje de adición de miel de caña.

### 4.2.3. California Bearing Ratio (CBR)

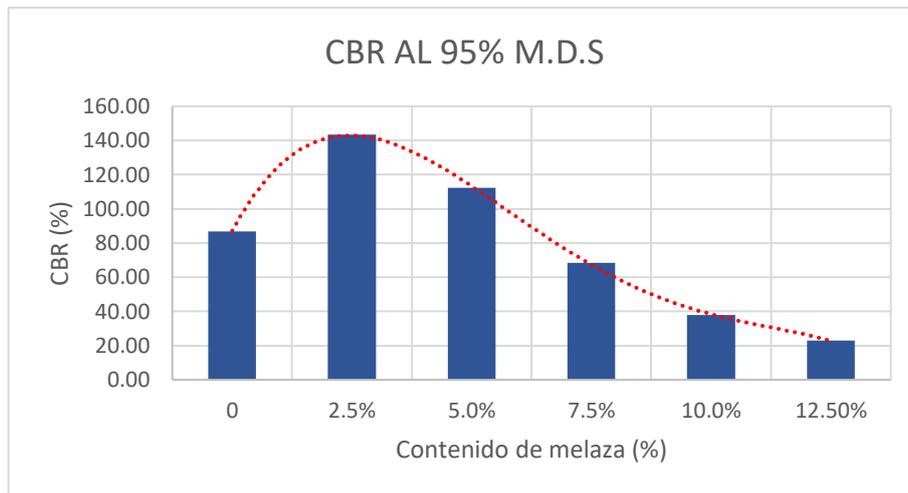
A continuación, en la Figura 8 se muestran los resultados de CBR obtenidos en diferentes concentraciones de adición de miel de caña.



**Figura 8.** Valores de CBR según el porcentaje de adición de miel de caña.

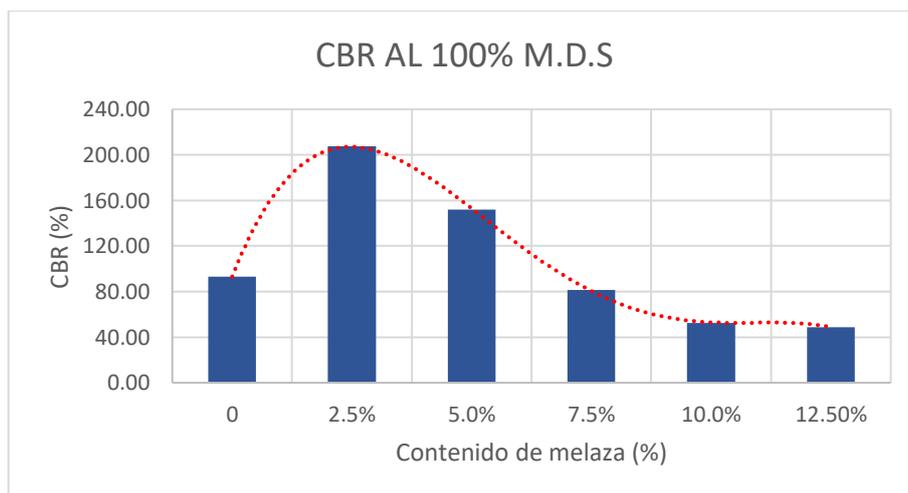
Es importante indicar que el 0% de adición de miel de caña, corresponde a la muestra patrón, es decir aquella que no tiene miel y que sirvió como punto de referencia.

Se puede notar en la Figura 9 que la muestra patrón al 95% de la máxima densidad seca, llegó a tener un CBR de 86.9%, mientras que al adicionar 2.5% y 5.0% en peso de miel de caña, se obtuvo 143.4% y 112.3%, esto nos indica que se obtuvo un incremento considerable del valor del CBR. No obstante, en mayores porcentajes de adición de miel, estos valores decrecieron, tal es el caso de los valores obtenidos con 7.5%; 10.0% y 12.5% de adición de melaza, arrojando porcentajes de CBR de 68.3%; 37.9% y 23.0%, respectivamente.



**Figura 9.** Valores de CBR al 95% de la máxima densidad seca.

Así mismo, en la Figura 10 se evidencia que la muestra patrón al 100% de la máxima densidad seca, llegó a tener un CBR de 92.9%. Con adición de 2.5% y 5.0% en peso de miel de caña, se obtuvo valores de CBR de 207.4% y 152.0%, respectivamente. De igual manera que en el caso anterior, cuando se incrementaron los porcentajes de adición de miel, los valores obtenidos de CBR decrecieron, es el claro ejemplo a concentraciones de 7.5%; 10.0% y 12.5% de adición de melaza, arrojando porcentajes de CBR de 81.4%; 52.6% y 48.9%, respectivamente.



**Figura 10.** Valores de CBR al 100% de la máxima densidad seca.

Como se pudo apreciar, los valores de CBR obtenidos con la incorporación de 2.5% y 5% de melaza de caña sobrepasan el 100%. Este comportamiento lo explica Sánchez (2002) debido a que la resistencia del suelo depende de dos factores: a) el contacto entre partículas y b) cuando se tienen humedades más bajas, es por ello que al combinar un agregado grueso con finos estos actuarán como cementante que aumente su resistencia. Tomando en cuenta el primer factor, este se ve reflejado en el incremento de la densidad, pues con la adición de 2.5% de melaza incrementó de 2.167 g/cm<sup>3</sup> a 2.20 g/cm<sup>3</sup>; por otro lado, en cuanto al segundo factor se aprecia un decremento apreciable de la humedad de 8.78% a 6.27%.

Además, existen varios estudios previos en donde se ha logrado duplicar e incluso triplicar los valores de CBR con la adición óptima de melaza de caña. Así, Becerra (2019) en su investigación titulada “Adición de Miel de Caña sobre el CBR del Afirmado de la Cantera El Gavilán, Cajamarca 2017” logró aumentar el CBR 2” de 100% a 144% con una adición de 2% de melaza de caña a suelo granular tipo A1. De igual manera, Quispe (2021) logró incrementar el valor de CBR de 6.60% a 18.30% con 8% de melaza a s

uelo CL o A-6(5); si bien este incremento no superó el CBR de 100% por la baja capacidad de soporte del suelo en estudio, pero se puede destacar que mediante el uso de este estabilizante se llegó a triplicar la capacidad de soporte del suelo.

#### 4.2.1. Proporciones en peso y volumen

Con los datos obtenidos en laboratorio, se conoce las densidades de los áridos fino y grueso, con ellos se puede calcular las dosificaciones para cada porcentaje de adición de miel de caña.

Si bien constructivamente se ocuparía una dosificación 60-40, es decir 60% del total correspondería al árido fino, mientras que el porcentaje restante, es decir 40% correspondería al árido grueso. De este modo por 1m<sup>3</sup> de material necesitaríamos:

0.6 m<sup>3</sup> de arena

0.4 m<sup>3</sup> de grava

O a su vez:

1.656 Tons de arena

1.04 Tons de grava

Ahora para los diferentes porcentajes de adición de melaza de caña en un material de afirmado, por cada metro cúbico de material se necesitaría:

**Tabla 18.**

*Adición de melaza de caña en peso y volumen por 1m<sup>3</sup> de material de afirmado.*

Porcentaje de adición	Peso [kg]	Volumen	
		[ m <sup>3</sup> ]	[ litros ]
2.5%	67.4	0.0495	49.5
5.0%	134.8	0.0991	99.1
7.5%	202.2	0.1437	148.7
10.0%	269.6	0.1922	192.2
12.5%	337.0	0.2478	247.8

#### 4.2.2. Proceso de análisis jerárquico – Análisis Comparativo AHP

Para la realización del análisis AHP, se partieron con criterios a evaluar tales como: límite líquido, índice de plasticidad, densidad máxima seca y valores de CBR. A cada uno de ellos se otorgó una ponderación acorde a su importancia basándonos en los requerimientos descritos en las normas vigentes.

**Tabla 19.**

*Matriz con datos y valoraciones de importancia para el análisis jerárquico AHP.*

IMPORTANCIA	CRITERIO	MUESTRA PATRÓN	ADICIÓN 2.5% MELAZA	ADICIÓN 5.0% MELAZA	ADICIÓN 7.5% MELAZA	ADICIÓN 10% MELAZA	ADICIÓN 12.5% MELAZA
7	LÍMITE LÍQUIDO [%]	0%	17.86%	17.18%	15.93%	14.28%	14.35%
9	ÍNDICE DE PLASTICIDAD [%]	0%	3.44%	2.52%	1.20%	0.78%	0.30%
4	DENSIDAD MÁX. SECA [g/cm <sup>3</sup> ]	2.167	2.200	2.220	2.234	2.276	2.239
6	CALIFORNIA BEARING RATIO [%]	92.90%	207.40%	152.00%	81.40%	52.60%	48.90%

Con un análisis horizontal se armó la matriz de comparación de criterios tal como se muestra en la Tabla 20, para ello nos hemos ayudado en la escala de Saaty.

**Tabla 20.**

*Matriz de comparación de criterios.*

CRITERIO	LÍMITE LÍQUIDO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	DENSIDAD MÁXIMA SECA	CALIFORNIA BEARING RATIO	MATRIZ NORMALIZADA				PONDERACIÓN
LÍMITE LÍQUIDO	1	0.333	5	3	0.221	0.210	0.294	0.261	0.246
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	3	1	9	7	0.662	0.630	0.529	0.609	0.607
DENSIDAD MÁXIMA SECA	0.200	0.111	1	0.500	0.044	0.070	0.059	0.043	0.054
CALIFORNIA BEARING RATIO	0.333	0.143	2	1	0.074	0.090	0.118	0.087	0.092
<b>TOTAL</b>	4.533	1.587	17	11.500					

A continuación se determina si se ha ponderado razonablemente, para lo cual vamos a obtener los respectivos valores:

**nmax:** Obtenido de la multiplicación de la matriz de criterios con el vector ponderación, obteniendo una sumatoria de 4.0594

**CI:** obtenido con la siguiente fórmula  $CI = \frac{(nmax - n)}{(n - 1)}$

**RI:** Obtenido con el equivalente al 95% de confiabilidad de la campana de Gauss  $RI = \frac{1.98 \cdot (n - 2)}{n}$

**CR:** Obtenido a partir de la relación entre el factor CI y el valor RI.  $CR = \frac{CI}{RI}$

De esta manera se obtuvieron los siguientes valores:

$$nmax = 4.0594$$

$$CI = 0.020$$

$$RI = 0.990$$

$$CR = 0.020$$

Debido a que el valor de CR es inferior a 0.1 podemos decir que se ha ponderado razonablemente la matriz de comparación de criterios. Tras haber corroborado lo anteriormente descrito se procede a realizar las matrices de comparación de opciones con cada criterio a analizar.

**Tabla 21.**

*Matriz de comparación de opciones – Límite Líquido.*

OPCIONES	MUESTRA PATRÓN	ADICIÓN 2.5% MELAZA	ADICIÓN 5.0% MELAZA	ADICIÓN 7.5% MELAZA	ADICIÓN 10% MELAZA	ADICIÓN 12.5% MELAZA	MATRIZ NORMALIZADA						PROMEDIO
MUESTRA PATRÓN	1	0.143	0.200	0.200	0.333	0.333	0.042	0.056	0.051	0.025	0.026	0.022	0.221
ADICIÓN 2.5% MELAZA	7	1	2	3	3	4	0.292	0.391	0.508	0.381	0.234	0.261	2.067
ADICIÓN 5.0% MELAZA	5	0.500	1	3	5	5	0.208	0.195	0.254	0.381	0.390	0.326	1.755
ADICIÓN 7.5% MELAZA	5	0.333	0.333	1	3	3	0.208	0.130	0.085	0.127	0.234	0.196	0.980
ADICIÓN 10% MELAZA	3	0.333	0.200	0.333	1	2	0.125	0.130	0.051	0.042	0.078	0.130	0.557
ADICIÓN 12.5% MELAZA	3	0.250	0.200	0.333	0.500	1	0.125	0.098	0.051	0.042	0.039	0.065	0.420
<b>TOTAL</b>	24	2.560	3.933	7.867	12.833	15.333							

**Tabla 22.***Matriz de comparación de opciones – Índice de Plasticidad.*

OPCIONES	MUESTRA PATRÓN	ADICIÓN 2.5% MELAZA	ADICIÓN 5.0% MELAZA	ADICIÓN 7.5% MELAZA	ADICIÓN 10% MELAZA	ADICIÓN 12.5% MELAZA	MATRIZ NORMALIZADA						PROMEDIO
MUESTRA PATRÓN	1	0.111	0.143	0.200	0.333	0.500	0.037	0.059	0.030	0.021	0.020	0.020	0.186
ADICIÓN 2.5% MELAZA	9	1	3	5	7	9	0.333	0.527	0.623	0.514	0.416	0.367	2.780
ADICIÓN 5.0% MELAZA	7	0.333	1	3	5	7	0.259	0.176	0.208	0.308	0.297	0.286	1.533
ADICIÓN 7.5% MELAZA	5	0.200	0.333	1	3	5	0.185	0.105	0.069	0.103	0.178	0.204	0.845
ADICIÓN 10% MELAZA	3	0.143	0.200	0.333	1	2	0.111	0.075	0.042	0.034	0.059	0.082	0.403
ADICIÓN 12.5% MELAZA	2	0.111	0.143	0.200	0.500	1	0.074	0.059	0.030	0.021	0.030	0.041	0.253
<b>TOTAL</b>	27	1.898	4.819	9.733	16.833	24.500							

**Tabla 23.***Matriz de comparación de opciones – Densidad Máxima Seca*

OPCIONES	MUESTRA PATRÓN	ADICIÓN 2.5% MELAZA	ADICIÓN 5.0% MELAZA	ADICIÓN 7.5% MELAZA	ADICIÓN 10% MELAZA	ADICIÓN 12.5% MELAZA	MATRIZ NORMALIZADA						PROMEDIO
MUESTRA PATRÓN	1	0.333	0.250	0.200	0.111	0.200	0.037	0.023	0.020	0.023	0.054	0.037	0.194
ADICIÓN 2.5% MELAZA	3	1	0.500	0.333	0.200	0.333	0.111	0.070	0.039	0.038	0.098	0.062	0.418
ADICIÓN 5.0% MELAZA	4	2	1	0.333	0.200	0.333	0.148	0.140	0.078	0.038	0.098	0.062	0.564
ADICIÓN 7.5% MELAZA	5	3	3	1	0.2	0.5	0.185	0.209	0.235	0.113	0.098	0.093	0.934
ADICIÓN 10% MELAZA	9	5	5	5	1	3	0.333	0.349	0.392	0.564	0.489	0.559	2.686
ADICIÓN 12.5% MELAZA	5	3	3	2	0.333	1	0.185	0.209	0.235	0.226	0.163	0.186	1.205
<b>TOTAL</b>	27	14.333	12.750	8.867	2.044	5.367							

**Tabla 24.***Matriz de comparación de opciones – California Bearing Ratio*

OPCIONES	MUESTRA PATRÓN	ADICIÓN 2.5% MELAZA	ADICIÓN 5.0% MELAZA	ADICIÓN 7.5% MELAZA	ADICIÓN 10% MELAZA	ADICIÓN 12.5% MELAZA	MATRIZ NORMALIZADA						PROMEDIO
MUESTRA PATRÓN	1	0.200	0.250	3	5	5	0.093	0.105	0.053	0.181	0.213	0.179	0.823
ADICIÓN 2.5% MELAZA	5	1	3	7	8	9	0.466	0.523	0.630	0.422	0.340	0.321	2.703
ADICIÓN 5.0% MELAZA	4	0.333	1	5	6	7	0.373	0.174	0.210	0.302	0.255	0.250	1.564
ADICIÓN 7.5% MELAZA	0.333	0.143	0.200	1	3	4	0.031	0.075	0.042	0.060	0.128	0.143	0.479
ADICIÓN 10% MELAZA	0.200	0.125	0.167	0.333	1	2	0.019	0.065	0.035	0.020	0.043	0.071	0.253
ADICIÓN 12.5% MELAZA	0.200	0.111	0.143	0.250	0.500	1	0.019	0.058	0.030	0.015	0.021	0.036	0.179
<b>TOTAL</b>	10.733	1.912	4.760	16.583	23.500	28.000							

Tras los análisis realizados en cada matriz de comparación de opciones, a continuación, en la Tabla 25, se muestra los valores de los promedios así como la priorización para cada una de las opciones donde aquella opción que tenga la mayor priorización, va a ser la mejor opción y así consecutivamente.

**Tabla 25.***Matriz de calificación final.*

OPCIONES	LÍMITE LÍQUIDO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	DENSIDAD MÁXIMA SECA	CALIFORNIA BEARING RATIO	PRIORIZACIÓN
MUESTRA PATRÓN	0.221	0.186	0.194	0.823	0.25
ADICIÓN 2.5% MELAZA	2.067	2.780	0.418	2.703	2.47
ADICIÓN 5.0% MELAZA	1.755	1.533	0.564	1.564	1.54
ADICIÓN 7.5% MELAZA	0.980	0.845	0.934	0.479	0.85
ADICIÓN 10% MELAZA	0.557	0.403	2.686	0.253	0.55
ADICIÓN 12.5% MELAZA	0.420	0.253	1.205	0.179	0.34
<b>PONDERACIÓN</b>	0.246	0.607	0.054	0.092	

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- a. Los agregados provenientes de la Cantera “Cerro Negro” cumplieron con la mayor parte de requisitos establecidos por las normas nacionales y regionales respecto a las propiedades mecánicas; a excepción del índice de plasticidad que debe encontrarse entre 4 a 9, y este caso no presenta plasticidad. Adicionalmente, el material presenta un CBR de 92.9% al 100% MDS y 86.9% al 95% MDS.
- b. La melaza proveniente del Ingenio Azucarero del Norte Compañía de Economía Mixta (IANCEM), tiene una densidad de  $1.32 \text{ g/cm}^3$ , lo cual corresponde a un peso específico de  $13.337 \text{ kN/cm}^3$ . Por otro lado, su contenido de humedad es 26%.
- c. Tras elaborar muestras con diferentes porcentajes de adición de melaza de caña, se determinó que la máxima densidad seca del material patrón es de  $2.167 \text{ g/cm}^3$  y que además este valor incrementa conforme aumenta el contenido de melaza, alcanzando densidades de hasta  $2.276 \text{ g/cm}^3$  con un 10% de adición de melaza.
- d. En cuanto a los valores de capacidad de soporte se determinó que el porcentaje óptimo de adición de melaza de caña es 2.5%, pues el CBR llega a duplicarse, alcanzando valores de 207.42% al 100% de MDS si lo comparamos con la muestra patrón (0% de adición de melaza). Si bien, se obtuvieron valores de CBR superiores al 100%, lo cual se puede explicar debido a que la piedra es un material que tiene una alta resistencia, y al combinarse con finos plásticos tienen un aglutinante que aumenta la resistencia cuando la humedad baja. Por lo anteriormente descrito podemos afirmar que la melaza al combinarse con el agregado fino actúa como cementante, aportando significativamente en la resistencia.
- e. Se pudo determinar las cantidades por metro cúbico de material de afirmado, pues para una adición de 2.5% de melaza de caña se necesita emplear 49.5 litros de melaza, mientras que, para 5.0% de adición de melaza de caña se necesitan 99.1 litros de este estabilizante.
- f. Si se reemplaza completamente el agua por melaza resulta contraproducente, pues las muestras con adición del 12.5% de melaza obtuvieron valores bajos de capacidad de soporte, dando como resultado un CBR de 22.99% al 95% MDS y 48.88% al 100% MDS.
- g. El aporte primordial que brinda la melaza de caña a esta capa de rodadura granular es un incremento en la plasticidad, pues con la incorporación del 2.5% de contenido de melaza su índice de plasticidad aumentó hasta un 3.4%; siendo este el contenido óptimo para lograr aglutinar los agregados finos y gruesos, evitando así su disgregación y prolongando su vida útil. Esta solución de bajo costo ayuda a que este material sirva como capa de rodadura tanto en verano como en invierno.
- h. De manera cuantitativa, mediante el análisis AHP se pudo corroborar que la mejor opción es la muestra patrón con adición del 2.5% de melaza de caña seguida con la mezcla de 5% de adición. Pues al medirla de una manera más objetiva, se tomaron en cuenta los criterios más importantes basados en los requisitos de las normas para superficies de rodadura granulares.

## **5.2. Recomendaciones**

- a. Se sugiere realizar una investigación similar a la expuesta en este documento, pero con intervalos más pequeños de adición de miel de caña, es decir buscar un porcentaje óptimo, en peso, de adición de miel de caña entre 0% y 5%.
- b. Realizar una investigación acerca del comportamiento de los suelos arcillosos o limosos con la adición de melaza de caña a manera de estabilizante.
- c. Investigar acerca de las reducciones de emisiones de polvo en los afirmados con la incorporación de miel de caña como estabilizante.
- d. Investigar la influencia de la miel de caña en los límites de consistencia, pero tomando en cuenta diferentes períodos de curado.
- e. Evaluar la durabilidad de un afirmado con adición de miel de caña versus un lastrado convencional.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ariza, B., & González, M. (1997). *Producción de proteína unicelular a partir de levaduras y melaza de caña de azúcar como sustrato*. [Pontificia Universidad Javeriana]. Facultad de Ciencias Básicas. Bogotá.
- Becerra, Y. (2019). *Adición de miel de caña sobre el CBR del afirmado de la cantera el Gavilán, Cajamarca 2017* [Universidad Privada del Norte]. <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/abr/perdomo.pdf>
- CEPAL. (2018). Transporte de carretera en América Latina: evolución de la infraestructura y de sus impactos entre 2007 y 2015. *Comisión Económica Para América Latina y El Caribe*, 7(367). <https://doi.org/10.1787/g2g55573-en>
- Das, B. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (S. Cervantes (ed.); 4th ed.). Cengage Learning.
- Esperanza, E., & Constanza, S. (2007). *Evaluación de melaza de caña como sustrato para la producción de Saccharomyces cerevisiae* [Pontificia Universidad Javeriana]. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8279/tesis26.pdf>
- Fajardo, E., & Sarmiento, S. (2007). *Evaluación de melaza de caña como sustrato para la producción de Saccharomyces cerevisiae* [Pontificia Universidad Javeriana]. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8279/tesis26.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Garzón, S., & Hernández, C. (2009). Estudio comparativo para la producción de etanol entre *Saccharomyces cerevisiae* silvestre, *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 9763 Y *Candida utilis* ATCC 9950. [Universidad Tecnológica de Pereira]. In *Universidad Tecnológica de Pereira*. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/49a2ba1e-b33a-4caf-86f5-6a946d25d855/content>
- INVÍAS. (2013). Capítulo 3 - Afirmados, subbases y bases. *Normas y Especificaciones INVÍAS, I*, 900–906.
- Juarez, E., & Rico, A. (2005). *Mecánica de Suelos* (1st ed.). Limusa S.A.
- MOP-001-F. (2002). *Especificaciones generales especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes de caminos y puentes* (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (ed.)). [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR\\_Chimborazo\\_Cumanda\\_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf)
- MOP-DGOP-Dirección de Vialidad. (2018). *Manual de carreteras - Especificaciones técnicas generales de construcción* (Vol. 5). [https://portal.ondac.com/601/articles-59864\\_doc\\_pdf.pdf](https://portal.ondac.com/601/articles-59864_doc_pdf.pdf)
- MTC. (2008). *Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito* (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles (ed.); 1st ed., Vol. 1). Ministerio de Transportes y Comunicaciones. <http://www.sutran.gob.pe/wp-content/uploads/2015/08/manualdedisenodecarreterasnopavimentadasdebajovolumende-transito.pdf>
- MTOP. (2003). Normas de Diseño Geométrico de Carreteras. *MTOP*, 2, 475. [https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/manual-dedisec3b1o-de-carretera\\_2003-ecuador.pdf](https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/manual-dedisec3b1o-de-carretera_2003-ecuador.pdf)
- MTOP. (2014). Asistencia Técnica al Programa de Infraestructura y Conservación Vial (EC-

- L1065). *Banco Interamericano de Desarrollo*. [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/01/LOTAIP\\_1\\_101963-APOYO-PROGRAMA-INFRAESTRUCTURA-VIAL.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/01/LOTAIP_1_101963-APOYO-PROGRAMA-INFRAESTRUCTURA-VIAL.pdf)
- MTOP. (2020, May). *Estado de las vías de transporte – Ministerio de Transporte y Obras Públicas*. <https://www.obraspublicas.gob.ec/mapa-estado-de-carreteras-ecuador/>
- NEVI-12. (2013). *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes* (MTOP (ed.); Vol. 3). Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013\\_Manual\\_NEVI-12\\_VOLUMEN\\_3.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_3.pdf)
- Reglamento ley sistema infraestructura vial del transporte terrestre*, (2018) (testimony of Johana Pesantez). [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/09/LOTAIP\\_8\\_REGLAMENTO-LEY-ORGANICA-SISTEMA-INFRAESTRUCTURA-VIAL-DEL-TRANSPORTE.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/09/LOTAIP_8_REGLAMENTO-LEY-ORGANICA-SISTEMA-INFRAESTRUCTURA-VIAL-DEL-TRANSPORTE.pdf)
- Quispe, M. (2021). *Estabilización de subrasantes blandas con adición de melaza de caña, carretera Quebrada - Versailles, Cusco 2021*. Universidad César Vallejo.
- Sánchez, F. (2002). *Interpretation of CBR-test results under the shear-strength concept of unsaturated soil mechanics*. 7.
- Tacilla, R. (2021). *Estudio del supresor de polvo melaza para la mitigación de material particulado en la Trocha Bella Unión Cajamarca, 2020* [Universidad Privada del Norte]. [https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/27129/Tesis\\_Rubén\\_Tacilla\\_Alaya.pdf?sequence=6&isAllowed=y](https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/27129/Tesis_Rubén_Tacilla_Alaya.pdf?sequence=6&isAllowed=y)
- Thenoux, G. (2021). *Caminos de Bajo Volumen de Tránsito (CBVT)*. Banco de Desarrollo de América Latina.
- Toro, G. (2007). *Estabilización electroquímica de suelos para caminos agrícolas en la comunidad el chaquito (provincia Oroya, departamento de Chuquisaca)* [Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca]. [https://handbook.usfx.bo/nueva/Cepi/466\\_Tesis](https://handbook.usfx.bo/nueva/Cepi/466_Tesis) Editadas CEPI/255\_Maestria/5\_PROYECTOS DE INVESTIGACION/Estabilizacion electroquimica.pdf
- Tucay, E., Mamuye, Y., & Geremew, A. (2018, July). *Combined Effects of Molasses-Lime Treatment on Poor Quality Natural Gravel Materials Used for Sub-Base and Base Course Construction*. [https://www.researchgate.net/publication/326983389\\_Combined\\_Effects\\_of\\_Molasses-Lime\\_Treatment\\_on\\_Poor\\_Quality\\_Natural\\_Gravel\\_Materials\\_Used\\_for\\_Sub-Base\\_and\\_Base\\_Course\\_Construction](https://www.researchgate.net/publication/326983389_Combined_Effects_of_Molasses-Lime_Treatment_on_Poor_Quality_Natural_Gravel_Materials_Used_for_Sub-Base_and_Base_Course_Construction)
- 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*. Universidad César Vallejo.
- Ulate, A., & Vargas, C. (2018). Control de polvo en caminos no pavimentados. *PITRA-LanammeUCR*, 9(6). [https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/1049/Boletín\\_06-2018\\_Control\\_de\\_polvo\\_en\\_caminos\\_no\\_pavimentados.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/1049/Boletín_06-2018_Control_de_polvo_en_caminos_no_pavimentados.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

## **ANEXOS**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL**

Riobamba, 08 de julio de 2022

## **CERTIFICADO**

A petición verbal del Sr. Allauca Avilés Lenin Stiven con C.I. 060411869-5, egresado de la Carrera de Ingeniería Civil, debo certificar que el Sr. Allauca, durante los meses de marzo, abril, mayo y junio del año en curso, realizó los ensayos que se detallan a continuación:

- Densidad y Contenido de humedad de melaza de caña
- Granulometría de agregados finos y gruesos
- Densidad de agregado fino y grueso
- Desgaste en la máquina de los ángeles
- Límites de Atterberg de muestra patrón
- Límites de Atterberg en muestras con melaza de caña
  
- Contenido de deletéreos
- Resistencia a los sulfatos
- Próctor modificado en muestra patrón
- Próctor modificado en muestras con adición de melaza de caña
- CBR en muestra patrón
- CBR en muestras con adición de melaza de caña

Los ensayos antes mencionados fueron ejecutados en los Laboratorios de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo, como parte del Proyecto de Investigación: “DISEÑO DE CAPAS DE RODADURA BÁSICAS



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL**

GRANULARES CON ADICIÓN DE MELAZA DE CAÑA, PARA VÍAS DE TERCER ORDEN Y VECINALES”.

Es todo lo que puedo informar, pudiendo el interesado hacer uso del presente certificado como creyeran conveniente.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:

**MARIA  
CRISTINA**

Ing. María Cristina Polo Funes. M.Sc.  
**TÉCNICA DE LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL**  
**UNACH**

Campus Universitario **Ms.C. Edison Riera R.**  
Av. Antonio José de Sucre Km. 1 ½ vía a Guano  
Teléfono: (593)33730880 Ext: 1428

**RIOBAMBA – CHIMBORAZO - ECUADOR**

*Tecnología, Humanismo y Calidad*

**Anexo 1.** Certificado de laboratorio de ingeniería civil - Allauca Lenin.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL**

Riobamba, 08 de julio de 2022

## **CERTIFICADO**

A petición verbal de la Srta. Cherrez Pasmay Karen Gisell con C.I. 060396530-2, egresada de la Carrera de Ingeniería Civil, debo certificar que la Srta. Cherrez, durante los meses de marzo, abril, mayo y junio del año en curso, realizó los ensayos que se detallan a continuación:

- Densidad y Contenido de humedad de melaza de caña
- Granulometría de agregados finos y gruesos
- Densidad de agregado fino y grueso
- Desgaste en la máquina de los ángeles
- Límites de Atterberg de muestra patrón
- Límites de Atterberg en muestras con melaza de caña
  
- Contenido de deletéreos
- Resistencia a los sulfatos
- Próctor modificado en muestra patrón
- Próctor modificado en muestras con adición de melaza de caña
- CBR en muestra patrón
- CBR en muestras con adición de melaza de caña

Los ensayos antes mencionados fueron ejecutados en los Laboratorios de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo, como parte del Proyecto de Investigación: “DISEÑO DE CAPAS DE RODADURA BÁSICAS



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL**

GRANULARES CON ADICIÓN DE MELAZA DE CAÑA, PARA VÍAS DE TERCER ORDEN Y VECINALES”.

Es todo lo que puedo informar, pudiendo el interesado hacer uso del presente certificado como creyeran conveniente.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:  
**MARIA  
CRISTINA**

Ing. María Cristina Polo Funes. M.Sc.  
**TÉCNICA DE LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL**  
**UNACH**

Campus Universitario **Ms.C. Edison Riera R.**  
Av. Antonio José de Sucre Km. 1 ½ vía a Guano  
Teléfono: (593)33730880 Ext: 1428

**RIOBAMBA – CHIMBORAZO - ECUADOR**

*Tecnología. Humanismo y Calidad*

**Anexo 2.** Certificado de laboratorio de ingeniería civil – Cherrez Karen



**DENSIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD MELAZA DE CAÑA**

**Proyecto:** Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

**Fecha de ensayo:** 14/03/2022

**Fecha de Informe:** 18/03/2022

**Ensayado por:** • Lenin Stiven Allauca Avilés  
• Karen Gisell Cherez Pasmay

**Revisado por:** Ing. Vladimir Pazmiño C.

**Procedencia:** Ingenio Azucarero IACEM, Ibarra

**Densidad y peso específico de melaza de caña**

Peso probeta **112.5** g

Ensayos	Volumen [ml = cm <sup>3</sup> ]	Probeta + melaza [g]	Peso melaza [g]	Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]
1	15	131.70	19.20	1.28
2	21	142.20	29.70	1.41
3	30	153.00	40.50	1.35
4	35	159.60	47.10	1.35
5	45	173.60	61.10	1.36
6	50	179.90	67.40	1.35
7	55	187.50	75.00	1.36
8	60	194.20	81.70	1.36
9	70	208.90	96.40	1.38
Promedio Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]		1.36		
Peso específico [kN/m <sup>3</sup> ]		13.337		

**Contenido de humedad de melaza de caña**

N° Ensayo	1	2	3
W tara [g]	18.3	17.4	16.1
W tara+muestra húmeda [g]	29.4	32.5	32.3
W tara+muestra seca [g]	26.5	28.6	28.1
W muestra húmeda [g]	11.1	15.1	16.2
W agua	2.9	3.9	4.2
W muestra seca [g]	8.2	11.2	12
Humedad [%]	26.13%	25.83%	25.93%
Promedio Humedad	25.96%		

**Reporte de resultados:**

Densidad melaza de caña: 1.36 g/cm<sup>3</sup>

Peso específico de melaza de caña: 13.337 kN/m<sup>3</sup>

Contenido de humedad de melaza de caña: 25.96%

**Lenin Stiven Allauca Avilés**  
Estudiante

**Karen Gisell Cherez Pasmay**  
Estudiante

**Ing. Vladimir Pazmiño Chiliza**  
Tutor de trabajo de investigación



**CARACTERIZACIÓN AGREGADO FINO**

Normas: NTE INEN 696 y 856

Página: 1 de 1

**Proyecto:** Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

**Fecha de ensayo:** 30/03/2022

**Fecha de Informe:** 08/04/2022

**Ensayado por:** • Lenin Stiven Allauca Avilés  
• Karen Gisell Chérrez Pasmay  
**Revisado por:** Ing. Vladimir Pazmiño C.  
**Yacimiento:** Cantera "Cerro Negro"

**Análisis granulométrico**

NTE INEN 696

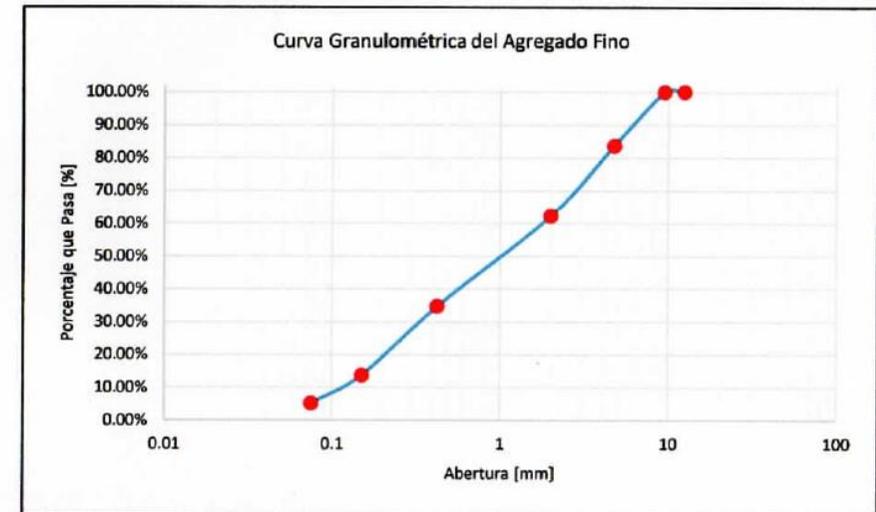
Tamiz N°	Abertura [mm]	Peso retenido [Kg]	Retenido parcial [%]	Retenido acumulado [%]	Pasa [%]
3/8"	9.5	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
N° 4	4.75	0.653	16.33%	16.33%	83.67%
N° 10	2	0.857	21.43%	37.76%	62.24%
N° 40	0.425	1.099	27.48%	65.24%	34.76%
N° 100	0.15	0.844	21.11%	86.35%	13.65%
N° 200	0.075	0.338	5.20%	100.00%	5.20%
	Bandeja	0.208	5.20%	100.00%	0.00%
	Total	3.999			

D10	0.118
D30	0.363
D60	1.872

Coefficiente de uniformidad	Cu	15.917
-----------------------------	----	--------

Coefficiente de curvatura	Cc	0.599
---------------------------	----	-------

CLASIFICACIÓN	SUCS	SM	Arenas limosas, mezclas arena - limo
	AASHTO	A-1-b	Piedras, gravas y arena



**Densidad de agregado fino**

NTE INEN 856

Símbolo	Descripción	Ensayo 1	Ensayo 2
A	Masa muestra seca al horno [g]	478	479
B	Masa picnómetro + agua [g]	1237	1237
C	Masa picnómetro + muestra + agua [g]	1541.4	1543.7
S	Masa muestra SSS [g]	500	500
	Densidad SH [g/cm <sup>3</sup> ]	2.44	2.47
	Densidad SSS [g/cm <sup>3</sup> ]	2.55	2.58
	Densidad aparente [g/cm <sup>3</sup> ]	2.75	2.77
	Promedio Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]	2.76	

**Reporte de resultados:**

Clasificación: arena limosa  
Clasificación SUCS: SM  
Clasificación AASHTO: A-1-b  
Densidad aparente: 2.76 g/cm<sup>3</sup>

Lenin Stiven Allauca Avilés  
Estudiante

Karen Gisell Chérrez Pasmay  
Estudiante

Ing. Vladimir Pazmiño Chiluza  
Tutor de trabajo de investigación



**CARACTERIZACIÓN AGREGADO GRUESO**

Normas: NTE INEN 696, 857 y 860

Página: 1 de 1

**Proyecto:** Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

**Fecha de ensayo:** 11/04/2022

**Fecha de Informe:** 21/04/2022

**Ensayado por:** • Lenin Stiven Allauca Avilés  
 • Karen Gisell Cherez Pasmay  
**Revisado por:** Ing. Vladimir Pazmiño C.  
**Yacimiento:** Cantera "Cerro Negro"

**Análisis granulométrico**

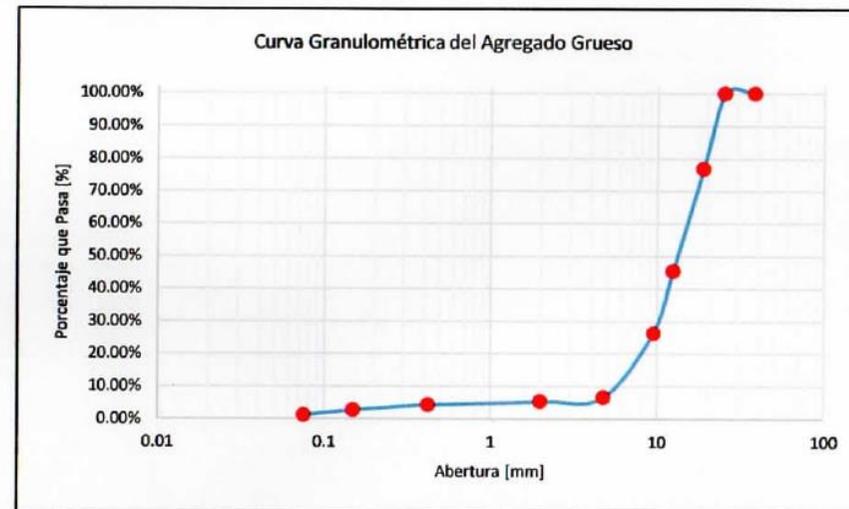
NTE INEN 696

Tamiz N°	Abertura [mm]	Peso retenido [Kg]	Retenido parcial [%]	Retenido acumulado [%]	Pasa [%]
1"	25.4	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19	0.784	23.18%	23.18%	76.82%
1/2"	12.5	1.066	31.52%	54.70%	45.30%
3/8"	9.5	0.645	19.07%	73.77%	26.23%
N° 4	4.75	0.667	19.72%	93.49%	6.51%
N° 10	2	0.041	1.21%	94.71%	5.29%
N° 40	0.425	0.036	1.06%	95.77%	4.23%
N° 100	0.15	0.053	1.57%	97.34%	2.66%
N° 200	0.075	0.054	1.60%	98.94%	1.06%
Bandeja		0.036	1.06%	100.00%	0.00%
Total		3.382			

D10	5.592
D30	10.093
D60	15.532

Coefficiente de uniformidad	Cu	2.778
Coefficiente de curvatura	Cc	1.173

CLASIFICACIÓN	SUCS	GP	Gravas pobremente gradadas
	AASHTO	A-1-a	Fragmentos de grava



**Densidad de agregado fino**

NTE INEN 857

Símbolo	Descripción	Ensayo 1	Ensayo 2
A	Masa muestra seca al horno [g]	4078	4060
B	Masa de muestra en estado SSS	4100	4095
C	Masa aparente de muestra saturada	2507	2511
	Densidad SH [g/cm3]	2.55	2.56
	Densidad SSS [g/cm3]	2.57	2.58
	Densidad aparente [g/cm3]	2.59	2.61
	Promedio Densidad [g/cm3]	2.60	

**Desgaste en máquina de los Ángeles**

NTE INEN 860

Tamaño máximo nominal del árido: 1" (25.4mm)  
 Gradación utilizada: B

Símbolo	Descripción	U	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
B	Masa inicial de la muestra del ensayo	Kg	5.002	5.003	5.002
C	Masa de la muestra retenida en el tamiz de 1.7 mm, después del ensayo	Kg	3.68	3.671	3.679
D	Valor de la degradación	%	26.43%	26.62%	26.45%
	PROMEDIO	%	26.50%		

**Reporte de resultados:**

Tipo: gravas  
 Clasificación SUCS: GP  
 Clasificación AASHTO: A-1-a  
 Densidad aparente: 2.60 g/cm3  
 Abrasión: 26.5%

\_\_\_\_\_  
 Lenin Stiven Allauca Avilés  
 Estudiante

\_\_\_\_\_  
 Karen Gisell Cherez Pasmay  
 Estudiante

\_\_\_\_\_  
 Ing. Vladimir Pazmiño Chiluiza  
 Tutor de trabajo de investigación



DOSIFICACIÓN MUESTRA PATRÓN

Norma: NTE INEN 696

Página: 1 de 1

**Proyecto:** Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

**Fecha de ensayo:** 25/04/2022

**Fecha de Informe:** 28/04/2022

**Ensayado por:** • Lenin Stiven Allauca Avilés  
• Karen Gisell Cherrez Pasmay  
**Revisado por:** Ing. Vladimir Pazmiño C.  
**Yacimiento:** Cantera "Cerro Negro"

**Dosificación mezcla afirmado:** 60% Fino  
40% Grueso

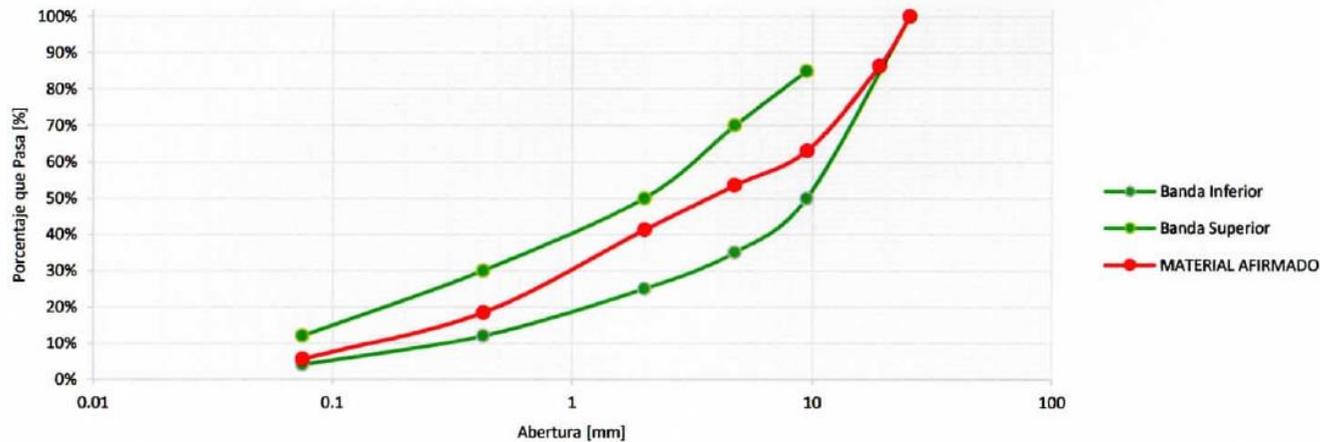
**Bandas granulométricas:** Banda Granulométrica ecuatoriana B  
Banda Granulométrica Chilena TM - 40b

**Análisis granulométrico mezcla afirmado (40% G - 60% F)**

NTE INEN 696

Tamiz N°	Abertura [mm]	Peso retenido [Kg]	Retenido parcial [%]	Retenido acumulado [%]	Pasa [%]	Banda Granulométrica Ecuatoriana Tipo: B	
						Límite Inferior	Límite Superior
1 1/2"	38.1	0.000	0.00%	0.00%	100.00%		
1"	25.4	0.000	0.00%	0.00%	100.00%	100%	
3/4"	19	0.706	13.60%	13.60%	86.40%		
3/8"	9.5	1.212	23.34%	36.93%	63.07%	50%	85%
N° 4	4.75	0.495	9.53%	46.47%	53.53%	35%	70%
N° 10	2	0.640	12.32%	58.79%	41.21%	25%	50%
N° 40	0.425	1.183	22.78%	81.57%	18.43%	12%	30%
N° 200	0.075	0.666	12.82%	94.40%	5.60%	4%	12%
Bandeja		0.291	5.60%	100.00%	0.00%		
Total		5.193					

Ajuste banda granulométrica según normativa ecuatoriana - Dosificación 60% Finos y 40% Gruesos



**Reporte de resultados:**

La dosificación recomendada para material afirmado es: 60% de agregado fino y 40% de agregado grueso de la Cantera "Cerro Negro"

Lenin Stiven Allauca Avilés  
Estudiante

Karen Gisell Cherrez Pasmay  
Estudiante

Ing. Vladimir Pazmiño Chiluza  
Tutor de trabajo de investigación



LÍMITES DE ATTERBERG - MATERIAL AFIRMADO

Norma: NTE INEN 691 y 692

Página: 1 de 1

Proyecto: Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

Fecha de ensayo: 27/04/2022

Fecha de informe: 29/04/2022

Ensayado por: • Lenin Stiven Allauca Avilés  
• Karen Gisell Cherrez Pasmay  
Revisado por: Ing. Vladimir Pazmiño C.  
Yacimiento: Cantera "Cerro Negro"

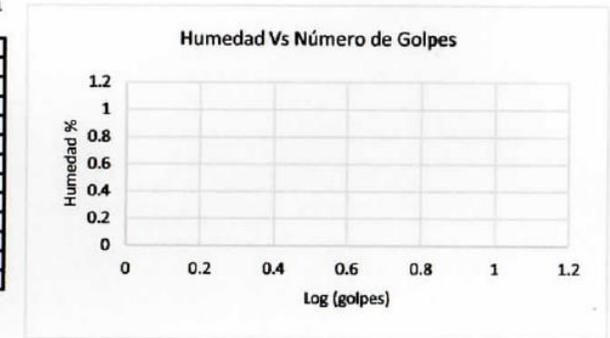
Límite Líquido

NTE INEN 691

Descripción	Unidades	Ensayos			
		1	2	3	4
Peso del recipiente	g				
Peso de la recipiente+suelo húmedo	g				
Peso de la recipiente+suelo seco	g				
Peso suelo seco	g				
Peso del agua	g				
Contenido de agua, %	%				
Número de Golpes	-				
Log (golpes)	-				
Humedad, %	%				
PROMEDIO HUMEDAD	%				

N - LL

GOLPES	LOG (GOLPES)	Humedad, %	Límite Líquido, %
25	1.398	-	N - LL



Límite Plástico

NTE INEN 692

Descripción	Unidades	ENSAYO N°	
		1	2
Peso del recipiente	g		
Peso de la recipiente+suelo húmedo	g		
Peso de la recipiente+suelo seco	g		
Peso suelo seco	g		
Peso del agua	g		
Contenido de agua, %	%		

N - LP

Promedio Humedad, %	Límite Plástico %	Índice de Plasticidad (IP), %
-	-	N - P

N - P

Reporte de resultados:

Límite Líquido: No es  
Límite Plástico: No es  
Índice de Plasticidad: No Plástico

Lenin Stiven Allauca Avilés  
Estudiante

Karen Gisell Cherrez Pasmay  
Estudiante

Ing. Vladimir Pazmiño Chillaiza  
Tutor de trabajo de investigación



**Proyecto:** Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

**Fecha de ensayo:** 03/05/2022

**Fecha de Informe:** 06/05/2022

**Ensayado por:**

- Lenin Stiven Allauca Avilés
- Karen Gisell Cherrez Pasmay

**Revisado por:** Ing. Vladimir Pazmiño C.

**Yacimiento:** Cantera "Cerro Negro"

	Ag. Fino		Ag. Grueso	
	1	2	3	4
Bandeja				
Peso bandeja [Kg]	0.169	0.197	0.246	
Bandeja + suelo [Kg]	0.469	1.197	2.248	
Masa de muestra de ensayo [Kg]	0.300	1.000	2.002	
Masa de partículas retenidas en el tamiz [Kg]	0.296	0.993	1.993	
Porcentaje de terrones de arcilla [%]	1.3%	0.7%	0.4%	

**Reporte de resultados:**

El contenido de arcilla y/o partículas deleznable en el agregado fino es: 1.3%

El contenido de arcilla y/o partículas deleznable en el agregado grueso es: De 0.3% al 0.7%

Lenin Stiven Allauca Avilés  
Estudiante

Karen Gisell Cherrez Pasmay  
Estudiante

Ing. Vladimir Pazmiño Chiluzza  
Tutor de trabajo de investigación



**RESISTENCIA A LOS SULFATOS (SULFATO DE MAGNESIO)**

**Norma: ASTM C88 y NTE INEN 863**

**Página: 1 de 1**

**Proyecto:** Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

**Fecha de ensayo:** 03/05/2022

**Fecha de informe:** 09/05/2022

**Ensayado por:** • Lenin Stiven Allauca Avilés  
 • Karen Gisell Cherez Pasmay

**Revisado por:** Ing. Vladimir Pazmiño C.

**Yacimiento:** Cantera "Cerro Negro"

**Agregado Fino**

Tamices	Gradación de la muestra original [%]	PESO INICIAL			PESO DESPUES DEL ENSAYO			DESGASTE POR SULFATOS Desgaste [%]	Porcentaje ponderado perdida
		Peso recipiente [g]	Recipiente + suelo [g]	Peso del suelo [g]	Peso recipiente [g]	Recipiente + suelo [g]	Peso del suelo [g]		
N°4 - N°8	18.76%	9	110	101	9	100	91	9.90%	1.86%
N°8 - N°16	24.22%	10	111	101	10	99	89	11.88%	2.88%
N°16 - N°30	25.87%	9	110	101	9	97	88	12.87%	3.33%
N°30 - N°50	31.15%	9	110	101	9	95	86	14.85%	4.63%
Total	100.00%			404					12.69%

**Agregado Grueso**

Tamices	Gradación de la muestra original [%]	PESO INICIAL			PESO DESPUES DEL ENSAYO			DESGASTE POR SULFATOS Desgaste [%]	Porcentaje ponderado perdida
		Peso recipiente [g]	Recipiente + suelo [g]	Peso del suelo [g]	Peso recipiente [g]	Recipiente + suelo [g]	Peso del suelo [g]		
1 1/2" - 3/4"	24.04%	13	1518	1505	13	1500	1487	1.20%	0.29%
3/4" - 3/8"	50.59%	13	1013	1000	13	979	966	3.40%	1.72%
3/8" - N°4	25.37%	9	309	300	9	287	278	7.33%	1.86%
	100.00%								3.87%

**Reporte de resultados:**

El árido fino se ha degradado: 12.7%

El árido grueso se ha degradado: 3.87%

\_\_\_\_\_  
**Lenin Stiven Allauca Avilés**  
 Estudiante

\_\_\_\_\_  
**Karen Gisell Cherez Pasmay**  
 Estudiante

\_\_\_\_\_  
**Ing. Vladimir Pazmiño Chiluzza**  
 Tutor de trabajo de investigación



ENSAYO DE COMPACTACIÓN - MUESTRA PATRÓN

Norma: AASHTO T - 180

Página: 1 de 1

Proyecto: Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

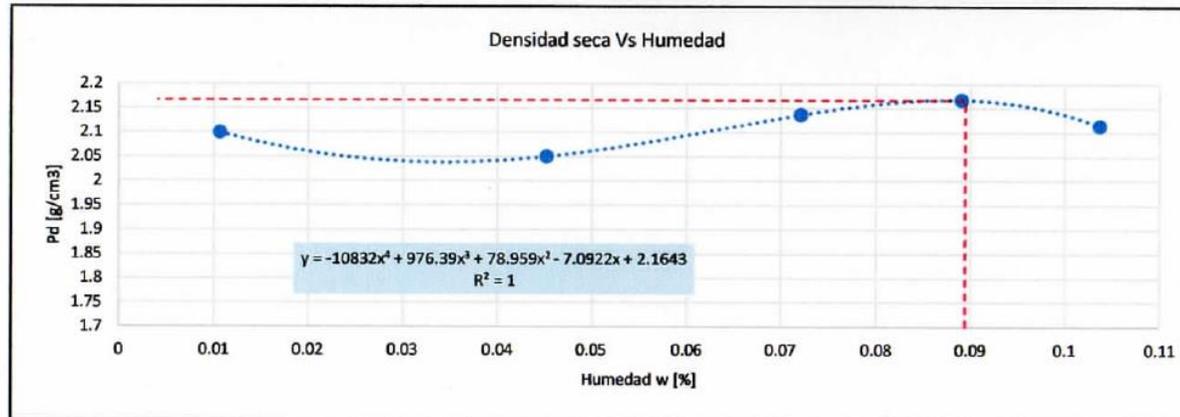
Fecha de ensayo: 09/05/2022

Fecha de Informe: 13/05/2022

Ensayado por: • Lenin Stiven Allauca Avilés  
• Karen Gisell Cherez Pasmay  
Revisado por: Ing. Vladimir Pazmiño C.  
Yacimiento: Cantera "Cerro Negro"

Método de ensayo: AASHTO T - 180 (Método D)  
Golpes por capa: 56  
N° de capas: 5  
Masa del martillo: 4.5 Kg  
Atura de caída: 457 mm  
Radio del molde: 7.62 cm  
Altura del molde: 11.64 cm  
Volumen del molde: 2124.85 cm<sup>3</sup>

N° Ensayo	1		2		3		4		5		6	
Tara N°	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2	6.1	6.2
W tara [g]	14.9	14.3	14.6	14.5	14.7	14.1	14.5	14.2	14.4	18.3	17.4	15.2
W molde+suelo [g]	11083		11129		11444		11591		11533		11315	
W suelo [g]	4505	4505	4551	4551	4866	4866	5013	5013	4955	4955	4737	4737
Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]	2.121	2.121	2.143	2.143	2.291	2.291	2.360	2.360	2.333	2.333	2.230	2.230
W tara+muestra húmeda [g]	59.6	54.8	48.4	47.7	76.5	74	81	90.8	70	69.1	93.4	113.4
W tara+muestra seca [g]	59.1	54.4	46.9	46.3	72	70.3	75.5	84.6	64.8	64.3	83.1	100.3
W agua	0.5	0.4	1.5	1.4	4.5	3.7	5.5	6.2	5.2	4.8	10.3	13.1
W muestra seca [g]	44.2	40.1	32.3	31.8	57.3	56.2	61	70.4	50.4	46	65.7	85.1
Humedad [%]	1.13%	1.00%	4.64%	4.40%	7.85%	6.58%	9.02%	8.81%	10.32%	10.43%	15.68%	15.39%
Densidad seca [g/cm <sup>3</sup> ]	2.097	2.100	2.048	2.052	2.124	2.150	2.165	2.169	2.115	2.113	1.928	1.933
PROMEDIO	Humedad [%] 1.06%		4.52%		7.22%		8.91%		10.38%		15.54%	
	Densidad seca [g/cm <sup>3</sup> ] 2.10		2.05		2.14		2.17		2.11		1.93	



Reporte de resultados:  
Humedad Óptima: 8.78%  
Máxima Densidad Seca: 2.167 g/cm<sup>3</sup>

Lenin Stiven Allauca Avilés  
Estudiante

Karen Gisell Cherez Pasmay  
Estudiante

Ing. Vladimir Pazmiño Chilliza  
Tutor de trabajo de investigación



ENSAYO DE COMPACTACIÓN - 2.5% MELAZA

Norma: AASHTO T - 180

Página: 1 de 1

Proyecto: Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

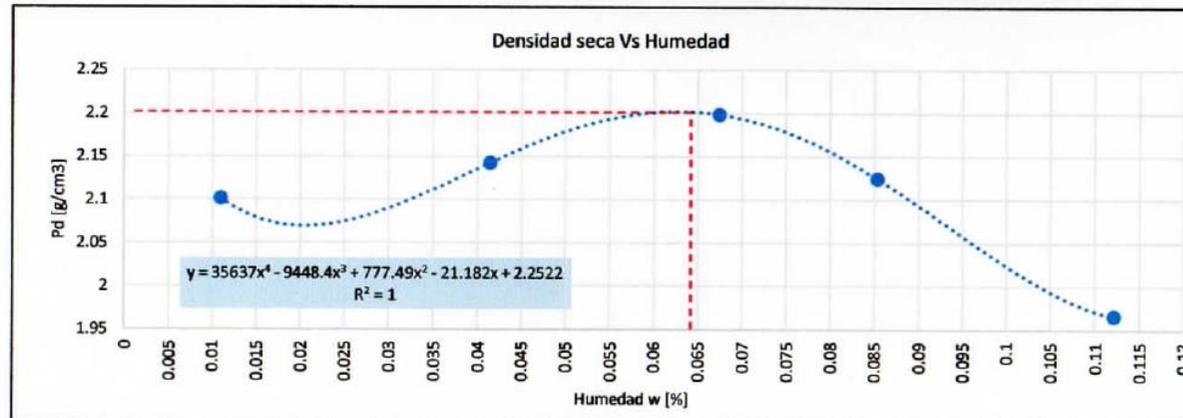
Fecha de ensayo: 09/05/2022

Fecha de Informe: 13/05/2022

Ensayado por: • Lenin Stiven Allauca Avilés  
• Karen Gisell Chérrez Pasmay  
Revisado por: Ing. Vladimir Pazmiño C.  
Yacimiento: Cantera "Cerro Negro"

Método de ensayo: AASHTO T - 180 (Método D)  
Golpes por capa: 56  
N° de capas: 5  
Masa del martillo: 4.5 Kg  
Atura de caída: 457 mm  
Radio del molde: 7.62 cm  
Altura del molde: 11.64 cm  
Volumen del molde: 2124.85 cm<sup>3</sup>

N° Ensayo	1		2		3		4		5	
Tara N°	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
W tara [g]	18.3	18.2	18.1	17.4	18.5	18.4	15	14.4	18.3	18.2
W molde+suelo [g]	11090		11316		11563		11475		11220	
W suelo [g]	4512	4512	4738	4738	4985	4985	4897	4897	4642	4642
Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]	2.124	2.124	2.231	2.231	2.347	2.347	2.306	2.306	2.186	2.186
W tara+muestra húmeda [g]	123	100.5	103	101	100.5	100.9	115.1	102.1	172.5	144.8
W tara+muestra seca [g]	122	99.5	99.7	97.6	95.4	95.6	107	95.4	157.6	131.5
W agua	1	1	3.3	3.4	5.1	5.3	8.1	6.7	14.9	13.3
W muestra seca [g]	103.7	81.3	81.6	80.2	76.9	77.2	92	81	139.3	113.3
Humedad [%]	0.96%	1.23%	4.04%	4.24%	6.63%	6.87%	8.80%	8.27%	10.70%	11.74%
Densidad seca [g/cm <sup>3</sup> ]	2.104	2.099	2.144	2.140	2.201	2.196	2.119	2.130	1.974	1.956
PROMEDIO	Humedad [%] 1.10%		4.14%		6.75%		8.54%		11.22%	
	Densidad seca [g/cm <sup>3</sup> ] 2.10		2.14		2.20		2.12		1.97	



Reporte de resultados:  
Humedad Óptima: 6.27%  
Máxima Densidad Seca: 2.20 g/cm<sup>3</sup>

Lenin Stiven Allauca Avilés  
Estudiante

Karen Gisell Chérrez Pasmay  
Estudiante

Ing. Vladimir Pazmiño Chiluiza  
Tutor de trabajo de investigación



ENSAYO DE COMPACTACIÓN - 5% MELAZA

Norma: AASHTO T - 180

Página: 1 de 1

Proyecto: Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

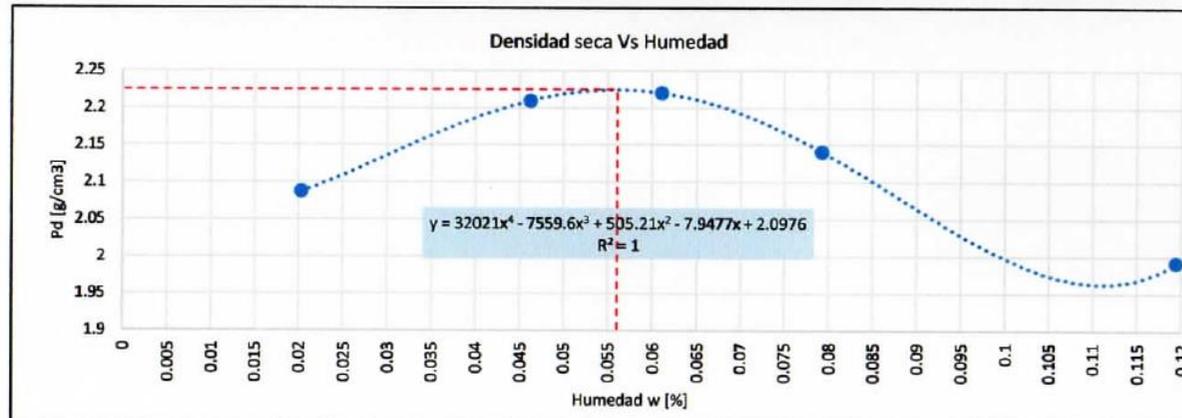
Fecha de ensayo: 10/05/2022

Fecha de Informe: 13/05/2022

Ensayado por: • Lenin Stiven Allauca Avilés  
• Karen Gisell Cherez Pasmay  
Revisado por: Ing. Vladimir Pazmiño C.  
Yacimiento: Cantera "Cerro Negro"

Método de ensayo: AASHTO T - 180 (Método D)  
Golpes por capa: 56  
N° de capas: 5  
Masa del martillo: 4.5 Kg  
Atura de caída: 457 mm  
Radio del molde: 7.62 cm  
Altura del molde: 11.64 cm  
Volumen del molde: 2124.85 cm<sup>3</sup>

N° Ensayo	1		2		3		4		5	
Tara N°	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
W tara [g]	14.9	14.3	18.4	18.4	18.3	17.4	14.6	14.6	18.1	14.4
Wmolde+suelo [g]	11101		11488		11581		11485		11313	
W suelo [g]	4523	4523	4910	4910	5003	5003	4907	4907	4735	4735
Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]	2.130	2.130	2.312	2.312	2.356	2.356	2.310	2.310	2.229	2.229
W tara+muestra humeda [g]	53.7	81.5	68	56.9	67.8	63.7	66.6	51.9	56.6	63.9
W tara+muestra seca [g]	52.9	80.2	65.8	55.2	65.2	60.8	63	49	52.2	59
W agua	0.8	1.3	2.2	1.7	2.6	2.9	3.6	2.9	4.4	4.9
W muestra seca [g]	38	65.9	47.4	36.8	46.9	43.4	48.4	34.4	34.1	44.6
Humedad [%]	2.11%	1.97%	4.64%	4.62%	5.54%	6.68%	7.44%	8.43%	12.90%	10.99%
Densidad seca [g/cm <sup>3</sup> ]	2.086	2.088	2.209	2.210	2.232	2.208	2.150	2.131	1.975	2.009
PROMEDIO	2.04%		4.63%		6.11%		7.93%		11.94%	
Densidad seca [g/cm <sup>3</sup> ]	2.087064989		2.209523672		2.219985963		2.140630688		1.991695031	



Reporte de resultados:  
Humedad Óptima: 5.60%  
Máxima Densidad Seca: 2.22 g/cm<sup>3</sup>

Lenin Stiven Allauca Avilés  
Estudiante

Karen Gisell Cherez Pasmay  
Estudiante

Ing. Vladimir Pazmiño Chiluiza  
Tutor de trabajo de investigación



**ENSAYO DE COMPACTACIÓN - 7.5% MELAZA**

**Norma: AASHTO T - 180**

**Página: 1 de 1**

**Proyecto:** Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

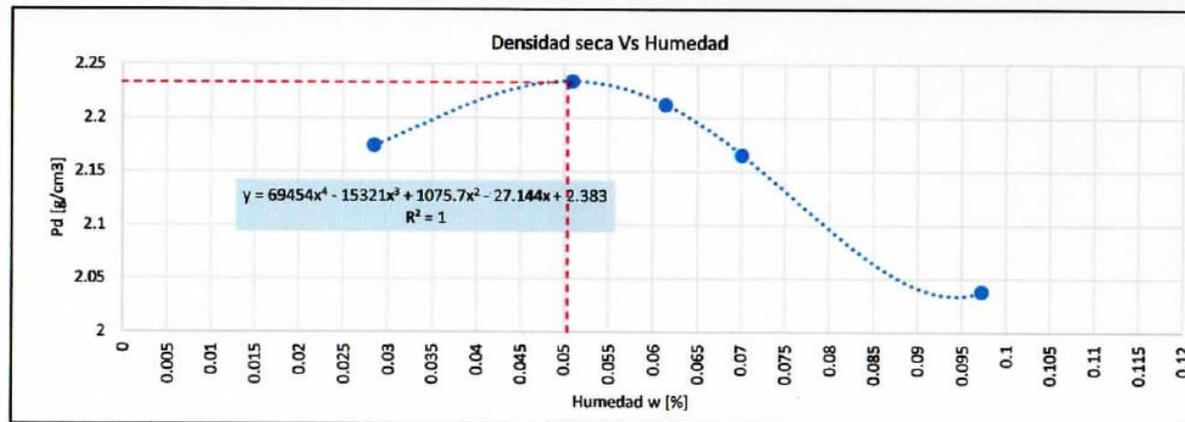
**Fecha de ensayo:** 10/05/2022

**Fecha de Informe:** 13/05/2022

**Ensayado por:** • Lenin Stiven Allauca Avilés  
 • Karen Gisell Cherez Pasmay  
**Revisado por:** Ing. Vladimir Pazmiño C.  
**Yacimiento:** Cantera "Cerro Negro"

**Método de ensayo:** AASHTO T - 180 (Método D)  
**Golpes por capa:** 56  
**N° de capas:** 5  
**Masa del martillo:** 4.5 Kg  
**Atura de caída:** 457 mm  
**Radio del molde:** 7.62 cm  
**Altura del molde:** 11.64 cm  
**Volumen del molde:** 2124.85 cm<sup>3</sup>

N° Ensayo	1		2		3		4		5	
Tara N°	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
W tara [g]	14.6	17.4	18.2	14.9	18.4	18.6	14.4	14.9	14.2	18.3
Wmolde+suelo [g]	11327		11565		11565		11499		11328	
W suelo [g]	4749	4749	4987	4987	4987	4987	4921	4921	4750	4750
Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]	2.236	2.236	2.348	2.348	2.348	2.348	2.317	2.317	2.236	2.236
W tara+muestra húmeda [g]	86.7	82.6	103.5	69.4	111.2	100.1	118.5	112.6	117.7	138.8
W tara+muestra seca [g]	84.7	80.8	99.6	66.6	105.8	95.4	112.2	105.7	108.7	127.9
W agua	2	1.8	3.9	2.8	5.4	4.7	6.3	6.9	9	10.9
W muestra seca [g]	70.1	63.4	81.4	51.7	87.4	76.8	97.8	90.8	94.5	109.6
Humedad [%]	2.85%	2.84%	4.79%	5.42%	6.18%	6.12%	6.44%	7.60%	9.52%	9.95%
Densidad seca [g/cm <sup>3</sup> ]	2.174	2.174	2.241	2.227	2.211	2.213	2.177	2.153	2.042	2.034
<b>PROMEDIO</b>	2.85%		5.10%		6.15%		7.02%		9.73%	
Densidad seca [g/cm <sup>3</sup> ]	2.17		2.23		2.21		2.17		2.04	



**Reporte de resultados:**  
 Humedad Óptima: 5.07%  
 Máxima Densidad Seca: 2.234 g/cm<sup>3</sup>

Lenin Stiven Allauca Avilés  
 Estudiante

Karen Gisell Cherez Pasmay  
 Estudiante

Ing. Vladimir Pazmiño Chiluiza  
 Tutor de trabajo de investigación

**Anexo 13.** Informe de laboratorio – Ensayo de compactación con adición de 7.5% de melaza.



ENSAYO DE COMPACTACIÓN - 10% MELAZA

Norma: AASHTO T - 180

Página: 1 de 1

Proyecto: Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

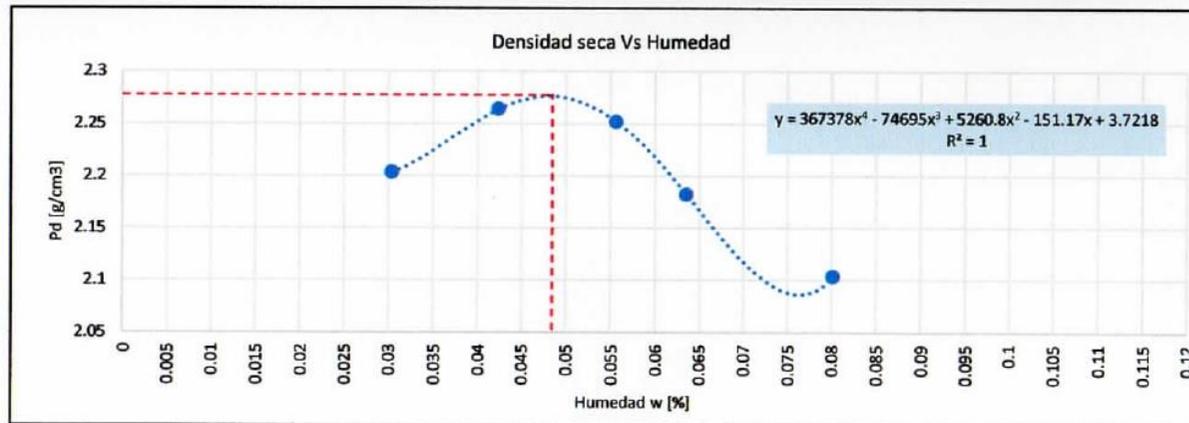
Fecha de ensayo: 11/05/2022

Fecha de Informe: 13/05/2022

Ensayado por: • Lenin Stiven Allauca Avilés  
• Karen Gisell Cherez Pasmay  
Revisado por: Ing. Vladimir Pazmiño C.  
Yacimiento: Cantera "Cerro Negro"

Método de ensayo: AASHTO T - 180 (Método D)  
Golpes por capa: 56  
N° de capas: 5  
Masa del martillo: 4.5 Kg  
Atura de caída: 457 mm  
Radio del molde: 7.62 cm  
Altura del molde: 11.64 cm  
Volumen del molde: 2124.85 cm<sup>3</sup>

N° Ensayo	1		2		3		4		5	
Tara N°	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
W tara [g]	18.2	18.1	18.1	18.3	14.6	14.3	14.7	14.7	14.7	17.2
Wmolde+suelo [g]	11400		11590		11626		11507		11404	
W suelo [g]	4822	4822	5012	5012	5048	5048	4929	4929	4826	4826
Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]	2.270	2.270	2.360	2.360	2.377	2.377	2.321	2.321	2.272	2.272
W tara+muestra húmeda [g]	105	104	101.9	78.8	70	87.8	109.8	119.8	122.7	108.9
W tara+muestra seca [g]	102.2	101.7	98.4	76.4	67.4	83.5	104.4	113.2	114.9	101.9
W agua	2.8	2.3	3.5	2.4	2.6	4.3	5.4	6.6	7.8	7
W muestra seca [g]	84	83.6	80.3	58.1	52.8	69.2	89.7	98.5	100.2	84.7
Humedad [%]	3.33%	2.75%	4.36%	4.13%	4.92%	6.21%	6.02%	6.70%	7.78%	8.26%
Densidad seca [g/cm <sup>3</sup> ]	2.197	2.210	2.261	2.266	2.265	2.238	2.189	2.175	2.108	2.099
PROMEDIO	Humedad [%] 3.04%		4.24%		5.57%		6.36%		8.02%	
	Densidad seca [g/cm <sup>3</sup> ] 2.20		2.26		2.25		2.18		2.10	



Reporte de resultados:  
Humedad Óptima: 4.81%  
Máxima Densidad Seca: 2.276 g/cm<sup>3</sup>

Lenin Stiven Allauca Avilés  
Estudiante

Karen Gisell Cherez Pasmay  
Estudiante

Ing. Vladimir Pazmiño Chiluiza  
Tutor de trabajo de investigación



ENSAYO DE COMPACTACIÓN - REEMPLAZO TOTAL CON MELAZA

Norma: AASHTO T - 180

Página: 1 de 1

Proyecto: Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

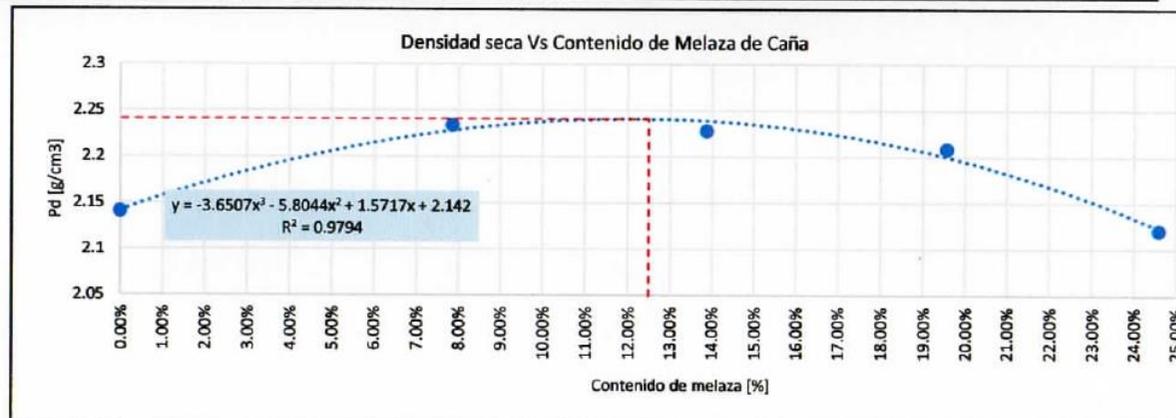
Fecha de ensayo: 11/05/2022

Fecha de informe: 13/05/2022

Ensayado por: • Lenin Stiven Allauca Avilés  
• Karen Gisell Cherez Pasmay  
Revisado por: Ing. Vladimir Pazmiño C.  
Yacimiento: Cantera "Cerro Negro"

Método de ensayo: AASHTO T - 180 (Método D)  
Golpes por capa: 56  
N° de capas: 5  
Masa del martillo: 4.5 Kg  
Atura de caída: 457 mm  
Radio del molde: 7.62 cm  
Altura del molde: 11.64 cm  
Volumen del molde: 2124.85 cm<sup>3</sup>

N° Ensayo	1		2		3		4		5	
Contenido de melaza [%]	0.000%		7.866%		13.883%		19.573%		24.607%	
Tara N°	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
W tara [g]	14.7	14.1	14.2	18.3	14.4	14.3	14.4	18.4	14.8	18.1
Wmolde+suelo [g]	11154		11426		11498		11482		11330	
W suelo [g]	4576	4576	4848	4848	4920	4920	4904	4904	4752	4752
Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]	2.155	2.155	2.283	2.283	2.317	2.317	2.309	2.309	2.237	2.237
W tara+muestra húmeda [g]	60.8	74.4	71.5	84.5	62.9	49.1	85.3	80.3	93.9	108
W tara+muestra seca [g]	60.6	73.9	70	83.4	61	47.8	82.2	77.6	89.5	103.6
W agua	0.2	0.5	1.5	1.1	1.9	1.3	3.1	2.7	4.4	4.4
W muestra seca [g]	45.9	59.8	55.8	65.1	46.6	33.5	67.8	59.2	74.7	85.5
Humedad [%]	0.44%	0.84%	2.69%	1.69%	4.08%	3.88%	4.57%	4.56%	5.89%	5.15%
Densidad seca [g/cm <sup>3</sup> ]	2.145	2.137	2.223	2.245	2.226	2.230	2.208	2.208	2.113	2.128
PROMEDIO	Humedad [%] 0.64%		2.19%		3.98%		4.57%		5.52%	
	Densidad seca [g/cm <sup>3</sup> ] 2.14		2.23		2.23		2.21		2.12	



Reporte de resultados:  
Contenido Óptimo de Melaza de Caña: 12.49%  
Máxima Densidad Seca: 2.239 g/cm<sup>3</sup>

Lenin Stiven Allauca Avilés  
Estudiante

Karen Gisell Cherez Pasmay  
Estudiante

Ing. Vladimir Pazmiño Chiliza  
Tutor de trabajo de investigación



**Proyecto:** Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

**Fecha de ensayo:** 16/05/2022

**Fecha de Informe:** 23/05/2022

**Ensayado por:** • Lenin Stiven Allauca Avilés  
• Karen Gisell Cherrez Pasmay

**Revisado por:** Ing. Vladimir Pazmiño C.

**Yacimiento:** Cantera "Cerro Negro"

**Material:** Afirmado Cantera "Cerro Negro" (40% Ag. Grueso - 60% Ag. Fino)  
**Clasf. (SUCS):** Ag. Fino: SP - SM  
Ag. Grueso: GP  
**Clasf. (AASHTO):** Ag. Fino: A-1-b  
Ag. Grueso: A-1-a  
**Densidad seca máxima:** 2.167 g/cm<sup>3</sup>

ENSAYO DE COMPACTACIÓN												
Molde Nº	1				2				3			
Capas Nº	5				5				5			
Golpes por capa Nº	56				25				12			
Condición de la muestra	NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO	
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12853		12860		12800		12809		12626		12664	
Peso de molde (g)	7948		7948		7964		7964		7957		7957	
Peso del suelo húmedo (g)	4905		4912		4836		4845		4669		4707	
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2134.25		2134.25		2134.25		2134.25		2134.25		2134.25	
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.298		2.302		2.266		2.270		2.188		2.205	
Tara (Nº)	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	3.4
Peso suelo húmedo + tara (g)	95.4	86.9	55.4	57.9	91.5	80.5	75.3	64.8	100.9	85	76.6	74.5
Peso suelo seco + tara (g)	89.3	81.1	52.4	54.5	85.5	75.3	70.3	60.9	94.5	79.2	71.7	69.9
Peso de tara (g)	17.4	14.4	17.2	14.4	18.1	14.3	14.2	14.3	18.2	14.3	14.3	14.6
Peso de agua (g)	6.1	5.8	3	3.4	6	5.2	5	3.9	6.4	5.8	4.9	4.6
Peso de suelo seco (g)	71.9	66.7	35.2	40.1	67.4	61	56.1	46.6	76.3	64.9	57.4	55.3
Contenido de humedad (%)	8.484	8.696	8.523	8.479	8.902	8.525	8.913	8.369	8.388	8.937	8.537	8.318
Cont. Humedad promedio (%)	8.590		8.501		8.713		8.641		8.662		8.427	
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.116		2.121		2.084		2.090		2.013		2.034	

EXPANSIÓN							
Fecha	Hora	Expansión		Expansión		Expansión	
		mm	%	mm	%	mm	%

**SIN EXPANSIÓN**

Lenin Stiven Allauca Avilés  
 Estudiante

Karen Gisell Cherrez Pasmay  
 Estudiante

Ing. Vladimir Pazmiño Chiluiza  
 Tutor de trabajo de Investigación



**ENSAYO DE CBR DE MATERIAL AFIRMADO (MUESTRA PATRÓN)**

Norma: AASHTO T - 193

Página: 2 de 2

Proyecto: Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

Fecha de ensayo: 16/05/2022

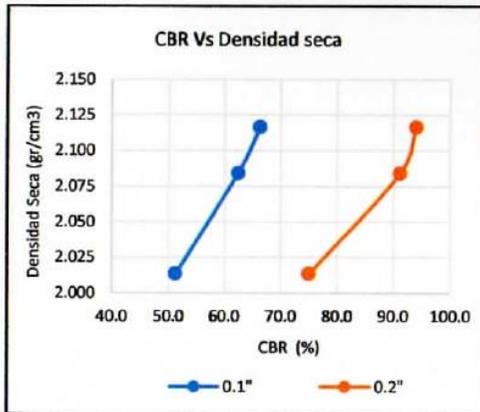
Fecha de Informe: 23/05/2022

Ensayado por: • Lenin Stiven Allauca Avilés  
 • Karen Gisell Cherrez Pasmay  
 Revisado por: Ing. Vladimir Pazmiño C.  
 Yacimiento: Cantera "Cerro Negro"

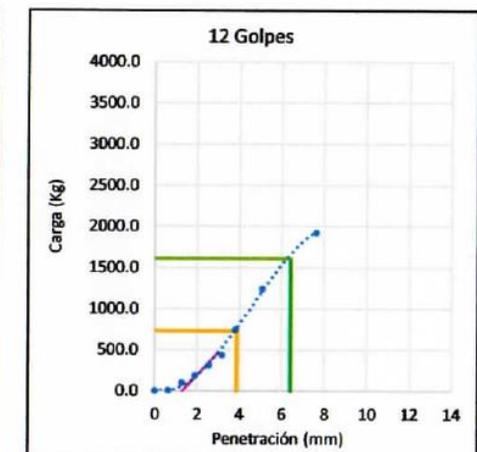
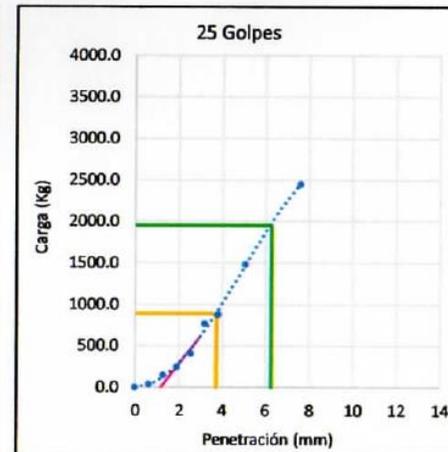
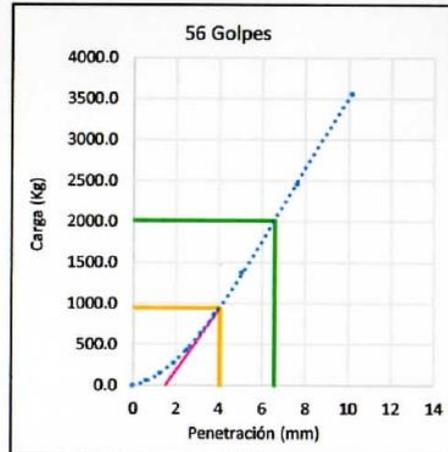
**ENSAYO DE PENETRACION**

Diámetro del pistón (pulg) | 2.00 | Área(pulg<sup>2</sup>) | 3.14

PENETRACION		CARGA ESTÁNDAR lb/pulg <sup>2</sup>	56 GOLPES					25 GOLPES					12 GOLPES				
mm	pulg		CARGA		PRESIÓN	CORRECCION		CARGA		PRESIÓN	CORRECCION		CARGA		PRESIÓN	CORRECCION	
			lb	kg	lb/pulg <sup>2</sup>	kg	%	lb	kg	lb/pulg <sup>2</sup>	kg	%	lb	kg	lb/pulg <sup>2</sup>	kg	%
0	0		0	0.000	0			0	0.000	0			0	0.000	0		
0.635	0.025		133	60.455	42.335			76	34.545	24.192			23	10.455	7.321		
1.27	0.05		327	148.636	104.087			329	149.545	104.724			225	102.273	71.620		
1.905	0.075		597	271.364	190.031			543	246.818	172.842			409	185.909	130.189		
2.54	0.1	1000	965	438.636	307.169	947.948	66.383	899	408.636	286.161	892.557	62.504	690	313.636	219.634	732.762	51.314
3.18	0.125		1415	643.182	450.408			1687	766.818	536.989			966	439.091	307.487		
3.81	0.15		1924	874.545	612.428			1940	881.818	617.521			1653	751.364	526.166		
5.08	0.2	1500	3047	1385.000	969.890	2013.367	93.995	3260	1481.818	1037.690	1952.347	91.146	2740	1245.455	872.169	1609.063	75.12
7.62	0.3		5422	2464.545	1725.876			5395	2452.273	1717.282			4240	1927.273	1349.634		
10.16	0.4		7830	3559.091	2492.366			7070	3213.636	2250.451			5632	2560.000	1792.721		
12.7	0.5		10285	4675.000	3273.817			8567	3894.091	2726.961			6917	3144.091	2201.749		



MDS [g/cm <sup>3</sup> ]	95%	100%
	2.059	2.167
0.1	58.88	70.99
0.2	86.91	92.93



**Reporte de resultados:**

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 92.9 (%)  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 86.9 (%)

\_\_\_\_\_  
**Lenin Stiven Allauca Avilés**  
 Estudiante

\_\_\_\_\_  
**Karen Gisell Cherrez Pasmay**  
 Estudiante

\_\_\_\_\_  
**Ing. Vladimir Pazmiño Chiriza**  
 Tutor de trabajo de investigación



**ENSAYO DE CBR DE AFIRMADO + 2.5% MELAZA**

Norma: AASHTO T - 193

Página: 1 de 2

**Proyecto:** Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

**Fecha de ensayo:** 16/05/2022

**Fecha de Informe:** 23/05/2022

**Ensayado por:** • Lenin Stiven Allauca Avilés  
 • Karen Gisell Cherrez Pasmay  
**Revisado por:** Ing. Vladimir Pazmiño C.  
**Yacimiento:** Cantera "Cerro Negro"

**Material:** Afirmado Cantera "Cerro Negro" (40% Ag. Grueso - 60% Ag. Fino)  
**Clasf. (SUCS):** Ag. Fino: SP - SM  
 Ag. Grueso: GP  
**Clasf. (AASHTO):** Ag. Fino: A-1-b  
 Ag. Grueso: A-1-a  
**Densidad seca máxima:** 2.202 g/cm<sup>3</sup>

ENSAYO DE COMPACTACIÓN												
Molde Nº	1				2				3			
Capas Nº	5				5				5			
Golpes por capa Nº	56				25				12			
Condición de la muestra	NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO	
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12754		12814		12632		12726		12471		12597	
Peso de molde (g)	7964		7964		7978		7978		7957		7957	
Peso del suelo húmedo (g)	4790		4850		4654		4748		4514		4640	
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2134.25		2134.25		2134.25		2134.25		2134.25		2134.25	
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.244		2.272		2.181		2.225		2.115		2.174	
Tara (Nº)	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	3.4
Peso suelo húmedo + tara (g)	98.6	68.6	74.1	64.3	103.4	75.1	73.4	78.3	88.5	94.4	87	71.8
Peso suelo seco + tara (g)	94	65.4	70.5	61.4	98.5	71.4	70.1	74.4	84.2	89.5	82.8	68.4
Peso de tara (g)	18.1	14.5	14.6	14.5	18.3	14.7	17.4	14.5	18.6	14.3	18.1	14.3
Peso de agua (g)	4.6	3.2	3.6	2.9	4.9	3.7	3.3	3.9	4.3	4.9	4.2	3.4
Peso de suelo seco (g)	75.9	50.9	55.9	46.9	80.2	56.7	52.7	59.9	65.6	75.2	64.7	54.1
Contenido de humedad (%)	6.061	6.287	6.440	6.183	6.110	6.526	6.262	6.511	6.555	6.516	6.491	6.285
Cont. Humedad promedio (%)	6.174		6.312		6.318		6.386		6.535		6.388	
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.114		2.138		2.051		2.091		1.985		2.044	

EXPANSION							
Fecha	Hora	Expansión		Expansión		Expansión	
		mm	%	mm	%	mm	%

**SIN EXPANSIÓN**

Lenin Stiven Allauca Avilés  
 Estudiante

Karen Gisell Cherrez Pasmay  
 Estudiante

Ing. Vladimir Pazmiño Chiluiza  
 Tutor de trabajo de investigación



**ENSAYO DE CBR DE AFIRMADO + 2.5% MELAZA**

**Norma: AASHTO T - 193**

**Página: 2 de 2**

**Proyecto:** Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

**Fecha de ensayo:** 16/05/2022

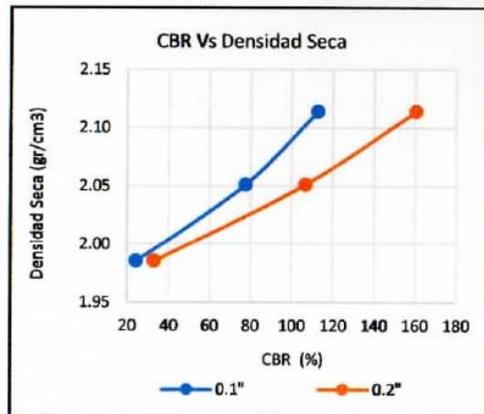
**Fecha de informe:** 23/05/2022

**Ensayado por:** • Lenin Stiven Allauca Avilés  
 • Karen Gisell Cherez Pasmay  
**Revisado por:** Ing. Vladimir Pazmiño C.  
**Yacimiento:** Cantera "Cerro Negro"

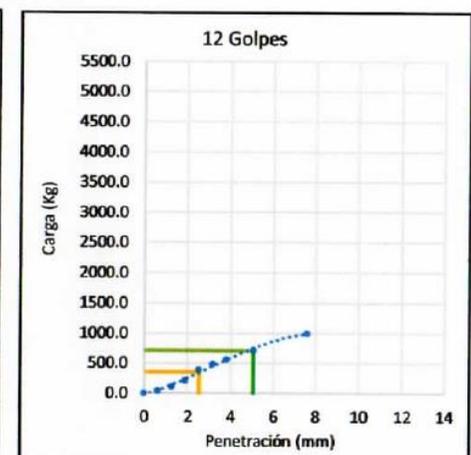
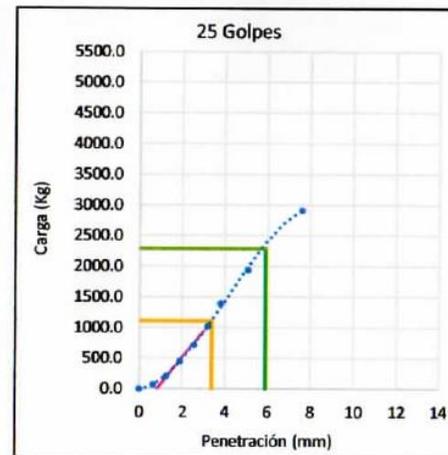
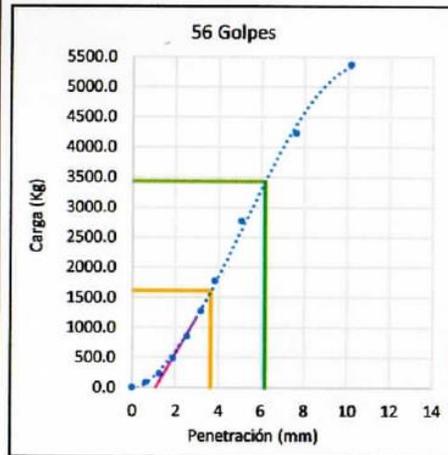
**ENSAYO DE PENETRACIÓN**

Diámetro del pistón (pulg) 2.00    Área(pulg<sup>2</sup>) 3.14

PENETRACION		CARGA ESTÁNDAR	56 GOLPES					25 GOLPES					12 GOLPES				
mm	pulg	lb/pulg <sup>2</sup>	CARGA		PRESIÓN	CORRECCION		CARGA		PRESIÓN	CORRECCION		CARGA		PRESIÓN	CORRECCION	
			lb	kg	lb/pulg <sup>2</sup>	kg	%	lb	kg	lb/pulg <sup>2</sup>	kg	%	lb	kg	lb/pulg <sup>2</sup>	kg	%
0	0		0	0.000	0.000			0	0.000	0.000			0	0.000	0.000		
0.635	0.025		185	84.091	58.887			145	65.909	46.155			89	40.455	28.330		
1.27	0.05		507.0	230.455	161.383			457.0	207.727	145.468			229.0	104.091	72.893		
1.905	0.075		1070.0	486.364	340.592			997.0	453.182	317.355			451.0	205.000	143.558		
2.54	0.1	1000	1889.0	858.636	601.287	1611.4	112.8	1576.0	716.364	501.656	1109.6	77.7	846.0	384.545	269.290	350.5	24.5
3.18	0.125		2810.0	1277.273	894.451			2262.0	1028.182	720.017			1048.0	476.364	333.589		
3.81	0.15		3909.0	1776.818	1244.273			3073.0	1396.818	978.166			1231.0	559.545	391.839		
5.08	0.2	1500	6094.0	2770.000	1939.780	3432.0	160.2	4277.0	1944.091	1361.411	2287.6	106.8	1571.0	714.091	500.065	710.5	33.2
7.62	0.3		9301.0	4227.727	2960.600			6408.0	2912.727	2039.730			2198.0	999.091	699.645		
10.16	0.4		11813.0	5369.545	3760.195			7949.0	3613.182	2530.245			2874.0	1306.364	914.823		
12.7	0.5		14293.0	6496.818	4549.603			9175.0	4170.455	2920.493			3541.0	1609.545	1127.135		



MDS [g/cm <sup>3</sup> ]	95%	100%
0.1	2.092	2.202
0.2	192.30	135.44
0.2	143.43	207.42



**Reporte de resultados:**

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 207.4 (%)  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 143.4 (%)

**Lenin Stiven Allauca Avilés**  
 Estudiante

**Karen Gisell Cherez Pasmay**  
 Estudiante

**Ing. Vladimir Pazmiño Chhuiza**  
 Tutor de trabajo de investigación



**Proyecto:** Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

**Fecha de ensayo:** 16/05/2022

**Fecha de Informe:** 23/05/2022

**Ensayado por:** • Lenin Stiven Allauca Avilés  
• Karen Gisell Cherez Pasmay

**Revisado por:** Ing. Vladimir Pazmiño C.

**Yacimiento:** Cantera "Cerro Negro"

**Material:** Afirmado Cantera "Cerro Negro" (40% Ag. Grueso - 60% Ag. Fino)  
**Clasf. (SUCS):** Ag. Fino: SP - SM  
 Ag. Grueso: GP  
**Clasf. (AASHTO):** Ag. Fino: A-1-b  
 Ag. Grueso: A-1-a  
**Densidad seca máxima:** 2.224 g/cm<sup>3</sup>

ENSAYO DE COMPACTACIÓN												
Molde Nº	1				2				3			
Capas Nº	5				5				5			
Golpes por capa Nº	56				25				12			
Condición de la muestra	NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO	
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12775		12837		12660		12738		12487		12604	
Peso de molde (g)	7962		7962		7955		7955		7960		7960	
Peso del suelo húmedo (g)	4813		4875		4705		4783		4527		4644	
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2134.25		2134.25		2134.25		2134.25		2134.25		2134.25	
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.255		2.284		2.205		2.241		2.121		2.176	
Tara (Nº)	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	4.1	4.2	4.3	4.4
Peso suelo húmedo + tara (g)	102.3	88.1	75.7	69	97.7	89.1	65.9	79.1	113.8	100.1	55	63.5
Peso suelo seco + tara (g)	97.9	84.2	72.4	66	93.4	85.3	63.1	75.7	108.9	95.6	52.9	61.1
Peso de tara (g)	18.2	14.8	14.4	14.2	18.2	14.3	14.1	18.3	17.2	14.3	14.4	18.1
Peso de agua (g)	4.4	3.9	3.3	3	4.3	3.8	2.8	3.4	4.9	4.5	2.1	2.4
Peso de suelo seco (g)	79.7	69.4	58	51.8	75.2	71	49	57.4	91.7	81.3	38.5	43
Contenido de humedad (%)	5.521	5.620	5.690	5.792	5.718	5.352	5.714	5.923	5.344	5.535	5.455	5.581
Cont. Humedad promedio (%)	5.570		5.741		5.535		5.819		5.439		5.518	
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.136		2.160		2.089		2.118		2.012		2.062	

EXPANSIÓN							
Fecha	Hora	Expansión		Expansión		Expansión	
		mm	%	mm	%	mm	%

**SIN EXPANSIÓN**

Lenin Stiven Allauca Avilés  
 Estudiante

Karen Gisell Cherez Pasmay  
 Estudiante

Ing. Vladimir Pazmiño Chilujaz  
 Tutor de trabajo de investigación



**ENSAYO DE CBR DE AFIRMADO + 5% MELAZA**

Norma: AASHTO T - 193

Página: 2 de 2

**Proyecto:** Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

**Fecha de ensayo:** 16/05/2022

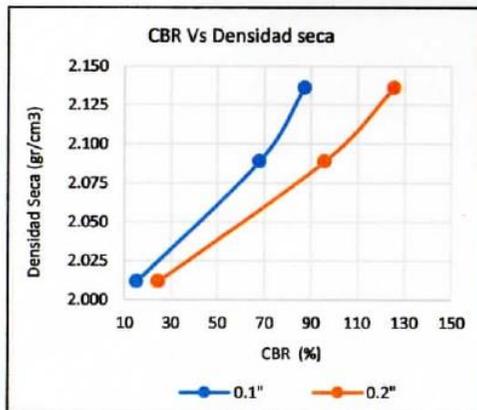
**Fecha de Informe:** 23/05/2022

**Ensayado por:** • Lenin Stiven Allauca Avilés  
 • Karen Gisell Cherrez Pasmay  
**Revisado por:** Ing. Vladimir Pazmiño C.  
**Yacimiento:** Cantera "Cerro Negro"

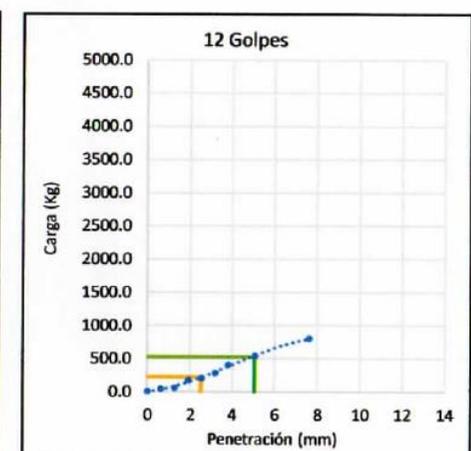
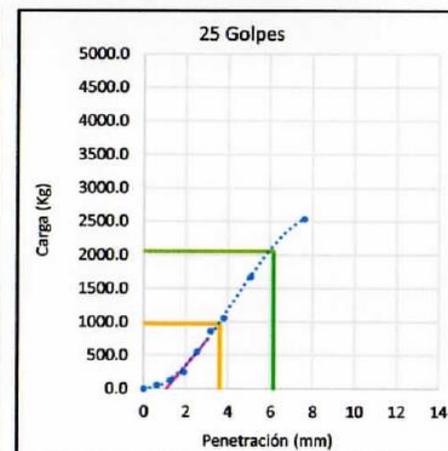
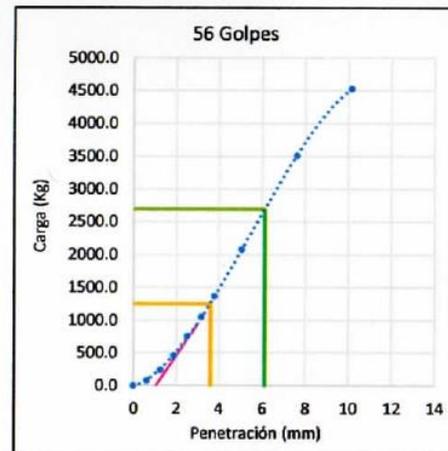
**ENSAYO DE PENETRACION**

Diámetro del pistón (pulg) | 2.00 | Área(pulg<sup>2</sup>) | 3.14

PENETRACION		CARGA ESTÁNDAR	56 GOLPES					25 GOLPES					12 GOLPES				
mm	pulg	lb/pulg <sup>2</sup>	CARGA		PRESIÓN	CORRECCION		CARGA		PRESIÓN	CORRECCION		CARGA		PRESIÓN	CORRECCION	
			lb	kg	lb/pulg <sup>2</sup>	kg	%	lb	kg	lb/pulg <sup>2</sup>	kg	%	lb	kg	lb/pulg <sup>2</sup>	kg	%
0	0		0	0.000	0.000			0.0	0.000	0.000			0.0	0.000	0.000		
0.635	0.025		177.0	80.455	56.341			125.0	56.818	39.789			94.0	42.727	29.921		
1.27	0.05		532.0	241.818	169.341			285.0	129.545	90.718			126.0	57.273	40.107		
1.905	0.075		1001.0	455.000	318.628			556.0	252.727	176.980			378.0	171.818	120.321		
2.54	0.1	1000	1675.0	761.364	533.169	1245.8	87.241	1214.0	551.818	386.428	972.3	68.1	446.0	202.727	141.966	220.1	15.4
3.18	0.125		2308.0	1049.091	734.659			1897.0	862.273	603.834			615.0	279.545	195.761		
3.81	0.15		3015.0	1370.455	959.704			2341.0	1064.091	745.163			878.0	399.091	279.476		
5.08	0.2	1500	4574.0	2079.091	1455.949	2689.8	125.6	3690.0	1677.273	1174.563	2056.6	96.0	1182.0	537.273	376.242	527.2	24.6
7.62	0.3		7732.0	3514.545	2461.172			5588.0	2540.000	1778.716			1750.0	795.455	557.042		
10.16	0.4		9966.0	4530.000	3172.276			7112.0	3232.727	2263.820			2143.0	974.091	682.138		
12.7	0.5		11981.0	5445.909	3813.671			8641.0	3927.727	2750.516			2588.0	1176.364	823.786		



MDS [gr/cm <sup>3</sup> ]	95%	100%
0.1	2.113	2.224
0.2	79.02	96.45
0.2	112.31	152.01



**Reporte de resultados:**

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 152.0 (%)  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 112.3 (%)

Lenin Stiven Allauca Avilés  
 Estudiante

Karen Gisell Cherrez Pasmay  
 Estudiante

Ing. Vladimir Pazmiño Chiuiza  
 Tutor de trabajo de investigación



**ENSAYO DE CBR DE AFIRMADO + 7.5% MELAZA**

Norma: AASHTO T - 193

Página: 1 de 2

**Proyecto:** Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

**Fecha de ensayo:** 23/05/2022

**Fecha de Informe:** 30/05/2022

**Ensayado por:** • Lenin Stiven Allauca Avilés  
 • Karen Gisell Cherrez Pasmay

**Revisado por:** Ing. Vladimir Pazmiño C.

**Yacimiento:** Cantera "Cerro Negro"

**Material:** Afirmado Cantera "Cerro Negro" (40% Ag. Grueso - 60% Ag. Fino)

**Clasf. (SUCS):** Ag. Fino: SP - SM

Ag. Grueso: GP

**Clasf. (AASHTO):** Ag. Fino: A-1-b

Ag. Grueso: A-1-a

**Densidad seca máxima:** 2.167 g/cm<sup>3</sup>

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN**

	1				2				3							
	NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO					
Molde Nº	1				2				3							
Capas Nº	5				5				5							
Golpes por capa Nº	56				25				12							
Condición de la muestra	NO SATURADO				SATURADO				NO SATURADO				SATURADO			
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12765		12812		12670		12737		12509		12602					
Peso de molde (g)	7964		7964		7978		7978		7957		7957					
Peso del suelo húmedo (g)	4801		4848		4692		4759		4552		4645					
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2134.25		2134.25		2134.25		2134.25		2134.25		2134.25					
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.250		2.272		2.198		2.230		2.133		2.176					
Tara (Nº)	P2	P2	P3	P3	I	I	I	I	I cm	I cm	I cm	I cm				
Peso suelo húmedo + tara (g)	91.8	66	41.7	44.3	107.9	91.9	54.3	47.6	109.1	86.6	59.3	55.9				
Peso suelo seco + tara (g)	88.1	63.4	40.6	43	103.5	88.2	52.6	45.9	104.6	83.1	57.3	53.9				
Peso de tara (g)	16.1	14.8	17.4	18.3	18.2	14.2	18.4	14.3	18	14.3	18.1	14.4				
Peso de agua (g)	3.7	2.6	1.1	1.3	4.4	3.7	1.7	1.7	4.5	3.5	2	2				
Peso de suelo seco (g)	72	48.6	23.2	24.7	85.3	74	34.2	31.6	86.6	68.8	39.2	39.5				
Contenido de humedad (%)	5.139	5.350	4.741	5.263	5.158	5.000	4.971	5.380	5.196	5.087	5.102	5.063				
Cont. Humedad promedio (%)	5.244		5.002		5.079		5.175		5.142		5.083					
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.137		2.163		2.092		2.120		2.029		2.071					

**EXPANSIÓN**

Fecha	Hora	Expansión		Expansión		Expansión	
		mm	%	mm	%	mm	%

**SIN EXPANSIÓN**

Lenin Stiven Allauca Avilés  
 Estudiante

Karen Gisell Cherrez Pasmay  
 Estudiante

Ing. Vladimir Pazmiño Chilulza  
 Tutor de trabajo de investigación



**ENSAYO DE CBR DE AFIRMADO + 7.5% MELAZA**

**Norma: AASHTO T - 193**

**Página: 2 de 2**

**Proyecto:** Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

**Fecha de ensayo:** 23/05/2022

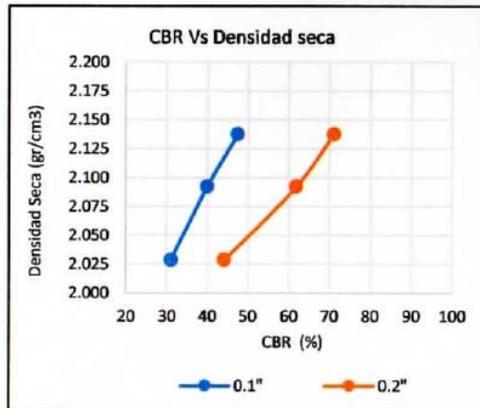
**Fecha de Informe:** 30/05/2022

**Ensayado por:** • Lenin Stiven Allauca Avilés  
 • Karen Gisell Cherrez Pasmay  
**Revisado por:** Ing. Vladimir Pazmiño C.  
**Yacimiento:** Cantera "Cerro Negro"

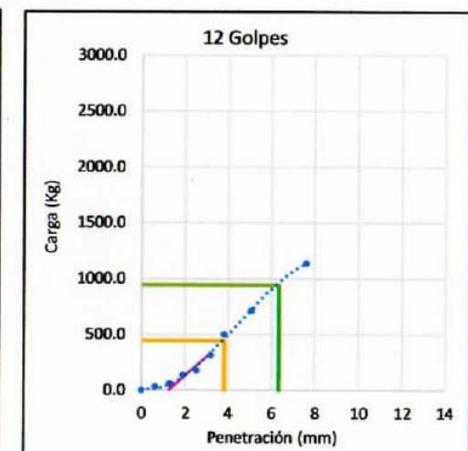
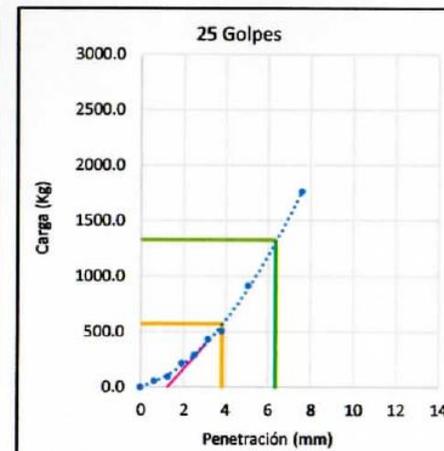
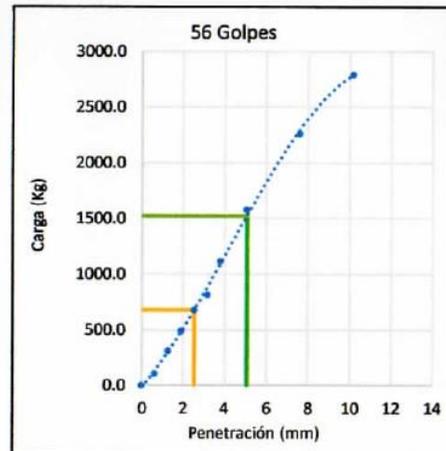
**ENSAYO DE PENETRACION**

Diámetro del pistón (pulg) 2.00    Área(pulg<sup>2</sup>) 3.14

PENETRACION		CARGA ESTÁNDAR	56 GOLPES					25 GOLPES					12 GOLPES				
mm	pulg	lb/pulg <sup>2</sup>	CARGA		PRESIÓN	CORRECCION		CARGA		PRESIÓN	CORRECCION		CARGA		PRESIÓN	CORRECCION	
			lb	kg	lb/pulg <sup>2</sup>	kg	%	lb	kg	lb/pulg <sup>2</sup>	kg	%	lb	kg	lb/pulg <sup>2</sup>	kg	%
0	0		0.0	0.000	0.000			0	0.000	0.000			0.0	0.000	0.000		
0.635	0.025		230.0	104.545	73.211			124.0	56.364	39.470			62.0	28.182	19.735		
1.27	0.05		687.0	312.273	218.679			202.0	91.818	64.299			128.0	58.182	40.744		
1.905	0.075		1083.0	492.273	344.730			477.0	216.818	151.834			291.0	132.273	92.628		
2.54	0.1	1000	1499.0	681.364	477.147	678.9	47.5	635.0	288.636	202.127	570.6	40.0	386.0	175.455	122.868	442.9	31.0
3.18	0.125		1798.0	817.273	572.321			949.0	431.364	302.076			687.0	312.273	218.679		
3.81	0.15		2462.0	1119.091	783.679			1122.0	510.000	357.144			1094.0	497.273	348.231		
5.08	0.2	1500	3474.0	1579.091	1105.809	1522.9	71.1	2017.0	916.818	642.031	1325.0	61.9	1571.0	714.091	500.065	944.4	44.1
7.62	0.3		4977.0	2262.273	1584.228			3887.0	1766.818	1237.271			2497.0	1135.000	794.820		
10.16	0.4		6145.0	2793.182	1956.014			5456.0	2480.000	1736.699			2986.0	1357.273	950.473		
12.7	0.5		7426.0	3375.455	2363.769			6568.0	2985.455	2090.659			3606.0	1639.091	1147.825		



MDS [g/cm <sup>3</sup> ]	95%	100%
0.1	2.122	2.234
0.2	44.90	67.12
0.2	68.32	81.38



**Reporte de resultados:**

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 81.4 (%)  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 68.3 (%)

\_\_\_\_\_  
 Lenin Stiven Allauca Avilés  
 Estudiante

\_\_\_\_\_  
 Karen Gisell Cherrez Pasmay  
 Estudiante

\_\_\_\_\_  
 Ing. Vladimir Pazmiño Chiluiza  
 Tutor de trabajo de investigación



**ENSAYO DE CBR DE AFIRMADO + 10% MELAZA**

**Norma: AASHTO T - 193**

**Página: 1 de 2**

**Proyecto:** Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

**Fecha de ensayo:** 23/05/2022

**Fecha de Informe:** 30/05/2022

**Ensayado por:** • Lenin Stiven Allauca Avilés  
 • Karen Gisell Cherrez Pasmay  
**Revisado por:** Ing. Vladimir Pazmiño C.  
**Yacimiento:** Cantera "Cerro Negro"

**Material:** Afimado Cantera "Cerro Negro" (40% Ag. Grueso - 60% Ag. Fino)  
**Clasf. (SUCS):** Ag. Fino: SP - SM  
 Ag. Grueso: GP  
**Clasf. (AASHTO):** Ag. Fino: A-1-b  
 Ag. Grueso: A-1-a  
**Densidad seca máxima:** 2.276 g/cm<sup>3</sup>

ENSAYO DE COMPACTACIÓN												
Molde Nº	1				2				3			
Capas Nº	5				5				5			
Golpes por capa Nº	56				25				12			
Condición de la muestra	NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO	
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12785		12811		12696		12751		12476		12570	
Peso de molde (g)	7963		7963		7955		7955		7959		7959	
Peso del suelo húmedo (g)	4822		4848		4741		4796		4517		4611	
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2134.25		2134.25		2134.25		2134.25		2134.25		2134.25	
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.259		2.272		2.221		2.247		2.116		2.160	
Tara (Nº)	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	3.4
Peso suelo húmedo + tara (g)	111.1	100.9	64.4	82.4	106.2	87.7	66.6	69.8	109.9	77.6	79.5	67.8
Peso suelo seco + tara (g)	107	96.9	62.2	79.2	102	84.3	64.4	67.4	105.7	74.9	76.8	65.3
Peso de tara (g)	17.2	14.2	17.2	14.8	18.2	14.5	18.1	14.2	18.5	14.3	18.5	14.4
Peso de agua (g)	4.1	4	2.2	3.2	4.2	3.4	2.2	2.4	4.2	2.7	2.7	2.5
Peso de suelo seco (g)	89.8	82.7	45	64.4	83.8	69.8	46.3	53.2	87.2	60.6	58.3	50.9
Contenido de humedad (%)	4.566	4.837	4.889	4.969	5.012	4.871	4.752	4.511	4.817	4.455	4.631	4.912
Cont. Humedad promedio (%)	4.701		4.929		4.941		4.631		4.636		4.771	
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.158		2.165		2.117		2.148		2.023		2.062	

EXPANSIÓN							
Fecha	Hora	Expansión		Expansión		Expansión	
		mm	%	mm	%	mm	%

**SIN EXPANSIÓN**

Lenin Stiven Allauca Avilés  
 Estudiante

Karen Gisell Cherrez Pasmay  
 Estudiante

Ing. Vladimir Pazmiño Chiluiza  
 Tutor de trabajo de investigación



**ENSAYO DE CBR DE AFIRMADO + 10% MELAZA**

**Norma: AASHTO T - 193**

**Página: 2 de 2**

**Proyecto:** Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

**Fecha de ensayo:** 23/05/2022

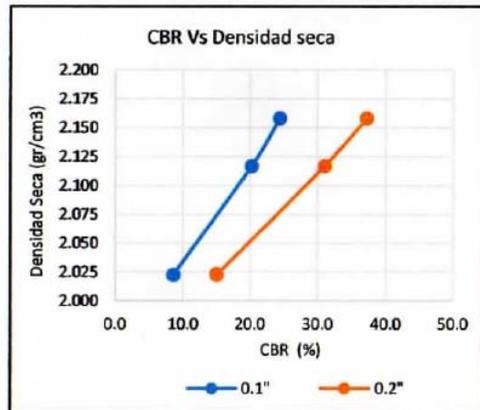
**Fecha de Informe:** 30/05/2022

**Ensayado por:** • Lenin Stiven Allauca Avilés  
 • Karen Gisell Cherez Pasmay  
**Revisado por:** Ing. Vladimir Pazmiño C.  
**Yacimiento:** Cantera "Cerro Negro"

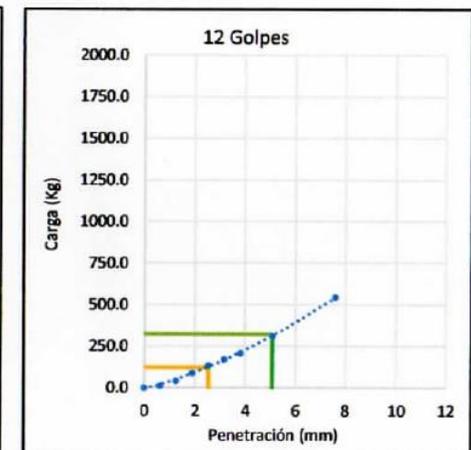
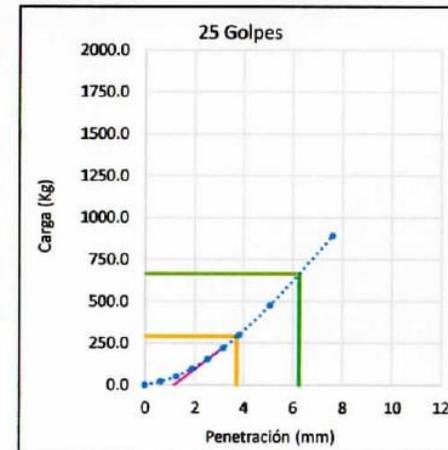
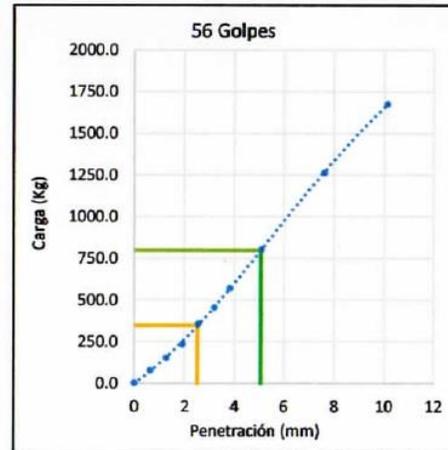
**ENSAYO DE PENETRACION**

Diámetro del pistón (pulg) | 2.00 | Área(pulg<sup>2</sup>) | 3.14

PENETRACION		CARGA ESTÁNDAR	56 GOLPES					25 GOLPES					12 GOLPES				
mm	pulg	lb/pulg <sup>2</sup>	CARGA		PRESIÓN	CORRECCION		CARGA		PRESIÓN	CORRECCION		CARGA		PRESIÓN	CORRECCION	
			lb	kg	lb/pulg <sup>2</sup>	kg	%	lb	kg	lb/pulg <sup>2</sup>	kg	%	lb	kg	lb/pulg <sup>2</sup>	kg	%
0	0		0.0	0.000	0.000			0	0.000	0.000			0.0	0.000	0.000		
0.635	0.025		172.0	78.182	54.749			50.0	22.727	15.915			24.0	10.909	7.639		
1.27	0.05		332.0	150.909	105.679			116.0	52.727	36.924			95.0	43.182	30.239		
1.905	0.075		511.0	232.273	162.556			213.0	96.818	67.800			198.0	90.000	63.025		
2.54	0.1	1000	790.0	359.091	251.465	348.7	24.4	340.0	154.545	108.225	289.3	20.3	294.0	133.636	93.583	122.8	8.6
3.18	0.125		1002.0	455.455	318.947			486.0	220.909	154.699			377.0	171.364	120.003		
3.81	0.15		1255.0	570.455	399.479			654.0	297.273	208.175			460.0	209.091	146.423		
5.08	0.2	1500	1765.0	802.273	561.817	798.8	37.3	1051.0	477.727	334.544	665.3	31.1	685.0	311.364	218.042	322.4	15.1
7.62	0.3		2776.0	1261.818	883.628			1960.0	890.909	623.887			1201.0	545.909	382.290		
10.16	0.4		3680.0	1672.727	1171.380			2839.0	1290.455	903.682			1555.0	706.818	494.972		
12.7	0.5		4560.0	2072.727	1451.493			3895.0	1770.455	1239.817			1838.0	835.455	585.054		



MDS [g/cm <sup>3</sup> ]	95%	100%
2.162	2.276	
0.1	24.82	33.24
0.2	37.92	52.61



**Reporte de resultados:**

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 52.6 (%)  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 37.9 (%)

**Lenin Stiven Allauca Avilés**  
 Estudiante

**Karen Gisell Cherez Pasmay**  
 Estudiante

**Ing. Vladimir Pazmiño Chiuza**  
 Tutor de trabajo de investigación



**ENSAYO DE CBR DE AFIRMADO + 12.5% MELAZA**

**Norma: AASHTO T - 193**

Página: 1 de 2

**Proyecto:** Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

**Fecha de ensayo:** 23/05/2022

**Fecha de Informe:** 30/05/2022

**Ensayado por:** • Lenin Stiven Allauca Avilés  
 • Karen Gisell Cherez Pasmay

**Revisado por:** Ing. Vladimir Pazmiño C.

**Yacimiento:** Cantera "Cerro Negro"

**Material:** Afimado Cantera "Cerro Negro" (40% Ag. Grueso - 60% Ag. Fino)

**Clasf. (SUCS):** Ag. Fino: SP - SM

Ag. Grueso: GP

**Clasf. (AASHTO):** Ag. Fino: A-1-b

Ag. Grueso: A-1-a

**Densidad seca máxima:** 2.245 g/cm<sup>3</sup>

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN**

	1				2				3			
	NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO	
Molde Nº	1				2				3			
Capas Nº	5				5				5			
Golpes por capa Nº	56				25				12			
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12738		12779		12527		12630		12290		12413	
Peso de molde (g)	7971		7971		7970		7970		7960		7960	
Peso del suelo húmedo (g)	4767		4808		4557		4660		4330		4453	
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2134.25				2134.25				2134.25			
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.234		2.253		2.135		2.183		2.029		2.086	
Tara (Nº)	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	3.4
Peso suelo húmedo + tara (g)	99.1	86	71.4	71.5	107.8	93.7	49	41.9	105.1	109.1	62	45.2
Peso suelo seco + tara (g)	96.9	84.2	68.9	69.7	106.1	91.5	47.6	40.3	102	107	59.8	44
Peso de tara (g)	18.1	14.6	14.5	18.1	18.1	14.3	18.1	14.4	18.1	14.3	18.3	14.9
Peso de agua (g)	2.2	1.8	2.5	1.8	1.7	2.2	1.4	1.6	3.1	2.1	2.2	1.2
Peso de suelo seco (g)	78.8	69.6	54.4	51.6	88	77.2	29.5	25.9	83.9	92.7	41.5	29.1
Contenido de humedad (%)	2.792	2.586	4.596	3.488	1.932	2.850	4.746	6.178	3.695	2.265	5.301	4.124
Cont. Humedad promedio (%)	2.689		4.042		2.391		5.462		2.980		4.712	
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.175		2.165		2.085		2.070		1.970		1.993	

**EXPANSIÓN**

Fecha	Hora	Expansión		Expansión		Expansión	
		mm	%	mm	%	mm	%

**SIN EXPANSIÓN**

Lenin Stiven Allauca Avilés  
 Estudiante

Karen Gisell Cherez Pasmay  
 Estudiante

Ing. Vladimir Pazmiño Chilitza  
 Tutor de trabajo de investigación



ENSAYO DE CBR DE AFIRMADO + 12.5% MELAZA

Norma: AASHTO T - 193

Página: 2 de 2

Proyecto: Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

Fecha de ensayo: 23/05/2022

Fecha de Informe: 30/05/2022

Ensayado por: • Lenin Stiven Allauca Avilés  
• Karen Gisell Cherrez Pasmay

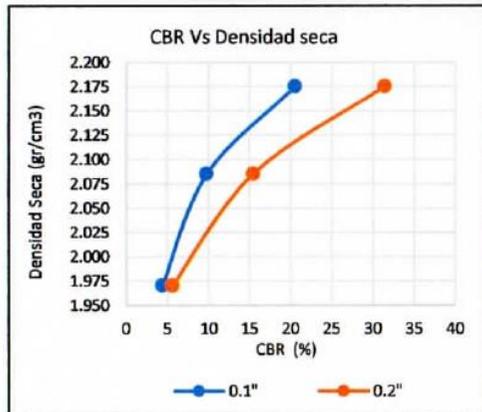
Revisado por: Ing. Vladimir Pazmiño C.

Yacimiento: Cantera "Cerro Negro"

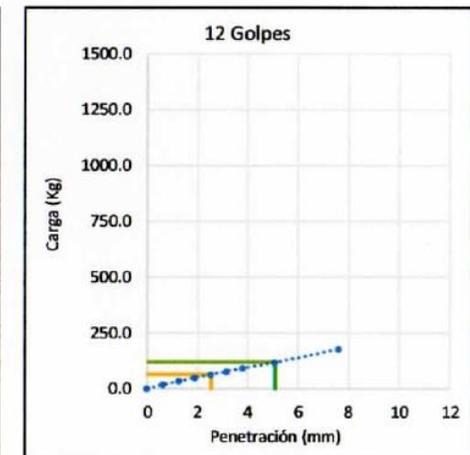
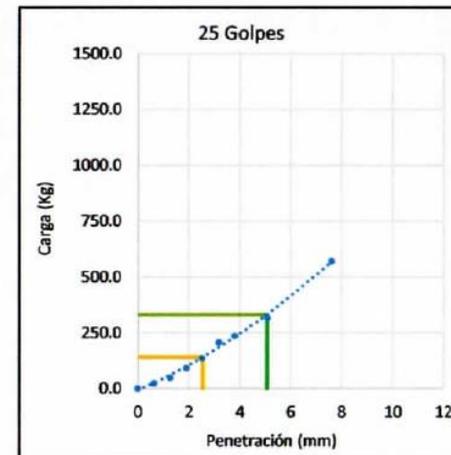
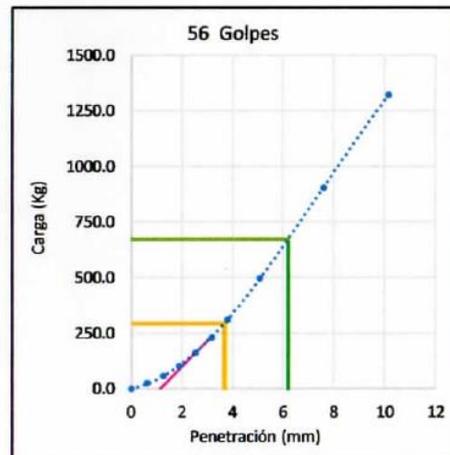
ENSAYO DE PENETRACION

Diámetro del pistón (pulg) 2.00 Area(pulg<sup>2</sup>) 3.14

PENETRACION		CARGA ESTÁNDAR lb/pulg <sup>2</sup>	56 GOLPES					25 GOLPES					12 GOLPES				
mm	pulg		CARGA		PRESIÓN	CORRECCION		CARGA		PRESIÓN	CORRECCION		CARGA		PRESIÓN	CORRECCION	
			lb	kg	lb/pulg <sup>2</sup>	kg	%	lb	kg	lb/pulg <sup>2</sup>	kg	%	lb	kg	lb/pulg <sup>2</sup>	kg	%
0	0		0.0	0.000	0.000			0.0	0.000	0.000			0	0.000	0.000		
0.635	0.025		55.0	25.000	17.507			50.0	22.727	15.915			43.0	19.545	13.687		
1.27	0.05		127.0	57.727	40.425			105.0	47.727	33.423			78.0	35.455	24.828		
1.905	0.075		226.0	102.727	71.938			201.0	91.364	63.980			109.0	49.545	34.696		
2.54	0.1	1000	355.0	161.364	113.000	294.4	20.6	300.0	136.364	95.493	140.1	9.8	139.0	63.182	44.245	63.4	4.4
3.18	0.125		506.0	230.000	161.065			454.0	206.364	144.513			169.0	76.818	53.794		
3.81	0.15		687.0	312.273	218.679			522.0	237.273	166.158			202.0	91.818	64.299		
5.08	0.2	1500	1096.0	498.182	348.868	673.0	31.4	702.0	319.091	223.454	331.2	15.5	261.0	118.636	83.079	120.2	5.6
7.62	0.3		1993.0	905.909	634.392			1255.0	570.455	399.479			392.0	178.182	124.777		
10.16	0.4		2908.0	1321.818	925.645			1907.0	866.818	607.017			516.0	234.545	164.248		
12.7	0.5		3690.0	1677.273	1174.563			2430.0	1104.545	773.493			636.0	289.091	202.445		



MDS [g/cm <sup>3</sup> ]	95%	100%
0.1	2.133	2.245
0.2	14.80	33.05
0.2	22.99	48.88



Reporte de resultados:

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 48.9 (%)  
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 23.0 (%)

Lenin Stiven Allauca Avilés  
Estudiante

Karen Gisell Cherrez Pasmay  
Estudiante

Ing. Vladimir Pazmiño Chiliza  
Tutor de trabajo de investigación



**LÍMITES DE ATTERBERG (AFIRMADO + 2.5% MELAZA)**

Norma: NTE INEN 691 y 692

Página: 1 de 1

**Proyecto:** Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

**Fecha de ensayo:** 31/05/2022

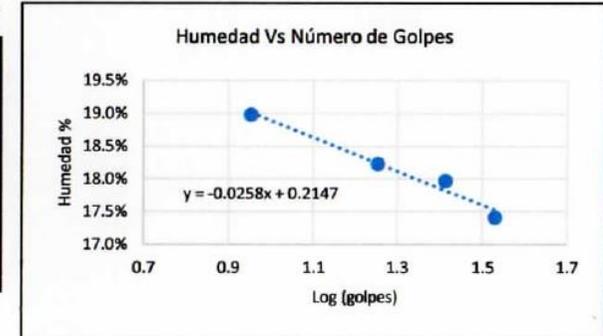
**Fecha de Informe:** 03/06/2022

**Ensayado por:** • Lenin Stiven Allauca Avilés  
 • Karen Gisell Cherez Pasmay  
**Revisado por:** Ing. Vladimir Pazmiño C.  
**Yacimiento:** Cantera "Cerro Negro"

**Límite Líquido**

NTE INEN 691

Descripción	Unidades	Ensayos							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del recipiente	g	14.2	18.6	14.2	14.5	15.3	14.9	16.3	14.4
Peso de la recipiente+suelo húmedo	g	24.2	27.4	22.5	25.7	23.5	23.8	24.6	22.3
Peso de la recipiente+suelo seco	g	22.6	26	21.2	24	22.2	22.5	23.4	21.1
Peso suelo seco	g	8.4	7.4	7	9.5	6.9	7.6	7.1	6.7
Peso del agua	g	1.6	1.4	1.3	1.7	1.3	1.3	1.2	1.2
Contenido de agua, %	%	19%	19%	19%	18%	19%	17%	17%	18%
Número de Golpes	-	9		18		26		34	
Log (golpes)	-	0.954242509		1.255272505		1.414973348		1.531478917	
Humedad, %	%	19.0%	18.9%	18.6%	17.9%	18.8%	17.1%	16.9%	17.9%
<b>PROMEDIO HUMEDAD</b>	%	<b>18.98%</b>		<b>18.23%</b>		<b>17.97%</b>		<b>17.41%</b>	



GOLPES	LOG (GOLPES)	Humedad, %	Límite Líquido, %
25	1.398	17.863%	<b>17.863%</b>

**Límite Plástico**

NTE INEN 692

Descripción	Unidades	ENSAYO N°		
		1	2	3
Peso del recipiente	g	14.2	14.1	14.6
Peso de la recipiente+suelo húmedo	g	16.5	17.3	20.3
Peso de la recipiente+suelo seco	g	16.2	16.9	19.6
Peso suelo seco	g	2	2.8	5
Peso del agua	g	0.3	0.4	0.7
Contenido de agua, %	%	15%	14%	14%

Promedio Humedad, %	Límite Plástico %	Índice de Plasticidad (IP), %
14.429%	14.429%	<b>3.435%</b>

**Reporte de resultados:**

Límite Líquido: 17.863%

Límite Plástico: 14.429%

Índice de Plasticidad: 3.435%

**Lenin Stiven Allauca Avilés**  
 Estudiante

**Karen Gisell Cherez Pasmay**  
 Estudiante

**Ing. Vladimir Pazmiño Chijaliza**  
 Tutor de trabajo de investigación



**LÍMITES DE ATTERBERG (AFIRMADO + 5% MELAZA)**

Norma: NTE INEN 691 y 692

Página: 1 de 1

**Proyecto:** Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

**Fecha de ensayo:** 31/05/2022

**Fecha de Informe:** 03/06/2022

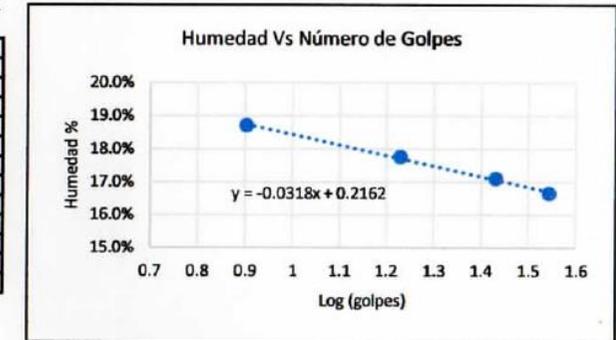
**Ensayado por:** • Lenin Stiven Allauca Avilés  
 • Karen Gisell Cherrez Pasmay  
**Revisado por:** Ing. Vladimir Pazmiño C.  
**Yacimiento:** Cantera "Cerro Negro"

**Límite Líquido**

NTE INEN 691

Descripción	Unidades	Ensayos							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del recipiente	g	14.5	14.6	13.9	14.9	18.9	14.9	18.1	14.3
Peso de la recipiente+suelo húmedo	g	23.3	24.2	23.7	25	24.5	21.6	23.9	20.4
Peso de la recipiente+suelo seco	g	21.9	22.7	22.2	23.5	23.7	20.6	23.1	19.5
Peso suelo seco	g	7.4	8.1	8.3	8.6	4.8	5.7	5	5.2
Peso del agua	g	1.4	1.5	1.5	1.5	0.8	1	0.8	0.9
Contenido de agua, %	%	19%	19%	18%	17%	17%	18%	16%	17%
Número de Golpes	-	8		17		27		35	
Log (golpes)	-	0.903089987		1.230448921		1.431363764		1.544068044	
Humedad, %	%	18.9%	18.5%	18.1%	17.4%	16.7%	17.5%	16.0%	17.3%
PROMEDIO HUMEDAD	%	18.72%		17.76%		17.11%		16.65%	

GOLPES	LOG (GOLPES)	Humedad, %	Límite Líquido, %
25	1.398	17.175%	17.175%



**Límite Plástico**

NTE INEN 692

Descripción	Unidades	ENSAYO N°		
		1	2	3
Peso del recipiente	g	13.8	14.5	13.5
Peso de la recipiente+suelo húmedo	g	17.6	17.5	21.1
Peso de la recipiente+suelo seco	g	17.1	17.1	20.2
Peso suelo seco	g	3.3	2.6	6.7
Peso del agua	g	0.5	0.4	0.9
Contenido de agua, %	%	15%	15%	13%

Promedio Humedad, %	Límite Plástico %	Índice de Plasticidad (IP), %
14.656%	14.656%	2.518%

**Reporte de resultados:**

Límite Líquido: 17.175%

Límite Plástico: 14.656%

Índice de Plasticidad: 2.518%

**Lenin Stiven Allauca Avilés**  
Estudiante

**Karen Gisell Cherrez Pasmay**  
Estudiante

**Ing. Vladimir Pazmiño Chiluzza**  
Tutor de trabajo de investigación



**LÍMITES DE ATTERBERG (AFIRMADO + 7.5% MELAZA)**

Norma: NTE INEN 691 y 692

Página: 1 de 1

**Proyecto:** Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

**Fecha de ensayo:** 01/06/2022

**Fecha de Informe:** 03/06/2022

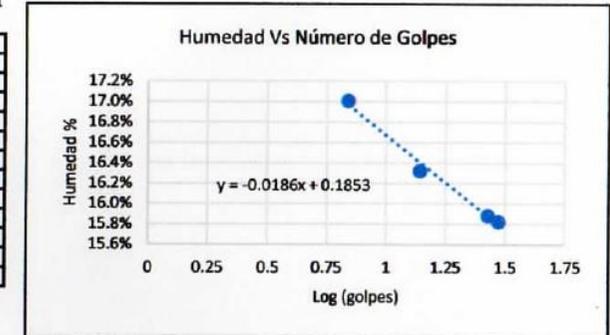
**Ensayado por:** • Lenin Stiven Allauca Avilés  
 • Karen Gisell Cherrez Pasmay  
**Revisado por:** Ing. Vladimir Pazmiño C.  
**Yacimiento:** Cantera "Cerro Negro"

**Límite Líquido**

NTE INEN 691

Descripción	Unidades	Ensayos							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del recipiente	g	14.5	14.4	18.1	17.9	15.7	14.6	14.8	14.3
Peso de la recipiente+suelo húmedo	g	32.2	29.7	35.9	33.6	32.4	27.8	28.6	29.8
Peso de la recipiente+suelo seco	g	29.6	27.5	33.4	31.4	30.1	26	26.7	27.7
Peso suelo seco	g	15.1	13.1	15.3	13.5	14.4	11.4	11.9	13.4
Peso del agua	g	2.6	2.2	2.5	2.2	2.3	1.8	1.9	2.1
Contenido de agua, %	%	17%	17%	16%	16%	16%	16%	16%	16%
Número de Golpes	-	7		14		27		30	
Log (golpes)	-	0.84509804		1.146128036		1.431363764		1.477121255	
Humedad, %	%	17.22%	16.79%	16.34%	16.30%	15.97%	15.79%	15.97%	15.67%
PROMEDIO HUMEDAD	%	17.01%		16.32%		15.88%		15.82%	

GOLPES	LOG (GOLPES)	Humedad, %	Límite Líquido, %
25	1.398	15.930%	15.930%



**Límite Plástico**

NTE INEN 692

Descripción	Unidades	ENSAYO N°		
		1	2	3
Peso del recipiente	g	14.8	14.6	13.7
Peso de la recipiente+suelo húmedo	g	18.6	18.3	23
Peso de la recipiente+suelo seco	g	18.1	17.8	21.9
Peso suelo seco	g	3.3	3.2	8.2
Peso del agua	g	0.5	0.5	1.1
Contenido de agua, %	%	15%	16%	13%

Promedio Humedad, %	Límite Plástico %	Índice de Plasticidad (IP), %
14.730%	14.730%	1.199%

**Reporte de resultados:**

Límite Líquido: 15.93%

Límite Plástico: 14.73%

Índice de Plasticidad: 1.199%

**Lenin Stiven Allauca Avilés**  
Estudiante

**Karen Gisell Cherrez Pasmay**  
Estudiante

**Ing. Vladimir Pazmiño Chiluza**  
Tutor de trabajo de investigación



LÍMITES DE ATTERBERG (AFIRMADO + 10% MELAZA)

Norma: NTE INEN 691 y 692

Página: 1 de 1

Proyecto: Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

Fecha de ensayo: 07/06/2022

Fecha de Informe: 09/06/2022

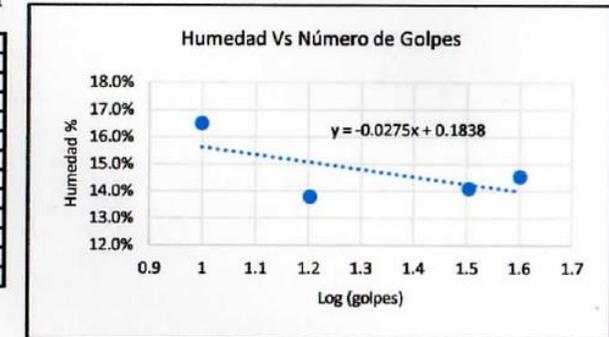
Ensayado por: • Lenin Stiven Allauca Avilés  
• Karen Gisell Cherrez Pasmay  
Revisado por: Ing. Vladimir Pazmiño C.  
Yacimiento: Cantera "Cerro Negro"

Límite Líquido

NTE INEN 691

Descripción	Unidades	Ensayos							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del recipiente	g	17.2	14.3	14.3	14.3	14.6	18.3	17.7	14.2
Peso de la recipiente+suelo húmedo	g	28.6	26.2	24	24.4	26.9	28.7	26	23.2
Peso de la recipiente+suelo seco	g	27	24.5	22.8	23.2	25.4	27.4	25	22
Peso suelo seco	g	9.8	10.2	8.5	8.9	10.8	9.1	7.3	7.8
Peso del agua	g	1.6	1.7	1.2	1.2	1.5	1.3	1	1.2
Contenido de agua, %	%	16%	17%	14%	13%	14%	14%	14%	15%
Número de Golpes	-	10		16		32		40	
Log (golpes)	-	1		1.204119983		1.505149978		1.602059991	
Humedad, %	%	16.3%	16.7%	14.1%	13.5%	13.9%	14.3%	13.7%	15.4%
PROMEDIO HUMEDAD	%	16.50%		13.80%		14.09%		14.54%	

GOLPES	LOG (GOLPES)	Humedad, %	Límite Líquido, %
25	1.398	14.277%	14.277%



Límite Plástico

NTE INEN 692

Descripción	Unidades	ENSAYO N°		
		1	2	3
Peso del recipiente	g	14.1	18.1	18.3
Peso de la recipiente+suelo húmedo	g	23.1	22.8	24.3
Peso de la recipiente+suelo seco	g	21.9	22.3	23.6
Peso suelo seco	g	7.8	4.2	5.3
Peso del agua	g	1.2	0.5	0.7
Contenido de agua, %	%	15%	12%	13%

Promedio Humedad, %	Límite Plástico %	Índice de Plasticidad (IP), %
13.499%	13.499%	0.778%

Reporte de resultados:

Límite Líquido: 14.277%

Límite Plástico: 13.499%

Índice de Plasticidad: 0.778%

Lenin Stiven Allauca Avilés  
Estudiante

Karen Gisell Cherrez Pasmay  
Estudiante

Ing. Vladimir Pazmiño Chilúiza  
Tutor de trabajo de investigación



Proyecto: Diseño de capas de rodadura básicas granulares con adición de melaza de caña, para vías de tercer orden y vecinales.

Fecha de ensayo: 07/06/2022

Fecha de Informe: 09/06/2022

Ensayado por: • Lenin Stiven Allauca Avilés  
• Karen Gisell Cherrez Pasmay  
Revisado por: Ing. Vladimir Pazmiño C.  
Yacimiento: Cantera "Cerro Negro"

Límite Líquido

NTE INEN 691

Descripción	Unidades	Ensayos									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso del recipiente	g	18.4	18.6	17.4	14.5	18.1	14.5	18.1	14.9	14	14.2
Peso de la recipiente+suelo húmedo	g	29.6	29.8	30	29.4	35.4	22.4	33.6	37.3	35.3	24.2
Peso de la recipiente+suelo seco	g	28.2	28.3	28.4	27.5	33.2	21.4	31.7	34.5	32.9	23.1
Peso suelo seco	g	9.8	9.7	11	13	15.1	6.9	13.6	19.6	18.9	8.9
Peso del agua	g	1.4	1.5	1.6	1.9	2.2	1	1.9	2.8	2.4	1.1
Contenido de agua, %	%	14%	15%	15%	15%	15%	14%	14%	14%	13%	12%
Número de Golpes	-	7		14		22		36		43	
Log (golpes)	-	0.84509804		1.146128036		1.342422681		1.556302501		1.633468456	
Humedad, %	%	14.29%	15.46%	14.55%	14.62%	14.57%	14.49%	13.97%	14.29%	12.70%	12.36%
PROMEDIO HUMEDAD	%	14.87%		14.58%		14.53%		14.13%		12.53%	

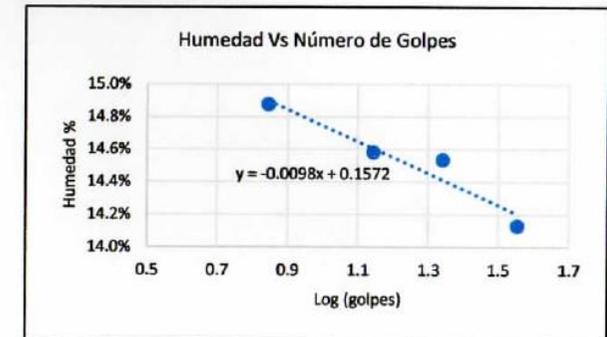
GOLPES	LOG (GOLPES)	Humedad, %	Límite Líquido, %
25	1.398	14.350%	14.350%

Límite Plástico

NTE INEN 692

Descripción	Unidades	ENSAYO N°		
		1	2	3
Peso del recipiente	g	14.4	14.3	14.4
Peso de la recipiente+suelo húmedo	g	21	18.3	23
Peso de la recipiente+suelo seco	g	20.3	17.8	21.9
Peso suelo seco	g	5.9	3.5	7.5
Peso del agua	g	0.7	0.5	1.1
Contenido de agua, %	%	12%	14%	16%

Promedio Humedad, %	Límite Plástico %	Índice de Plasticidad (IP), %
14.050%	14.050%	0.300%



Reporte de resultados:

Límite Líquido: 14.350%

Límite Plástico: 14.050%

Índice de Plasticidad: 0.300%

Lenin Stiven Allauca Avilés  
Estudiante

Karen Gisell Cherrez Pasmay  
Estudiante

Ing. Vladimir Pazmiño Chiluiza  
Tutor de trabajo de investigación



**Anexo 33.** Adquisición del material granular procedente de la cantera local “Cerro Negro”.



**Anexo 34.** Secado de material para la realización del ensayo de granulometría.



**Anexo 35.** Tamizaje de áridos.



**Anexo 36.** Pesaje de cada fracción retenida en los diferentes tamices.



**Anexo 37.** Tamizado de árido fino para determinación de límites de Atterberg.



**Anexo 38.** Equipos y herramientas necesarios para la realización de límites de Atterberg.



**Anexo 39.** Pesaje y humectación de la muestra patrón para límites de Atterberg.



**Anexo 40.** Determinación de límites de Atterberg en arena sin adición de melaza.



**Anexo 41.** Muestras obtenidas en la determinación de límites de Atterberg.



**Anexo 42.** Preparación de la muestra para la realización del ensayo de abrasión.



**Anexo 43.** Máquina de abrasión de Los Ángeles, de la UNACH.



**Anexo 44.** Preparación de equipo y material para la realización del ensayo de abrasión.



**Anexo 45.** Determinación de la densidad de la melaza de caña a emplear en la investigación.



**Anexo 46.** Determinación del contenido de humedad de la melaza de caña a utilizar.



**Anexo 47.** Pesaje del molde de Proctor a utilizar.



**Anexo 48.** Preparación de la muestra a usar durante el ensayo de Proctor.



**Anexo 49.** Proctor - Compactación de la muestra sin adición de miel de caña.



**Anexo 50.** Pesaje de las muestras obtenidas durante el ensayo de humedad óptima.



**Anexo 51.** Preparación del ensayo de densidad óptima en diferentes porcentajes de adición de melaza de caña.



**Anexo 52.** Preparación de la mezcla suelo – melaza en diferentes porcentajes de adición.



**Anexo 53.** Proctor - Compactación de las diferentes combinaciones.



**Anexo 54.** Pesaje del molde y las muestras compactadas.



**Anexo 55.** Preparación del material a compactar para la realización del ensayo CBR.



**Anexo 56.** CBR – Preparación del suelo en 2.5% y 5.0% de adición de melaza de caña.



**Anexo 57.** CBR – Preparación del suelo en 7.5% y 10.0% de adición de melaza de caña.



**Anexo 58.** Preparación de la muestra con adición únicamente de melaza de caña (12.5%).



**Anexo 59.** Compactación de las probetas a ensayar.



**Anexo 60.** Probetas compactadas a 12, 26 y 56 golpes, respectivamente.



**Anexo 61.** Colocación de las pesas en las probetas compactadas.



**Anexo 62.** Inmersión de las muestras patrón.



**Anexo 63.** Inmersión de las muestras con diferentes porcentajes de adición de melaza de caña.



**Anexo 64.** Lectura diaria de los deformímetros de cada muestra.



**Anexo 65.** Lectura diaria de deformímetros.



**Anexo 66.** Lectura diaria de deformímetros.



**Anexo 67.** Escurrimiento y drenaje de las muestras después de la inmersión.



**Anexo 68.** Muestras escurriendo antes de ser ensayadas en la prensa Marshall.



**Anexo 69.** Preparación de las probetas a ser ensayadas.



**Anexo 70.** Preparación y configuración de la muestra con la prensa Marshall.



**Anexo 71.** Lectura y toma de datos de la carga y deformación de cada probeta ensayada.



**Anexo 72.** Probetas de CBR ensayadas.



**Anexo 73.** Extracción de muestras de las probetas ensayadas de CBR.



**Anexo 74.** Secado en horno de las taras con las muestras de los ensayos de CBR realizados.



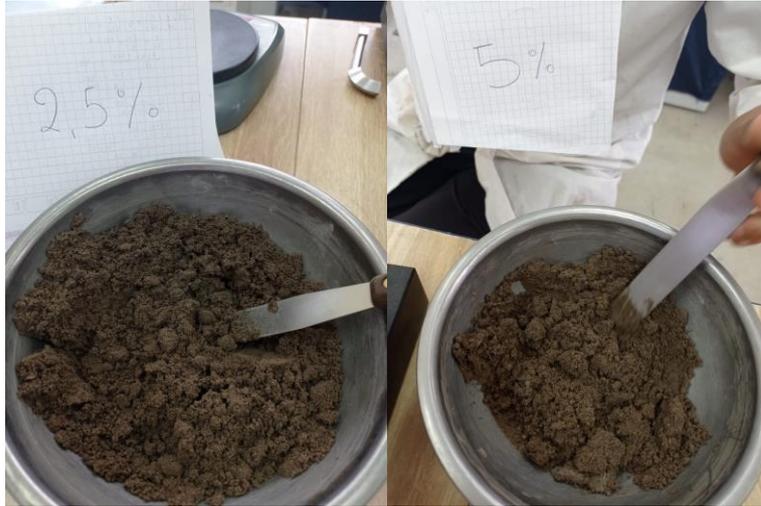
**Anexo 75.** Pesaje de las muestras secas del ensayo de CBR.



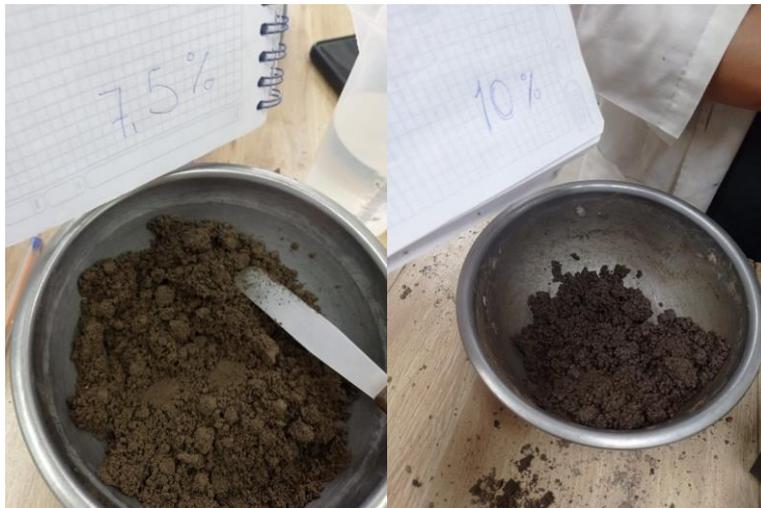
**Anexo 76.** Tamizaje del suelo para la determinación de límites de Atterberg con adición de miel de caña.



**Anexo 77.** Preparación de los equipos y muestra para la realización de límites de Atterberg con adición de miel de caña.



**Anexo 78.** Muestra de suelo con adición de 2.5% y 5.0% de adición de miel de caña para la determinación de límites de Atterberg.



**Anexo 79.** Muestra de suelo con adición de 7.5% y 10.0% de adición de miel de caña para la determinación de límites de Atterberg.



**Anexo 80.** Determinación de límites de Atterberg con adición de miel de caña en diferentes porcentajes.



**Anexo 81.** Muestras obtenidas para la determinación de límites de Atterberg con adición de miel de caña.



**Anexo 82.** Límites de Atterberg - Pesaje de las muestras secas.



**Anexo 83.** Tamizaje y preparación de la muestra para el ensayo de determinación de deletéreos.



**Anexo 84.** Inmersión de las muestras en agua destilada.



**Anexo 85.** Desmenuzamiento de los potenciales terrones de arcilla.



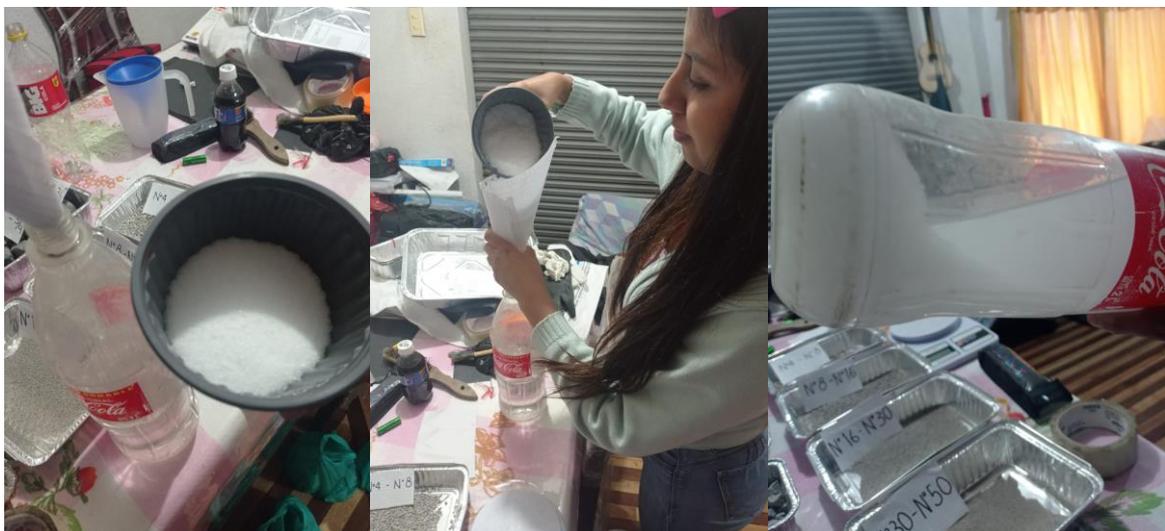
**Anexo 86.** Tamizado en húmedo de las muestras.



**Anexo 87.** Determinación de deletéreos - Pesaje de la muestra seca.



**Anexo 88.** Preparación de las muestras para el ensayo de resistencia a los sulfatos.



**Anexo 89.** Preparación de la salmuera con 48 horas de antelación.



**Anexo 90.** Culminación del primer ciclo de ensayo.



**Anexo 91.** Culminación del quinto ciclo de ensayo.



**Anexo 92.** Lavado de la muestra con la ayuda de Cloruro de Bario.



**Anexo 93.** Secado de las muestras lavadas.



**Anexo 94.** Resistencia a los sulfatos – Muestras secas de áridos gruesos.



**Anexo 95.** Resistencia a los sulfatos – Muestras secas del árido fino.



**Anexo 96.** Resistencia a los sulfatos – Muestras secas del árido fino.



**Anexo 97.** Resistencia a los sulfatos - Muestras ensayadas.



**Anexo 98.** Densidad árido fino – Muestra a ensayar.



**Anexo 99.** Decantación del exceso de agua en la muestra tras haber estado sumergida 24h.



**Anexo 100.** Secado en estufa de la muestra saturada.



**Anexo 101.** Prueba con el cono de absorción para la muestra en condición SSS.



**Anexo 102.** Pesaje del picnómetro con muestra y agua hasta la marca de calibración.



**Anexo 103.** Eliminación de las burbujas de aire en la muestra.



**Anexo 104.** Eliminación del agua y extracción de la muestra del picnómetro.



**Anexo 105.** Pesaje y secado final de la muestra.



**Anexo 106.** Densidad árido grueso – Preparación de material y equipos a usar.



**Anexo 107.** Pesaje de la muestra.



**Anexo 108.** Análisis granulométrico de la muestra.



**Anexo 109.** Lavado del árido grueso e inmersión para el ensayo.



**Anexo 110.** Muestra en estado SSS.



**Anexo 111.** Preparación e inmersión del árido en agua



**Anexo 112.** Pesaje de la muestra sumergida.



**Anexo 113.** Secado en horno de la muestra ensayada.



**Anexo 114.** Pesaje de la muestra SH.