



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

**Título del Proyecto**

Influencia de la Melaza de Caña de azúcar en la permeabilidad de muestras de suelo arenoso de una subrasante

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

**Autores:**

Condo Barreros Irvin Andres

Cusco Cando Luis Alexander

**Tutor:**

Ing. Jorge Eugenio Nuñez Vivar, MSc.

**Riobamba, Ecuador, 2023**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros, **Irvin Andres Condo Barreros**, con cédula de ciudadanía **0605812486** y **Luis Alexander Cusco Cando**, con cédula de ciudadanía **0604784140**, autores del trabajo de investigación titulado: “**INFLUENCIA DE LA MELAZA DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA PERMEABILIDAD DE MUESTRAS DE SUELO ARENOSO DE UNA SUBRASANTE**”, 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, 07 de febrero de 2023.



---

Irvin Andres Condo Barreros  
C.I: 0605812486



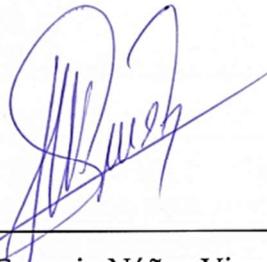
---

Luis Alexander Cusco Cando  
C.I: 0604784140

## DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, **Ing. Jorge Eugenio Núñez Vivar, MSc.** catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: **Influencia de la melaza de caña de azúcar en la permeabilidad de muestras de suelo arenoso de una subrasante**, bajo la autoría de Irvin Andres Condo Barreros y Luis Alexander Cusco Cando; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 7 días del mes de febrero de 2023



---

Ing. Jorge Eugenio Núñez Vivar, MSc.

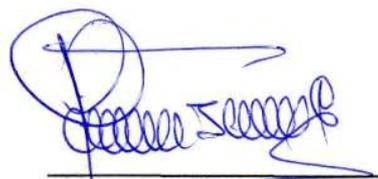
C.I: 0601606486

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **“INFLUENCIA DE LA MELAZA DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA PERMEABILIDAD DE MUESTRAS DE SUELO ARENOSO DE UNA SUBRASANTE”** por **Irvin Andres Condo Barreros**, con cédula de identidad número **060581248-6** y **Luis Alexander Cusco Cando**, con cédula de identidad número **060478414-0**, bajo la tutoría de Ing. Jorge Eugenio Núñez Vivar, MSc.; 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.

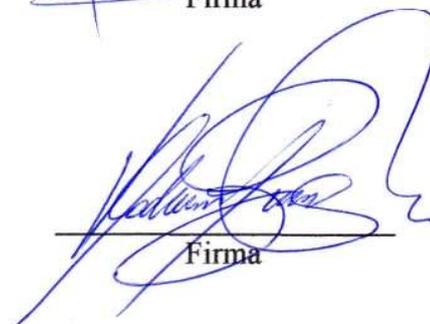
De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 20 de marzo de 2023.

Javier Palacios, MSc.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Firma

Vladimir Pazmiño, MSc.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Firma

Francisco Jaramillo, MSc.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Firma



# CERTIFICACIÓN

Que, **CONDO BARREROS IRVIN ANDRES** con CC: **0605812486** y **CUSCO CANDO LUIS ALEXANDER** con CC: **0604784140**, estudiantes de la Carrera **INGENIERÍA CIVIL**, Facultad de **INGENIERÍA**; han trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **"INFLUENCIA DE LA MELAZA DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA PERMEABILIDAD DE MUESTRAS DE SUELO ARENOSO DE UNA SUBRASANTE"**, cumple con el **0%**, 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, 14 de marzo de 2023



Ing. Jorge Eugenio Núñez Vivar, MSc.  
**TUTOR**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de investigación está dedicado a Dios, Jesús y a la Virgen María por darme la fortaleza para afrontar los problemas en mi vida, bendecirme y cuidarme cada día.

A mis padres Martha y Alfredo, quienes me han inculcados el ser buena persona, además de fortaleza y garra para seguir adelante, gracias a su esfuerzo es que pude salir de mi cantón natal para estudiar en una ciudad ajena.

A mis hermanas Mayra y Karina que siempre se han preocupado por mi bienestar y con quienes comparto el mismo deseo de ayudar a nuestros padres y poder recompensarles por todo lo que nos han dado. A mis cuñados Washo y Omar por aconsejarme y hablarme claro y frontal siempre.

A mi novia y amiga Alexandra, por su cariño, apoyo y compañía en los momentos buenos y malos.

A todos quienes han sido parte de este camino Y finalmente a mis abuelitos, quienes me cuidan desde el cielo.

***Irvin Andres Condo Barreros***

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación va dedicado a Dios, a San Juan Bautista y al Divino Niño Jesús, quienes me han cuidado y acompañado durante toda mi vida.

Se lo dedico a mis padres, Luis y Gladys quienes me formaron como persona, una persona responsable y de bien, además son quienes me han apoyado en cada momento y han hecho que este sueño sea posible.

A mis amigos y familiares quienes estuvieron conmigo tanto en los buenos y en los malos momentos, y que a pesar de todo se quedaron apoyándome y motivándome para seguir adelante, personas a las que siempre voy a estar agradecido y que con justa razón merecen estar en cada logro y felicidad obtenida.

*Luis Alexander Cusco Cando*

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por bendecirnos con la oportunidad de poder estudiar una carrera universitaria, dándonos salud y fortaleza, además de poner en nuestro camino a las personas correctas en los momentos adecuados.

A nuestros padres, ya que gracias a su esfuerzo y apoyo hemos podido llegar hasta estas instancias.

A la Universidad Nacional de Chimborazo por formarnos como profesionales, en especial a cada uno de los docentes que a través de la teoría, experiencias personales y consejos nos dieron las herramientas necesarias para poder entender cada uno de los temas tratados.

Queremos extender además nuestra gratitud al Ing. Luis Villafuerte por guiarnos en el desarrollo de este proyecto, así como agradecer al Ing. Jorge Nuñez por instruirnos de manera desinteresada con consejos siempre acertados.

A nuestros compañeros y amigos por hacer mucho más agradable la carrera y llenar nuestras vidas de momentos inolvidables.

## ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1. Antecedentes .....	16
1.2. Planteamiento del Problema .....	16
1.3. Justificación .....	17
1.4. Objetivos.....	17
1.4.1. General.....	17
1.4.2. Específicos.....	17
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Estado del Arte.....	18
2.2. Suelo .....	19
2.2.1. Definición .....	19
2.2.2. Clasificación .....	19
2.3. Subrasante.....	22
2.4. Propiedades del Suelo .....	22
2.4.1. Distribución Granulométrica .....	22
2.4.2. Contenido de Humedad .....	22
2.4.3. Densidad .....	22
2.4.4. Límites de Atterberg.....	23
2.5. Permeabilidad .....	23
2.5.1. Permeámetro de Carga Constante.....	24
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	26
3.1. Enfoque.....	26
3.2. Alcance .....	26
3.3. Variables .....	26
3.4. Experimento.....	26
3.5. Tratamiento .....	26
3.6. Unidades Experimentales .....	26
3.7. Población de Estudio y Muestreo .....	26
3.7.1. Población de Estudio .....	26
3.7.2. Muestreo .....	26

3.8.	Recolección de datos e instrumentos .....	27
3.9.	Métodos de análisis y procesamiento de datos.....	28
3.10.	Diagrama de Flujo .....	29
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		30
4.1.	Resultados.....	30
4.1.1.	Caracterización de la melaza de caña de azúcar.....	30
4.1.2.	Caracterización del suelo en estudio .....	30
4.1.3.	Influencia de la melaza en la permeabilidad de suelos granulares .....	38
4.1.1.	Caracterización del Suelo .....	40
4.1.2.	Proporciones en peso y volumen.....	41
4.1.3.	Coefficiente de Permeabilidad.....	42
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		45
5.1.	CONCLUSIONES .....	45
BIBLIOGRAFÍA .....		47
ANEXOS .....		49

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Símbolos que se usan en la Clasificación SUCS (Das, 2011).....	20
<b>Tabla 2.</b> Sistema de Clasificación de suelos de la AASHTO (Das, 2011).....	21
<b>Tabla 3.</b> Tamaños de Malla Estándar. ....	22
<b>Tabla 4.</b> Intervalo de la permeabilidad hidráulica para varios suelos (Das, 2011).....	24
<b>Tabla 5.</b> Composición de la melaza de caña de azúcar (Chávez, 1998).....	25
<b>Tabla 6.</b> Cuadro de coordenadas de las Calicatas.....	27
<b>Tabla 7.</b> Resultado del Ensayo de Granulometría de la Calicata 1.1.....	30
<b>Tabla 8.</b> Resultado del Ensayo de Granulometría de la Calicata 1.2.....	31
<b>Tabla 9.</b> Resultado del Ensayo de Granulometría de la Calicata 2.1.....	31
<b>Tabla 10.</b> Resultado del Ensayo de Granulometría de la Calicata 2.2.....	32
<b>Tabla 11.</b> Resultado del Ensayo de Granulometría de la Calicata 3.1.....	33
<b>Tabla 12.</b> Resultado del Ensayo de Granulometría de la Calicata 3.2.....	33
<b>Tabla 13.</b> Resultado del Ensayo de Granulometría de la Calicata 4.1.....	34
<b>Tabla 14.</b> Resultado del Ensayo de Granulometría de la Calicata 4.2.....	35
<b>Tabla 15.</b> Resultado del Ensayo de Granulometría de la Calicata 5.1.....	35
<b>Tabla 16.</b> Resultado del Ensayo de Granulometría de la Calicata 5.2.....	36
<b>Tabla 17.</b> Resultado del Ensayo de Densidades en Campo por el Método de Cono y Arena .....	38
<b>Tabla 18.</b> Resultados del Ensayo de Permeabilidad.....	38
<b>Tabla 19.</b> Comparación de Resultados de Caracterización de Suelos.....	40
<b>Tabla 20.</b> Densidades empleadas para proporciones suelo-melaza.....	41
<b>Tabla 21.</b> Masas empleadas para los ensayos suelo-melaza.....	41
<b>Tabla 22.</b> Masas de melaza empleadas para los ensayos según porcentaje.....	42
<b>Tabla 23.</b> Comparación de Resultados del Ensayo de Permeabilidad.....	43

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Efecto aglomerante de la melaza de caña de azúcar. ....	19
<b>Figura 2.</b> Gráfica de Plasticidad (Das, 2011). ....	20
<b>Figura 3.</b> Definición de los límites de Atterberg (Das, 2011) .....	23
<b>Figura 4.</b> Esquema de Sistema Hidráulico de Carga constante. ....	24
<b>Figura 5.</b> Diagrama de la metodología (Fases).....	29
<b>Figura 6.</b> Gráficas de Granulometrías. ....	37
<b>Figura 7.</b> Valores del Coeficiente de Permeabilidad según el porcentaje de adición de MCA. ....	42
<b>Figura 8.</b> Disminución del Coeficiente de Permeabilidad según el porcentaje de adición de MCA. ....	43
<b>Figura 9.</b> Porcentaje de disminución del coeficiente de permeabilidad según el porcentaje de adición de MCA.....	44

## **GLOSARIO DE ACRÓNIMOS**

- **AASHTO:** *American Association of State Highway and Transportation Officials*, en español, Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes.
- **MCA:** Melaza de Caña de Azúcar.
- **SUCS:** Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
- **NP:** No Plástico.
- **LL:** Limite Líquido.
- **LP:** Limite Plástico.
- **IP:** Índice Plástico.

## **RESUMEN**

El mal estado de las vías que conectan comunidades rurales producto de mal tratamiento de la subrasante, tipo de suelo, tráfico, entre otros factores y la búsqueda de nuevos métodos para mejorar la permeabilidad de los suelos especialmente arenosos, motivó el planteamiento de esta investigación experimental para evaluar la variación de la permeabilidad de suelos arenosos con la adición de 4%, 8%, 12% y 16% de Melaza de Caña de Azúcar (MCA). Para demostrar esto, se realizaron ensayos de permeabilidad en muestras de una subrasante de suelo arenoso, empleando un permeámetro de carga constante. De esta manera se logró demostrar que la permeabilidad de suelos arenosos tiende a disminuir a través de la incorporación de melaza de caña de azúcar, ya que, con un porcentaje del 4% se consiguió una reducción significativa del 18.200% mientras que con el porcentaje más alto de melaza usada en esta investigación (16%) se obtuvo una reducción del 80.552%, demostrando así, que la melaza de caña de azúcar puede ser empleado como impermeabilizante para este tipo de suelos.

**Palabras Clave:** Melaza de Caña, Permeabilidad, Suelos, Subrasante, Ingeniería.

## ABSTRACT

The disrepair of the roads that connect rural communities due to poor soil subgrade treatment, soil type, traffic, among other factors, and the search for new methods to improve the permeability of especially sandy soils, led to work on this research to evaluate the variation of the permeability of sandy soils with the addition of 4%, 8%, 12% and 16% of Sugar Cane Molasses (MCA). In order to achieve the goal, permeability tests were performed on samples of a sandy soil subgrade, using a constant head permeameter. In this way, it was demonstrated that the permeability of sandy soils tends to decrease by incorporating sugar cane molasses, since a percentage of 4% a significant reduction of 18,200% was got, while the highest percentage of molasses used in this research (16%), a reduction of 80.552% was obtained, thus demonstrating that sugarcane molasses can be used as a waterproofing for this type of soil.

**Keywords:** Cane molasses, Permeability, Soils, subgrade, Engineering.



Escaneo electrónicamente por:  
HUGO ALONSO SOLIS  
VITERI

Reviewed by:

Mgs. Hugo Solis Viteri

**ENGLISH PROFESSOR**

C.C. 0603450438

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Antecedentes**

Los caminos vecinales, que por lo general conectan comunidades rurales, están en su mayoría deteriorados, ya sea porque no tiene un buen tratamiento en la subrasante, poco mantenimiento, la inclemencia del clima, el tipo de suelo, el tráfico que por ahí circula, entre otros factores. Esto es especialmente notorio en vías con suelos arenosos, el cual entre otros inconvenientes tiene una alta permeabilidad lo cual puede afectar a su estructura si es usado como subrasante, y peor aún si en las capas inferiores se encuentra compuesto por algún suelo arcilloso o expansivo. Todos estos problemas conllevan a afectaciones a la economía, daños en vehículos, además de comprometer la movilidad y comunicación de las comunidades.

Con el objeto de cambiar las propiedades geotécnicas del suelo se han usado subproductos industriales que muchas veces son considerados como desechos, entre estos podemos mencionar a la melaza de caña de azúcar, cuyos subproductos representan aproximadamente el 40% del peso de la caña molida, además de la ceniza de horno (Anal, 2017). El uso de la melaza para la estabilización de suelos se ha usado en su mayoría en suelos arcillosos, arcilloso-limoso, arcilloso inorgánicos de alta plasticidad, esto ha sido expuesto en distintas investigaciones realizadas a nivel internacional como son: “Effect of Curing Conditions and Freeze-Thaw Cycles on the Strength of an Expansive Soil Stabilized with a Combination of Lime, Jaggery, and Gallnut Powder” (James, Karthickeyan, Chidambaram, Dayanandan, & Karthick, 2018) y “Ground-Granulated-Blast-Furnace-Slag and Sugar Cane Molasses Influence on Stabilization of Claysoil” (Nabeel et al., 2019). Estos trabajos han usado en su mayoría la melaza de caña de azúcar (MCA) para lograr estabilizar suelos, pero se ha notado que no se analizan los efectos en la permeabilidad de los suelos, ante esto surgió la interrogante ¿Cómo influye la Melaza de Caña de Azúcar en la permeabilidad de una subrasante de suelo arenoso?

### **1.2. Planteamiento del Problema**

Gran cantidad de vías vecinales de suelo natural suelen deteriorarse porque no tienen un buen tratamiento en la subrasante, este deterioro es producto de las condiciones climáticas, el tráfico que circula y el tipo de suelo. Esto es especialmente notorio en suelos arenosos, el cual tiene alta permeabilidad. Todo esto produce afectaciones a la economía, daños en vehículos y movilidad de las comunidades.

El presente trabajo pretende aportar con información que ayude a modificar la permeabilidad de una subrasante de suelo arenoso. La idea es mostrar la importancia del aprovechamiento de residuos industriales (melaza de caña de azúcar) para usos ingenieriles. Por esa razón, se buscó reducir el deterioro de las subrasantes de suelo arenoso disminuyendo su permeabilidad, lo que ayudaría a impermeabilizar esta capa impidiendo el paso del agua a través de su estructura y por consiguiente el aumento de la durabilidad, mejorando así la economía, movilidad de las personas, productos, entre otros aspectos.

### **1.3. Justificación**

La presente investigación se enfocó en el estudio de la permeabilidad de un suelo arenoso con porcentajes de adición de MCA, siendo estos de 4%, 8%, 12% y 16%. Este trabajo permite mostrar la influencia de la MCA en la permeabilidad del suelo, si se consigue modificar dicha propiedad, se podría garantizar que la subrasante de suelo arenoso tenga un valor de permeabilidad que permita conducir el agua sobre la superficie de la subrasante hacia las cunetas o drenajes de las vías, mermando así en parte el problema del gran deterioro de los caminos vecinales compuestos con subrasantes de suelo arenoso.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. General**

- Analizar los cambios en la permeabilidad de muestras de suelo arenoso de una subrasante mezclada con melaza de caña de azúcar.

#### **1.4.2. Específicos**

- Establecer mediante la clasificación SUCS el tipo de suelo de las muestras tomadas de una subrasante
- Caracterizar la permeabilidad del suelo combinado con diferentes porcentajes de melaza de caña de azúcar
- Comparar el comportamiento de la permeabilidad en las muestras de suelo con melaza de caña de azúcar.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Estado del Arte

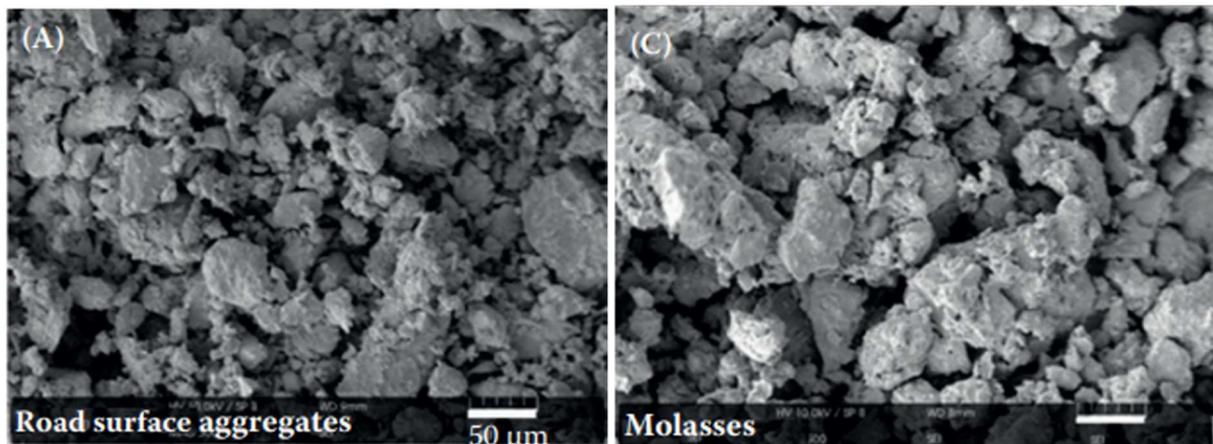
La estabilización de suelos busca mejorar la resistencia mecánica, capacidad de soporte, durabilidad así como la disminución de su sensibilidad frente al agua y condiciones medioambientales desfavorables, para esto la búsqueda de estabilizadores a partir de desechos o subproductos industriales aunque no representen una disminución de costos significativa frente a la estabilización con productos elaborados para esta actividad (Martínez Murillo & Olaya Morales, 2019), evitan que estos desechos sean liberados al ambiente provocando daños al mismo. En la industria de la producción azucarera se obtienen residuos compuestos por basura (bases de hojas secas), bagazo, melaza y lodo prensado, estos subproductos representan aproximadamente el 40% del peso de la caña molida, además de la ceniza de horno (Anal, 2017), por ende al constituir una gran cantidad de material se podría dar un uso ingenieril, productivo y útil a estos desechos.

En estudios realizados, se encontró que la mezcla de melaza de caña de azúcar, cal, polvo de nuez Gallnut se puede usar para estabilizar suelos de tipo CH conocidas como arcillas inorgánicas de alta plasticidad (James et al., 2018), mientras que, los porcentajes que han dado buenos resultados en reducir la expansión y mejorar la estabilidad del suelo empleando únicamente melaza de caña de azúcar (MCA), siendo de 0% al 8% para suelos arcillosos, mientras que, porcentajes mayores reducen la fuerza de unión de las partículas (Nabeel et al., 2019). De esta manera se evidencia que hasta la fecha no se han realizado estudios para un suelo arenoso, ni hecho énfasis en la variabilidad que podría producir la mezcla suelo-melaza en la permeabilidad.

La permeabilidad de un suelo es una medida de su capacidad para permitir el flujo de un fluido a través de él. Los suelos consisten en partículas sólidas con vacíos entre ellas, en general los vacíos están interconectados, lo que permite que el agua pase a través de ellos (American Society of Civil Engineers, 2018), este es el caso de una arena que al ser un suelo granular es considerado “permeable” al agua. Este parámetro puede ser determinado en condiciones saturada y no saturada con la prueba de conductividad hidráulica (permeámetro de cabeza constante) (Galvis Velasco et al., 2021) mismo que constituye un método apropiado para ensayos en suelos granulares y por ende, es apropiado para este estudio.

Por otra parte, la melaza de caña de azúcar ha sido utilizada para evitar el levantamiento de polvo en subrasantes, obteniendo buenos resultados debido a que en el análisis microscópico de las partículas de suelo mezclado con MCA, se observó el aumento de tamaño de partículas (Parsakhoo, Hosseini, Lotfalian, Mohammadi, & Salarijazi, 2020).

En la Figura 1 se presenta una imagen del análisis microscópico de las partículas de suelo fino con y sin melaza, a fin de notar sus diferencias.



**Figura 1.** Efecto aglomerante de la melaza de caña de azúcar.  
**FUENTE:** (Parsakhoo et al., 2020)

Los suelos finos tienden a dispersarse en el ambiente a manera de polvo debido al tamaño que tienen sus partículas, en la Figura 1, se puede observar el efecto producido al mezclar melaza de caña de azúcar con los agregados de la superficie de carretera, notando que en la imagen que se presenta a la izquierda, el tamaño de partículas es menor al de la derecha, siendo esta última la que contiene MCA.

Con lo expuesto se destaca la eficiencia en suelos finos, pero se evidencia que no fue probada en un tramo de vía que presente una capa superficial con suelos granulares, en la cual, la melaza podría producir el mismo efecto aglomerante, lo que reduciría la porosidad y por ende es probable que cambie de alguna forma su permeabilidad.

## 2.2. Suelo

### 2.2.1. Definición

El suelo puede ser definido de diferentes maneras, en el caso ingenieril se puede definir como “una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres vivos que sobre ella se asientan” (Villalaz, 2004).

### 2.2.2. Clasificación

Comúnmente los suelos se identifican como suelos granulares (Gravas y Arenas) y finos (Limos y Arcillas), sin embargo, existen sistemas de clasificación de suelos que ayudan a definir otras características para poder diferenciarlos, para esto dividen los suelos en grupos y subgrupos según la distribución granulométrica, el límite líquido y límite plástico.

#### 2.2.2.1. Clasificación SUCS

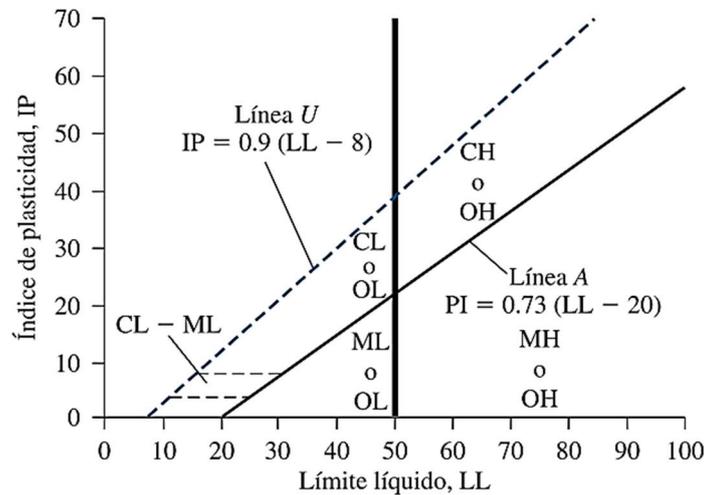
El sistema unificado de clasificación de suelo (Unified Soil Classification System) lo propuso originalmente A. Casagrande en 1942, siendo posteriormente revisado y adoptado por el United States Bureau of Reclamation y el US Army Corps of Engineers, en la Tabla 1, se puede indicar los símbolos que se usan para fines de identificación en el sistema de clasificación de suelos SUCS.

**Tabla 1.**

*Símbolos que se usan en la Clasificación SUCS (Das, 2011)*

Símbolo	G	S	M	C	O	Pt
Descripción	Grava	Arena	Limo	Arcilla	Limos orgánicos y arcilla	Turba y suelos altamente orgánicos
Símbolo	H	L	W	P		
Descripción	Alta Plasticidad	Baja Plasticidad	Bien Graduado	Mal Graduado		

En la Figura 2 se exhibe un gráfico estándar correspondiente a la plasticidad que se usa para este sistema de clasificación de suelos.



**Figura 2.** *Gráfica de Plasticidad (Das, 2011).*

#### 2.2.2.2. Clasificación AASHTO

El sistema de clasificación de suelos AASHTO se basa en los mismos parámetros que el sistema SUCS, pero difiere en su uso, ya que el sistema AASHTO, se restringe a proyectos de carreteras o de caracterización de materiales de relleno. Este Sistema fue propuesto para el Highway Research Board's Committee on Classification of Materials for Subgrades and Granular Type Roads (1945), en la Tabla 2 se puede evidenciar este sistema de clasificación de suelos.

**Tabla 2.***Sistema de Clasificación de suelos de la AASHTO (Das, 2011).*

Clasificación General	Materiales granulares (35% o menos de la muestra total pasa la malla núm. 200.)						
	A-1						
Clasificación de Grupo	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis por malla (% que pasa)							
Malla núm. 10	50máx						
Malla núm. 40	30máx	50máx	51mín				
Malla núm. 200	15máx	25máx	10máx	35máx	35máx	35máx	35máx
Para la fracción que pasa Malla N° 40.							
Límite Líquido (LL)				40máx	41mín	40máx	41mín
Índice de Plasticidad (IP)	6máx		No plástico Arena fina	10máx	10máx	11mín	11mín
Tipo usual de material	Fragmentos de roca, grava y arena				Grava y arena limosa o arcillosa		
Clasificación de la capa	Excelente a buena						
Clasificación General	Materiales de limo y arcilla (más de 35% de la muestra total pasa la malla núm. 200.)						
Clasificación de Grupo	A-4	A-5	A-6	A-7			
Análisis por malla (%) que pasa)							A-7-5 <sup>a</sup> A-7-5 <sup>b</sup>
Malla núm. 10							
Malla núm. 40							
Malla núm. 200	36mín	36mín					
Para la fracción que pasa Malla N° 40							
Límite Líquido (LL)	40máx	41mín		40máx		41mín	
Índice de Plasticidad (IP)	10máx	10máx		11mín		11mín	
Tipo usual de material	Principalmente suelos limosos			Principalmente suelos arcillosos			
Clasificación de la capa	Regular a malo						

<sup>a</sup>Si  $IP \leq LL - 30$ , la clasificación es A-7-5<sup>b</sup>Si  $IP > LL - 30$ , la clasificación es A-7-6

### 2.3. Subrasante

La subrasante es la parte de la corteza terrestre que sirve de cimiento a una estructura de pavimento, también se puede definir como el terreno que conforma la superficie final de la explanación de la vía, es donde se va a asentar las demás capas que conformen la estructura de una vía, este puede estar compuesto por terreno natural o con algún mejoramiento, la buena calidad de la subrasante disminuye el espesor de las demás capas del pavimento.

### 2.4. Propiedades del Suelo

#### 2.4.1. Distribución Granulométrica

Cualquier muestra de suelo cuenta con diferente tamaño de granos de suelo, con el objeto de poder clasificar el suelo de forma adecuada, se debe conocer como está compuesta esa distribución granulométrica. Un suelo de grano grueso se determina por lo general mediante un análisis granulométrico con mallas y para un suelo de grano fino se puede obtener por medio del análisis de hidrómetro (Das, 2011). Se suele usar tamices normalizados con diferentes aberturas, estos se mencionan en la Tabla 3.

**Tabla 3.**

*Tamaños de Malla Estándar.*

Malla núm.	Abertura (mm)	Malla núm.	Abertura (mm)
4	4.750	50	0.300
6	3.350	60	0.250
8	2.360	80	0.180
10	2.000	100	0.150
16	1.180	140	0.106
20	0.850	170	0.088
30	0.600	200	0.075
40	0.425	270	0.053

#### 2.4.2. Contenido de Humedad

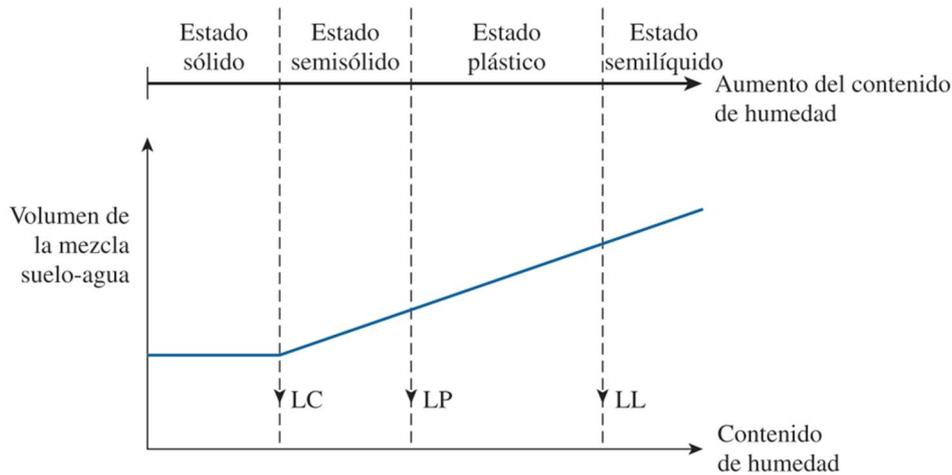
El contenido de humedad del suelo es la relación que existe entre el peso de agua contenida en la muestra en estado natural y el peso de la muestra después de haber sido secada en el horno a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por un tiempo de 24 horas, este contenido se expresa en porcentaje.

#### 2.4.3. Densidad

Se entiende por densidad a la relación de la masa de sólidos y el volumen total ocupado por el suelo, es decir incluyendo los poros.

#### 2.4.4. Límites de Atterberg

También conocidos bajo el nombre de Límites de consistencia, desarrollados por Mauritz Atterberg para describir la consistencia de los suelos compuestos por grano fino y humedades diferentes (Das, 2011). Para la determinación de estos límites se utiliza el equipo de copa de Casagrande y se contabiliza el número de golpes. En la Figura 3, se muestra la definición gráfica de los límites de Atterberg.



*Figura 3. Definición de los límites de Atterberg (Das, 2011)*

##### 2.4.4.1. Límite Líquido

El límite líquido se define como el contenido de humedad en porcentaje con el cual el suelo cambia de un estado plástico a un estado líquido.

##### 2.4.4.2. Límite Plástico

De manera similar, el límite plástico se define como el contenido de humedad, en porcentaje, con el cual el suelo cambia de un estado semisólido a un estado plástico.

#### 2.5. Permeabilidad

En mecánica de suelos e ingeniería de cimentaciones es necesario conocer la cantidad de agua que pasa a través de un suelo en unidad de tiempo, ya que los vacíos existentes dentro del suelo hacen que sea posible que el agua fluya por ellos (Das, 2011).

A continuación, en la

Tabla 4 se visualizan los intervalos de permeabilidad hidráulica para varios suelos.

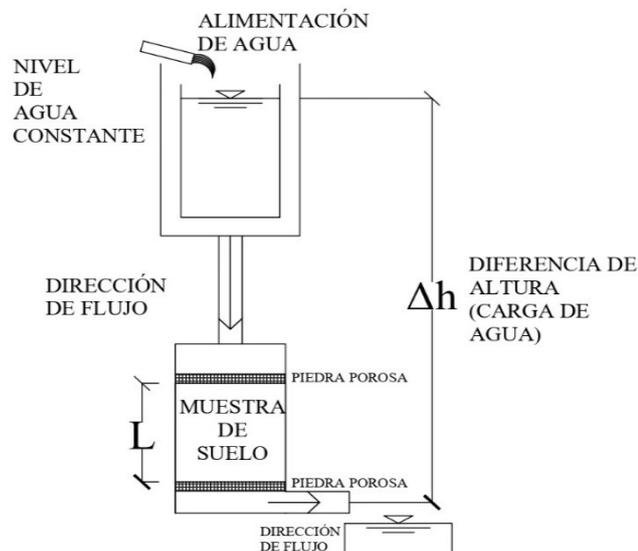
**Tabla 4.**

*Intervalo de la permeabilidad hidráulica para varios suelos (Das, 2011)*

<b>Tipo de Suelo</b>	<b>Permeabilidad hidráulica, k (cm/s)</b>
Grava media a gruesa	Mayor que $10^{-1}$
Arena gruesa a fina	$10^{-1}$ a $10^{-3}$
Arena fina, arena limosa	$10^{-3}$ a $10^{-5}$
Limo, limo arcilloso, arcilla limosa	$10^{-4}$ a $10^{-6}$
Arcillas	$10^{-7}$ o menor

### 2.5.1. Permeámetro de Carga Constante

El permeámetro de carga constante es aquel donde la carga de agua se mantiene siempre en un mismo nivel, para lo cual se debe garantizar el suministro de agua en el depósito que alimenta al equipo de permeabilidad, esto puede ser observado en el esquema que se presenta en la Figura 4.



*Figura 4. Esquema de Sistema Hidráulico de Carga constante.*

### 2.6. Melaza de Caña de Azúcar (MCA)

También conocida como miel de caña, es un desecho de la industria azucarera la cual contiene minerales compuestos e incluso vitaminas (Anal, 2017). La melaza se caracteriza por su olor dulce, color ámbar oscuro y consistencia espesa y pegajosa.

#### 2.6.1. Composición

En la Tabla 5 se detalla la composición química que generalmente tiene la melaza de caña de azúcar:

**Tabla 5.**

*Composición de la melaza de caña de azúcar (Chávez, 1998).*

<b>COMPOSICIÓN</b>	<b>VALOR</b>
Material seco, que contiene:	80.5 %
Fuentes de Carbono	28 – 33 %
Fuentes de Nitrógeno	0.4 – 1.5 %
Azúcares, que son:	73.1 %
Sacarosa	45.5 %
Rafinosa	0 %
Azúcares Invertidos	21.2 %
Otros azúcares	5.5 %
Compuestos orgánicos	15.5 %
Ácido glutámico	2.4 %
Otras fuentes nitrógeno	3.1 %
Otros aminoácidos	0 %
Compuestos inorgánicos	11.7 %
K <sub>2</sub> O	5.3 %
Na <sub>2</sub> O	0.1 %
CaO	0.2 %
MgO	1.0 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0 %
SiO <sub>2</sub>	0 %
Cl	1.1 %
So <sub>2</sub> + SO <sub>3</sub>	2.3 %
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.8 %
N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0 %
Biotina	120 mg/100g
Ácido fólico	3.8 mg/100g
Ácido pantoténico	2.14 mg/100g
Niacinamida	2.1 mg/100g
Tiamina	830 mg/100g
Riboflavina	250 mg/100g
Piridoxina	650 mg/100g

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA**

### **3.1. Enfoque**

El enfoque de nuestra investigación fue cuantitativo debido a que se utilizó datos numéricos obtenidos en los ensayos ejecutados en el laboratorio para descubrir el efecto que produce la melaza de caña de azúcar (MCA) en muestras de suelo arenoso de una subrasante.

### **3.2. Alcance**

La presente investigación tuvo un alcance explicativo debido a que realizó un experimento, donde se analizó los cambios en la permeabilidad de muestras de suelo arenoso de una subrasante mezclada con diferentes porcentajes de melaza de caña de azúcar.

### **3.3. Variables**

La variable independiente de la investigación fue la melaza de caña de azúcar (MCA) que varió en porcentaje de dosificación.

Por otra parte, la variable dependiente fue la permeabilidad del suelo en estudio.

### **3.4. Experimento**

La investigación se basa en un diseño experimental puro, en el cual se controló los porcentajes de melaza de caña de azúcar mezclada con el suelo en estudio con el objeto de analizar los cambios en la permeabilidad.

### **3.5. Tratamiento**

Se incluyó cantidades de melaza de caña de azúcar en cantidades controlados, a fin identificar porcentajes que provoquen cambios significativos.

### **3.6. Unidades Experimentales**

Las probetas de suelo arenoso fueron estudiadas con diferente porcentaje de adición de melaza de caña de azúcar a fin de medir el coeficiente de permeabilidad.

La medida de referencia para realizar la comparación del coeficiente de permeabilidad del suelo fue [m/s].

### **3.7. Población de Estudio y Muestreo**

#### **3.7.1. Población de Estudio**

Las muestras de suelo arenoso fueron obtenidas de una vía ubicada en la ciudad de Riobamba, Parroquia Licán, Barrio Nuevo Riobamba.

La melaza de caña de azúcar (MCA) se obtuvo del local comercial "INCAGRO".

#### **3.7.2. Muestreo**

Cada 250 m. en la Vía antes mencionada se obtuvo una calicata de 1m x 1m x 0.30m, eliminando previamente 0.10 m de capa vegetal, profundidad asumida visualmente en la cual ya no se encuentra material orgánico con el objeto de obtener la muestra solo de la subrasante. Las coordenadas de las 5 calicatas levantadas se especifican en la Tabla 6.

**Tabla 6.**

*Cuadro de coordenadas de las Calicatas.*

<i>Nº</i>	<i>Coordenadas</i>	
	<i>Norte</i>	<i>Este</i>
Calicata 1	9818824.134	754557.099
Calicata 2	9818870.016	754773.211
Calicata 3	9818911.372	754989.195
Calicata 4	9819010.706	755233.923
Calicata 5	9819110.107	755470.746

La melaza de caña de azúcar se obtuvo en “INCAGRO”, misma que procede del Ingenio Valdez formalmente Compañía Azucarera Valdez S.A. cantón Milagro.

### **3.8. Recolección de datos e instrumentos**

Para la recolección de datos se usó las siguientes normativas:

- **Granulometría**

“Método de Prueba Estándar para Distribución del Tamaño de Partícula (Gradación) de Suelos Mediante el Análisis de Tamices” (American society for testing and materials ASTM, 2017c)

**Norma de Ensayo:** ASTM D6913 / D6913D – 17

- **Clasificación de Suelos**

“Practica Estándar para la Clasificación de Suelos para Propósitos de Ingeniería (Sistema de Clasificación Unificada de Suelos)” (American society for testing and materials ASTM, 2017a).

**Norma de Ensayo:** ASTM D2487-17

- **Límite líquido y Límite Plástico**

“Método de Ensayo Estándar para Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos” (American society for testing and materials ASTM, 2017b).

**Norma de Ensayo:** ASTM D4318-17

- **Gravedad Específica**

“Método de Ensayo Estándar para Gravedad Específica de los Sólidos del Suelo por Picnómetro de Agua” (American society for testing and materials ASTM, 2014).

**Norma de Ensayo:** ASTM D854-14

- **Densidad de Suelo in Situ**

“Método de Ensayo Estándar para Densidad y Peso Unitario del Suelo en Sitio por el Método Cono de Arena” (American society for testing and materials ASTM, 2000).

**Norma de Ensayo:** ASTM D1556-00

- **Permeabilidad en Suelos Granulares**

“Método de Ensayo Estándar para la Medición de la Conductividad Hidráulica de Suelos Granulares (Carga Constante)” (American society for testing and materials ASTM, 2022).

### **Norma de Ensayo:** ASTM D2434-22

Se diseñó y construyó el equipo para medir la Permeabilidad, en específico al tratarse de un suelo granular, se usó un ensayo de Permeabilidad de Carga Constante. “El tipo habitual de celda es de 75 mm de diámetro y 260 mm de largo internamente entre placas perforadas, la celda más grande tiene 114 mm de diámetro y 460 mm de largo internamente” (Head, 2011). En base a esto, se diseñó un permeámetro con las siguientes dimensiones de cápsula: 100 mm de diámetro externo, 92 mm de diámetro interno y 280 mm de alto.

#### • **Reconstitución de muestras**

Con el objeto de simular las condiciones de las muestras obtenidas en campo, en humedad natural y un 80% de la densidad obtenida en el Ensayo de Cono y Arena, se procedió a estandarizar un procedimiento para colocar todas las muestras dentro de la Cápsula del Permeámetro de Carga Constante, este proceso se detalla a continuación:

1. Se calculó la masa seca de suelo que ocupa el volumen en la cápsula ya determinado, esta masa representa el 80% del porcentaje de la densidad obtenida in situ.
2. Se mezcla el suelo con el porcentaje de MCA (0%, 4%, 8%, 12%, 16%) en función de la masa seca que se vaya a ensayar añadiendo a esto el porcentaje de humedad que se obtuvo in situ.
3. Se coloca en la cápsula el suelo ya mezclado con agua y melaza en tres capas iguales, mismas que se compactan distribuyendo 25 golpes uniformemente, esto usando un apisonador que se deja caer desde una altura de 10 cm.
4. Se controla que ingrese toda la masa de suelo en el volumen señalado en la cápsula.

### **3.9. Métodos de análisis y procesamiento de datos**

#### **Fase de muestreo**

Luego de haber obtenido las muestras de suelo arenoso de una subrasante, además de la melaza de caña de azúcar, se realizaron los ensayos en el siguiente orden:

#### **Fase de Ensayos**

1. Determinación in situ de la densidad del Suelo usando el Método de Cono y Arena
2. Obtención de muestras para determinar la humedad natural del suelo.
3. Ejecución del ensayo de Granulometría, Límite Líquido, Límite Plástico y Clasificación de Suelos mediante el sistema SUCS sin adición de MCA.
4. Ensayo para la obtención del valor de gravedad específica.
5. Debido a que se obtuvo en la Calicata 1 y Calicata 5 un suelo con alto contenido de Grava, con el objeto de poder comparar los resultados se procedió a eliminar el material retenido en la malla #4, es decir las gravas, además se usó una densidad promedio de las demás calicatas, ya que, al no tener gravas ese tipo de suelo su densidad iba a bajar.
6. Determinación del coeficiente de permeabilidad con la adición de los distintos porcentajes de MCA.

#### **Fase de Análisis de Resultados**

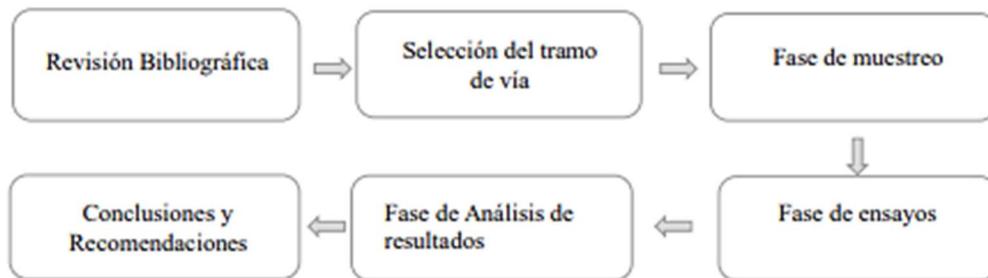
7. Interpretación de Resultados
8. Ya que, la estadística descriptiva es la rama de la estadística que recolecta, analiza y caracteriza un conjunto de datos con el objetivo de describir las características

y comportamientos de este conjunto (Requena, 2014). Debido a que la información del proyecto en estudio se recolectó en ensayos de suelos, se procedió mediante el uso de estadística descriptiva a realizar gráficos e interpretaciones, analizándose así, el comportamiento de la permeabilidad de las muestras de suelo con melaza de caña de azúcar (MCA).

### Fase de Conclusiones y Recomendaciones

9. Desarrollo de Conclusiones y Recomendaciones en base a los ensayos ejecutados y los datos obtenidos.

### 3.10. Diagrama de Flujo



*Figura 5. Diagrama de la metodología (Fases)*

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Resultados

#### 4.1.1. Caracterización de la melaza de caña de azúcar

##### Determinación de la Densidad

La melaza de caña de azúcar empleada en la presente investigación presenta una densidad determinada en laboratorio con un valor de:

$$1.2998 \frac{g}{cm^3}$$

##### Contenido de Humedad

El contenido de humedad correspondiente a la melaza de caña empleada para la presente investigación tiene un valor obtenido en laboratorio de:

$$41.97\%$$

#### 4.1.2. Caracterización del suelo en estudio

##### Granulometría y Límites de Atterberg

Luego de realizar el ensayo de Granulometría y tabular los resultados de la Calicata 1 como se evidencia en la Tabla 7 y Tabla 8, se obtuvo según la clasificación SUCS una arena mal graduada con Grava (SP) y según la clasificación AASHTO un suelo tipo (A-2-4).

##### Calicata 1.1

Masa Inicial 1500 gr.

##### Tabla 7.

Resultado del Ensayo de Granulometría de la Calicata 1.1

Apertura (mm)	Tamiz	Retiene	Masa Corregida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
25.4	1''	0	0.000	0	0	100.00
19	3/4''	0	0.000	0.00	0	100.00
12.5	1/2''	40.0	40.196	2.68	2.68	97.32
9.5	3/8''	63.9	64.213	4.28	6.96	93.04
4.75	N° 4	187.1	188.015	12.53	19.49	80.51
2	N° 10	240.2	241.375	16.09	35.59	64.41
0.425	N° 40	529.4	531.989	35.47	71.05	28.95
0.15	N° 100	329.3	330.910	22.06	93.11	6.89
0.075	N° 200	79.1	79.487	5.30	98.41	1.59
	Bandeja	23.70	23.816	1.59	100.000	
	Total	1492.7	1500	100		

Coefficiente de Uniformidad,  $C_u = 8.401$

Coefficiente de Curvatura,  $C_c = 0.596$

Límite Líquido, LL (%) = NP

Límite Plástico, LP (%) = NP

Índice Plástico, IP (%) = NP

**Calicata 1.2**

Masa Inicial 1500 gr.

**Tabla 8.***Resultado del Ensayo de Granulometría de la Calicata 1.2*

Apertura (mm)	Tamiz	Retiene	Masa Corregida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
25.4	1''	0	0.000	0	0	100.00
19	3/4''	0	0.000	0.00	0	100.00
12.5	1/2''	75.1	75.185	5.01	5.01	94.99
9.5	3/8''	77.1	77.187	5.15	10.16	89.84
4.75	N° 4	158.1	158.279	10.55	20.71	79.29
2	N° 10	231.2	231.462	15.43	36.14	63.86
0.425	N° 40	464.4	464.927	31.00	67.14	32.86
0.15	N° 100	383.3	383.735	25.58	92.72	7.28
0.075	N° 200	83.1	83.194	5.55	98.26	1.74
	Bandeja	26.00	26.030	1.74	100.000	
	Total	1498.3	1500	100		

**Coefficiente de Uniformidad, Cu= 8.910****Coefficiente de Curvatura, Cc= 0.433****Límite Líquido, LL (%) = NP****Límite Plástico, LP (%) = NP****Índice Plástico, IP (%) = NP**

El Ensayo de Granulometría de la Calicata 2 como se expone en la Tabla 9 y Tabla 10 dio como resultado un suelo tipo (SP), es decir una Arena mal graduada en función de la clasificación SUCS y según la Clasificación AASHTO, resultó ser un suelo tipo (A-3).

**Calicata 2.1**

Masa Inicial 1500 gr.

**Tabla 9.***Resultado del Ensayo de Granulometría de la Calicata 2.1*

Apertura (mm)	Tamiz	Retiene	Masa Corregida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
25.4	1''	0	0.000	0	0	100.00
19	3/4''	0	0.000	0.00	0	100.00
12.5	1/2''	0.0	0.000	0.00	0.00	100.00
9.5	3/8''	0	0.000	0.00	0.00	100.00
4.75	N° 4	3	3.001	0.20	0.20	99.80
2	N° 10	3	3.001	0.20	0.40	99.60
0.425	N° 40	393.3	393.405	26.23	26.63	73.37
0.15	N° 100	889.7	889.937	59.33	85.96	14.04
0.075	N° 200	181.1	181.148	12.08	98.03	1.97
	Bandeja	29.50	29.508	1.97	100.000	
	Total	1499.6	1500	100		

**Coefficiente de Uniformidad, Cu= 2.857**

**Coefficiente de Curvatura, Cc= 1.422**

**Límite Líquido, LL (%) = NP**

**Límite Plástico, LP (%) = NP**

**Índice Plástico, IP (%) = NP**

### **Calicata 2.2**

Masa Inicial 1500 gr.

#### **Tabla 10.**

*Resultado del Ensayo de Granulometría de la Calicata 2.2*

<b>Apertura (mm)</b>	<b>Tamiz</b>	<b>Retiene</b>	<b>Masa Corregida (gr)</b>	<b>% Retenido</b>	<b>% Retenido Acumulado</b>	<b>% que pasa</b>
25.4	1''	0	0.000	0	0	100.00
19	3/4''	0	0.000	0.00	0	100.00
12.5	1/2''	0.0	0.000	0.00	0.00	100.00
9.5	3/8''	0	0.000	0.00	0.00	100.00
4.75	Nº 4	2.6	2.602	0.17	0.17	99.83
2	Nº 10	2.5	2.502	0.17	0.34	99.66
0.425	Nº 40	315.2	315.473	21.03	21.37	78.63
0.15	Nº 100	972.4	973.243	64.88	86.25	13.75
0.075	Nº 200	174	174.151	11.61	97.86	2.14
	Bandeja	32.00	32.028	2.14	100.000	
	Total	1498.7	1500	100		

**Coefficiente de Uniformidad, Cu= 2.787**

**Coefficiente de Curvatura, Cc= 1.422**

**Límite Líquido, LL (%) = NP**

**Límite Plástico, LP (%) = NP**

**Índice Plástico, IP (%) = NP**

En los dos ensayos granulométricos llevados a cabo en la muestra de la Calicata 3, se obtuvo según la clasificación SUCS un suelo tipo (SP), es decir una Arena mal Graduada, a su vez según la clasificación AASHTO, se tiene que es tipo (A-3), estos resultados se pueden observar en la Tabla 11 y Tabla 12.

**Calicata 3.1**

Masa Inicial 1500 gr.

**Tabla 11.***Resultado del Ensayo de Granulometría de la Calicata 3.1*

Apertura (mm)	Tamiz	Retiene	Masa Corregida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
25.4	1''	0	0.000	0	0	100.00
19	3/4''	0	0.000	0.00	0	100.00
12.5	1/2''	0.0	0.000	0.00	0.00	100.00
9.5	3/8''	0	0.000	0.00	0.00	100.00
4.75	N° 4	1	1.001	0.07	0.07	99.93
2	N° 10	4.9	4.903	0.33	0.39	99.61
0.425	N° 40	92.1	92.155	6.14	6.54	93.46
0.15	N° 100	1134.9	1135.581	75.71	82.24	17.76
0.075	N° 200	221.2	221.333	14.76	97.00	3.00
	Bandeja	45.00	45.027	3.00	100.000	
	Total	1499.1	1500	100		

**Coefficiente de Uniformidad, Cu= 2.796****Coefficiente de Curvatura, Cc= 1.268****Límite Líquido, LL (%) = NP****Límite Plástico, LP (%) = NP****Índice Plástico, IP (%) = NP****Calicata 3.2**

Masa Inicial 1500 gr.

**Tabla 12.***Resultado del Ensayo de Granulometría de la Calicata 3.2*

Apertura (mm)	Tamiz	Retiene	Masa Corregida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
25.4	1''	0	0.000	0	0	100.00
19	3/4''	0	0.000	0.00	0	100.00
12.5	1/2''	0.0	0.000	0.00	0.00	100.00
9.5	3/8''	0	0.000	0.00	0.00	100.00
4.75	N° 4	0.9	0.901	0.06	0.06	99.94
2	N° 10	4.7	4.704	0.31	0.37	99.63
0.425	N° 40	130.1	130.204	8.68	9.05	90.95
0.15	N° 100	1097.9	1098.779	73.25	82.31	17.69
0.075	N° 200	217.2	217.374	14.49	96.80	3.20
	Bandeja	48.00	48.038	3.20	100.000	
	Total	1498.8	1500	100		

**Coefficiente de Uniformidad, Cu= 2.842****Coefficiente de Curvatura, Cc= 1.284**

**Límite Líquido, LL (%) = NP**

**Límite Plástico, LP (%) = NP**

**Índice Plástico, IP (%) = NP**

La Calicata 4, dio como resultado un suelo tipo (SP), específicamente una Arena mal Graduada, esto según la clasificación SUCS, y de tipo (A-3), según la Clasificación AASHTO, el resultado de esta granulometría esta evidenciado en la Tabla 13 y Tabla 14.

**Calicata 4.1**

Masa Inicial 1500 gr.

**Tabla 13.**

*Resultado del Ensayo de Granulometría de la Calicata 4.1*

Apertura (mm)	Tamiz	Retiene	Masa Corregida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
25.4	1''	0	0.000	0	0	100.00
19	3/4''	0	0.000	0.00	0	100.00
12.5	1/2''	0.9	0.900	0.06	0.06	99.94
9.5	3/8''	4.6	4.602	0.31	0.37	99.63
4.75	N° 4	41	41.016	2.73	3.10	96.90
2	N° 10	69.1	69.128	4.61	7.71	92.29
0.425	N° 40	289.2	289.316	19.29	27.00	73.00
0.15	N° 100	921.7	922.069	61.47	88.47	11.53
0.075	N° 200	134.1	134.154	8.94	97.41	2.59
	Bandeja	38.80	38.816	2.59	100.000	
	Total	1499.4	1500	100		

**Coefficiente de Uniformidad, Cu= 2.771**

**Coefficiente de Curvatura, Cc= 1.513**

**Límite Líquido, LL (%) = NP**

**Límite Plástico, LP (%) = NP**

**Índice Plástico, IP (%) = NP**

#### Calicata 4.2

Masa Inicial 1500 gr.

**Tabla 14.**

*Resultado del Ensayo de Granulometría de la Calicata 4.2*

Apertura (mm)	Tamiz	Retiene	Masa Corregida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
25.4	1''	0	0.000	0	0	100.00
19	3/4''	0	0.000	0.00	0	100.00
12.5	1/2''	2.0	2.001	0.13	0.13	99.87
9.5	3/8''	10	10.005	0.67	0.80	99.20
4.75	N° 4	28	28.013	1.87	2.67	97.33
2	N° 10	77.1	77.136	5.14	7.81	92.19
0.425	N° 40	219.2	219.302	14.62	22.43	77.57
0.15	N° 100	895.7	896.118	59.74	82.17	17.83
0.075	N° 200	201.2	201.294	13.42	95.59	4.41
	Bandeja	66.10	66.131	4.41	100.000	
	Total	1499.3	1500	100		

**Coefficiente de Uniformidad, Cu= 3.169**

**Coefficiente de Curvatura, Cc= 1.364**

**Límite Líquido, LL (%) = NP**

**Límite Plástico, LP (%) = NP**

**Índice Plástico, IP (%) = NP**

El Ensayo de Granulometría de la Calicata 5 arrojó como resultado según la clasificación SUCS, un suelo tipo (SP), es decir Arena mal Graduada con Grava, y según la clasificación AASHTO se obtuvo un suelo (A-2-4) como se indica en la Tabla 15 y Tabla 16.

#### Calicata 5.1

Masa Inicial 1500 gr.

**Tabla 15.**

*Resultado del Ensayo de Granulometría de la Calicata 5.1*

Apertura (mm)	Tamiz	Retiene	Masa Corregida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
25.4	1''	0	0.000	0	0	100.00
19	3/4''	0	0.000	0.00	0	100.00
12.5	1/2''	34.7	34.709	2.31	2.31	97.69
9.5	3/8''	53.7	53.714	3.58	5.89	94.11
4.75	N° 4	149.1	149.140	9.94	15.84	84.16
2	N° 10	189.2	189.250	12.62	28.45	71.55
0.425	N° 40	407.3	407.409	27.16	55.61	44.39
0.15	N° 100	461.4	461.523	30.77	86.38	13.62
0.075	N° 200	135.1	135.136	9.01	95.39	4.61
	Bandeja	69.10	69.118	4.61	100.000	
	Total	1499.6	1500	100		

**Coefficiente de Uniformidad, Cu= 11.035**

**Coefficiente de Curvatura, Cc= 0.610**

**Límite Líquido, LL (%) = NP**

**Límite Plástico, LP (%) = NP**

**Índice Plástico, IP (%) = NP**

**Calicata 5.2**

Masa Inicial 1500 gr.

**Tabla 16.**

*Resultado del Ensayo de Granulometría de la Calicata 5.2*

Apertura (mm)	Tamiz	Retiene	Masa Corregida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
25.4	1''	0	0.000	0	0	100.00
19	3/4''	0	0.000	0.00	0	100.00
12.5	1/2''	43.5	43.523	2.90	2.90	97.10
9.5	3/8''	45.9	45.924	3.06	5.96	94.04
4.75	N° 4	136.1	136.173	9.08	15.04	84.96
2	N° 10	172.1	172.192	11.48	26.52	73.48
0.425	N° 40	400.3	400.514	26.70	53.22	46.78
0.15	N° 100	452.4	452.641	30.18	83.40	16.60
0.075	N° 200	176.7	176.794	11.79	95.18	4.82
	Bandeja	72.20	72.239	4.82	100.000	
	Total	1499.2	1500	100		

**Coefficiente de Uniformidad, Cu= 10.842**

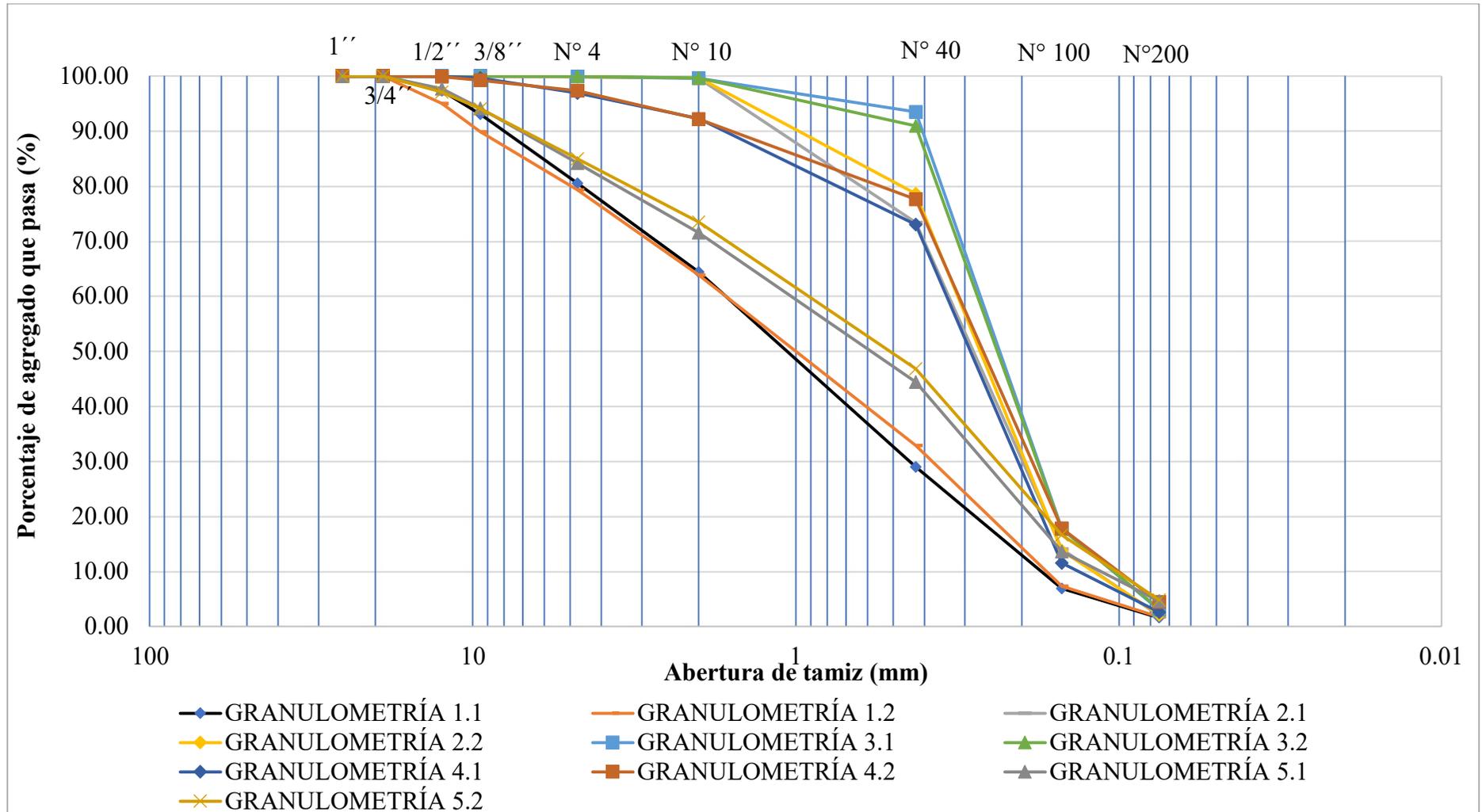
**Coefficiente de Curvatura, Cc= 0.611**

**Límite Líquido, LL (%) = NP**

**Límite Plástico, LP (%) = NP**

**Índice Plástico, IP (%) = NP**

A continuación, en la Figura 6 se aprecian las gráficas correspondientes a cada granulometría realizada.



**Figura 6.** Gráficas de Granulometrías.

## Densidades en Campo

Es necesario determinar el contenido de humedad y las densidades in situ para calcular las cantidades que van a ser empleadas en las mezclas suelo-melaza.

**Tabla 17.**

*Resultado del Ensayo de Densidades en Campo por el Método de Cono y Arena*

Calicata	Humedad [%]	Densidad Húmeda [g/cm <sup>3</sup> ]	Densidad Seca [g/cm <sup>3</sup> ]
1	6.48	2.346	2.203
2	6.42	1.895	1.780
3	6.45	1.899	1.784
4	6.46	1.907	1.791
5	6.42	2.713	2.549
<b>Promedio</b>	<b>6.45</b>		

Como se exhibe en la Tabla 17, el contenido de humedad es similar en todas las calicatas, razón por la cual se utilizará una humedad promedio de 6.45%.

## Gravedad Específica

Para la caracterización de nuestro suelo en estudio, es necesario conocer la gravedad específica, misma que en laboratorio se obtuvo un valor de 2.6664 [-].

### 4.1.3. Influencia de la melaza en la permeabilidad de suelos granulares

Con los datos obtenidos en los ensayos antes mencionados, se realizaron varias probetas para ensayarlas y obtener sus coeficientes de permeabilidad (K), tal como se presenta a continuación:

**Tabla 18.**

*Resultados del Ensayo de Permeabilidad*

Calicata	PORCENTAJE DE ADICIÓN DE MELAZA					
	0.00%	4.00%	8.00%	12.00%	16.00%	
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD [m/s] (x E-05)	1	4.42779	3.53202	3.06641	2.27569	0.80398
		4.18237	3.57246	3.05880	2.32726	0.81263
	2	4.14371	3.40459	3.02847	2.17442	0.88375
		4.1249	3.28662	3.11035	2.25056	0.82578
	3	4.14555	3.31972	3.07135	2.04623	0.84057
		4.23949	3.35145	3.04924	2.00140	0.84873
	4	4.28606	3.37989	3.05929	2.22635	0.82463
		4.37041	3.70123	3.01154	2.13789	0.80443
	5	4.36247	3.71583	3.00397	2.29090	0.81117
		4.33986	3.60167	3.14883	2.26677	0.83354
<b>PROMEDIO</b>	4.26226	3.48655	3.06082	2.19975	0.82892	

En la Tabla 18 se incluyen los porcentajes de adición de melaza, así como la muestra patrón con 0.0%, misma que se encuentra dentro del intervalo de permeabilidad para una arena fina ( $10^{-3}$  a  $10^{-5}$  cm/s) que se muestra en la

Tabla 4; esto transformado a nuestras unidades sería ( $10^{-5}$  a  $10^{-7}$  m/s ). A través de la muestra patrón se realizaron las respectivas comparaciones y análisis para cada porcentaje de adición de melaza de caña de azúcar.

## DISCUSIÓN

### 4.1.1. Caracterización del Suelo

Los Ensayos de Caracterización de Suelos en las 5 Calicatas levantadas, dio como resultado tipos de suelos similares, tal y como se aprecia en la Tabla 19.

**Tabla 19.**

*Comparación de Resultados de Caracterización de Suelos.*

RESULTADO	CALICATA 1		CALICATA 2		CALICATA 3		CALICATA 4		CALICATA 5	
	ENSAYO 1.1	ENSAYO 1.2	ENSAYO 2.1	ENSAYO 2.2	ENSAYO 3.1	ENSAYO 3.2	ENSAYO 4.1	ENSAYO 4.2	ENSAYO 5.1	ENSAYO 5.2
CLASIFICACIÓN SUCS	SP Arena Mal Graduada con Grava	SP Arena Mal Graduada con Grava	SP Arena Mal Graduada	SP (Arena Mal Graduada)	SP (Arena Mal Graduada)	SP (Arena Mal Graduada con Grava)	SP (Arena Mal Graduada con Grava)			
CLAS. AASHTO	A-2-4	A-2-4	A-3	A-3	A-3	A-3	A-3	A-3	A-2-4	A-2-4
LL (%)	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
LP (%)	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
IP (%)	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
H (%)	6.48		6.42		6.45		6.46		6.42	
Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.346		1.895		1.899		1.907		2.713	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.203		1.78		1.784		1.791		2.549	
Gs a 20°C (-)	2.66		2.653		2.699		2.645		2.675	

La similitud antes mencionada se evidencia en los resultados de las calicatas 2, 3, 4, a su vez las calicatas 1 y 5, tienen un exceso de gravas a comparación a las primeras. En todos los casos se trata de un suelo tipo SP según la clasificación SUCS, debido a esto y como se mencionó en la metodología se optó por eliminar el material retenido en la malla N° 4, con esto se logró que los resultados del total de calicatas levantadas puedan ser comparados entre sí, además de ello, se empleó un porcentaje de humedad promedio de 6.45%, teniendo de esta manera más datos que indiquen de forma más acertada la tendencia del coeficiente de permeabilidad con adición de MCA y sin ella.

#### 4.1.2. Proporciones en peso y volumen

Al eliminar el material retenido en la malla N° 4, para las calicatas 1 y 5 la densidad de estas cambió, razón por la cual, para la dosificación de proporciones suelo-melaza se empleó una densidad promedio con un valor de 1.785 g/cm<sup>3</sup> para estas calicatas, resultado obtenido al promediar los tres valores restantes, tal como se muestra en la Tabla 20.

**Tabla 20.**

*Densidades empleadas para proporciones suelo-melaza.*

Calicata	Humedad [%]	Densidad Seca [g/cm <sup>3</sup> ]
1	6.48	1.785
2	6.42	1.780
3	6.45	1.784
4	6.46	1.791
5	6.42	1.785
<b>Promedio</b>	<b>6.45</b>	

En la Tabla 21 y Tabla 22 se presenta la masa de suelo seco usado para ejecutar los ensayos, a su vez en base a esto se muestra además la cantidad tanto de melaza y agua empleada.

**Tabla 21.**

*Masas empleadas para los ensayos suelo-melaza.*

	Valor
Volumen cápsula (cm <sup>3</sup> )	1063.62
% de AGUA	6.45%
% Densidad Real	80%
H (cm) cápsula (utilizable)	16
Diámetro Interno (cm)	9.2

	CALICATA 1	CALICATA 2	CALICATA 3	CALICATA 4	CALICATA 5
<b>Densidad Suelo (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1.785	1.78	1.784	1.791	1.785
<b>80% Densidad Suelo (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1.428	1.424	1.4272	1.4328	1.428
<b>Masa Seca Suelo (g)</b>	1518.846	1514.591	1517.995	1523.951	1518.846
<b>Masa Agua</b>	97.97	97.69	97.91	98.29	97.97

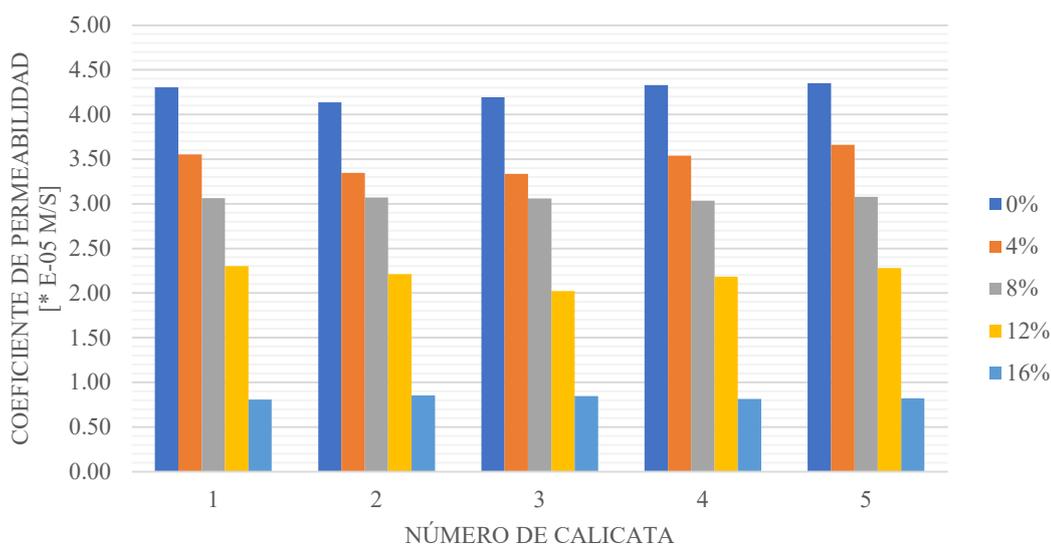
**Tabla 22.**

*Masas de melaza empleadas para los ensayos según porcentaje.*

PORCENTAJE	MASA DE MELAZA (g)				
	CALICATA 1	CALICATA 2	CALICATA 3	CALICATA 4	CALICATA 5
0%	0	0	0	0	0
4%	60.75	60.58	60.72	60.96	60.75
8%	121.51	121.17	121.44	121.92	121.51
12%	182.26	181.75	182.16	182.87	182.26
16%	243.02	242.33	242.88	243.83	243.02

#### 4.1.3. Coeficiente de Permeabilidad

A continuación, en la Figura 7 se exponen los valores obtenidos para el coeficiente de permeabilidad en diferentes proporciones de adición de melaza de caña de azúcar.



**Figura 7.** Valores del Coeficiente de Permeabilidad según el porcentaje de adición de MCA.

Cabe recalcar que el 0% de adición de melaza de caña, corresponde a la muestra

control, misma que se utilizó como punto de referencia para la presente investigación.

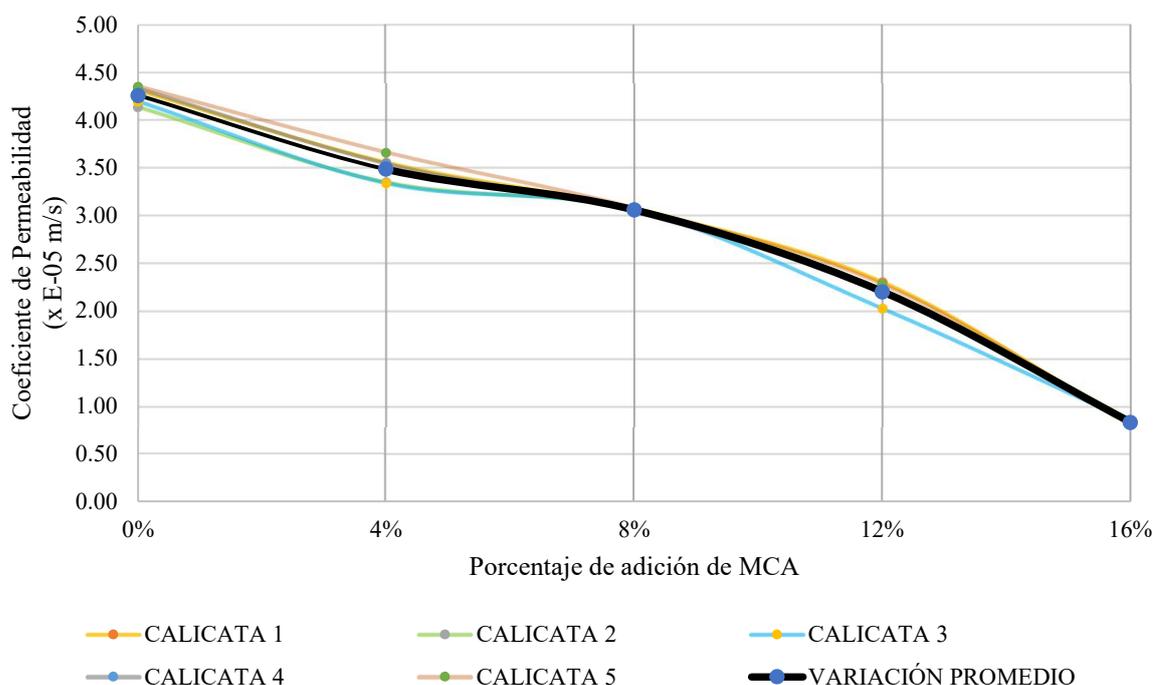
Como se indica en la Tabla 23, la muestra patrón (0% de MCA) obtuvo un valor promedio de 4.26226E-05 m/s para el coeficiente de permeabilidad, mientras que al adicionar la melaza de caña se obtuvieron valores de 3.48655E-05, 3.06082E-05, 2.19975E-05 y 8.28920E-06 m/s para los porcentajes de 4%, 8%, 12% y 16% respectivamente. Esto nos indica que se obtuvo una disminución considerable del coeficiente de permeabilidad, que expresado a manera de porcentaje tenemos un valor de 18.200% para el 4 % de adición de MCA, 28.188% para el 8% de adición de MCA, 48.390% para el 12% de adición y finalmente 80.552% para el 16% de adición. Cabe recalcar que todos estos porcentajes de disminución del coeficiente de permeabilidad fueron calculados en base a la muestra patrón.

**Tabla 23.**

*Comparación de Resultados del Ensayo de Permeabilidad.*

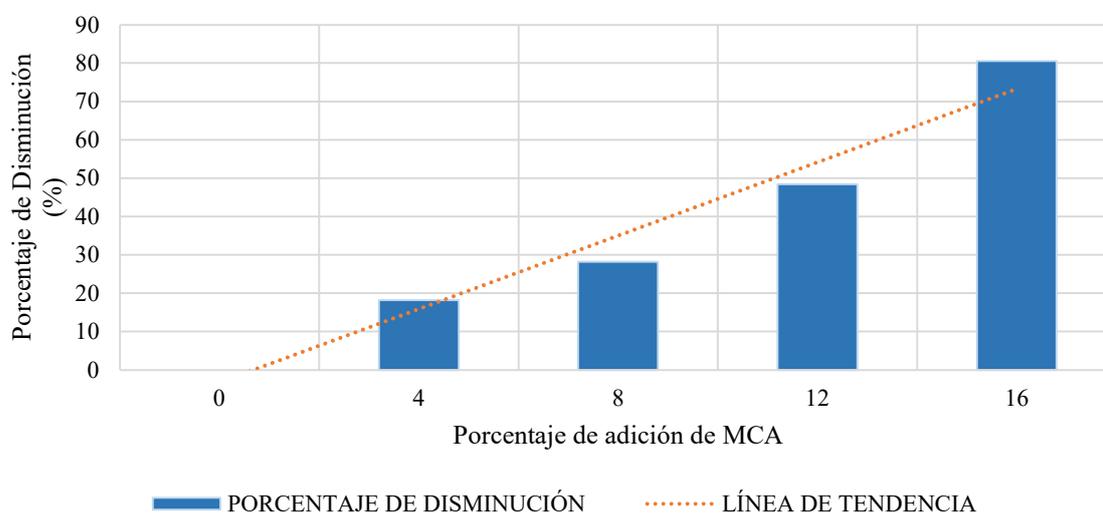
Porcentaje De Melaza	Coefficiente De Permeabilidad (* E-05 m/s)	Porcentaje De Disminución De Permeabilidad (%)
0	4.26226	-
4	3.48655	18.200
8	3.06082	28.188
12	2.19975	48.390
16	0.82892	80.552

En la Figura 8 se aprecia de mejor manera la disminución del coeficiente de permeabilidad.



**Figura 8.** *Disminución del Coeficiente de Permeabilidad según el porcentaje de adición de MCA.*

Al mismo tiempo esta disminución puede ser expresada en porcentaje, tal como se observa en la Tabla 23. Esta variación puede ser interpretada tal como se indica en la Figura 9.



**Figura 9.** Porcentaje de disminución del coeficiente de permeabilidad según el porcentaje de adición de MCA.

Los resultados obtenidos en esta investigación confirman que la melaza de caña de azúcar sirve para mejorar ciertas propiedades del suelo, lo que concuerda con lo hallado en investigaciones internacionales donde ya se usó para estabilizar arcillas inorgánicas de alta plasticidad (James et al., 2018), además para reducir la expansión de suelos arcillosos con porcentajes de 0% a 8% de MCA (Nabeel et al., 2019). Por otra parte, en esta investigación se obtuvo que la adición de MCA reduce considerablemente el coeficiente de permeabilidad de un suelo arenoso.

El resultado está dentro de lo esperado, ya que se conocía el efecto aglomerante del MCA, mismo que ocasiona el aumento del tamaño de partículas de suelos finos (Parsakhoo et al., 2020), que extrapolando a suelos granulares se suponía, iba a ocasionar el mismo efecto, lo que fue claramente visible con los ensayos ejecutados, tal y como se muestra en los Anexo 28, Anexo 29 y Anexo 30.

Es posible que los resultados sean una solución fiable, al uso de los altos desperdicios de la industria azucarera, los cuales son aproximadamente el 40% del peso de la caña molida, además de la ceniza de horno (Anal, 2017), aunque se necesitaran de nuevas investigaciones para confirmar los resultados, ya que puede que esta adición de MCA, solo sea efectivo en este tipo de arena o a su vez porcentajes superiores a los usados den mejores resultados.

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. CONCLUSIONES**

- A través de la clasificación SUCS, se identificó que el tipo de suelo de las muestras obtenidas se trataba de una arena mal graduada (SP) para las calicatas 2, 3 y 5, por otro lado, en lo que respecta a la calicata 1 y calicata 5 se encontró asimismo este tipo de suelo pero con contenido de gravas, razón por la cual fueron homogeneizadas eliminando el contenido de gravas, obteniendo así, similares características granulométricas, de esta manera las muestras fueron aceptables para el desarrollo de esta investigación.
- Se caracterizó la permeabilidad de las muestras de suelo SP, con adición de melaza de caña de azúcar, mediante el ensayo de permeabilidad de cabeza constante, debido a que se trata de un suelo granular. Con ello se pudo constatar que el porcentaje de adición de MCA es inversamente proporcional al coeficiente de permeabilidad de nuestro suelo estudiado. Para el grupo de control, es decir los especímenes ensayados sin ningún porcentaje de MCA, se obtuvo un valor de coeficiente de permeabilidad de  $4.26226E-05$ , este valor corresponde a la permeabilidad normal de una arena.
- Para el tipo de suelo investigado, se notó que el coeficiente de permeabilidad disminuye a medida que se incrementa la adición de MCA, inicialmente la reducción fue del 18.20% al usar el 4% de MCA con respecto a los valores obtenidos en el grupo de control, esta reducción con el porcentaje más alto del 16% de melaza llegó a un 80.552%. Estos resultados se atribuyen a que la melaza de caña de azúcar modifica considerablemente el porcentaje de vacíos, ya que, este producto tiene un efecto aglomerante en el suelo, es decir reduce el espacio entre partículas, esto fue visible al momento de ejecutar el ensayo.
- Los resultados de esta investigación pueden influir para que futuros trabajos se enfoquen en levantar mayor información acerca del uso de la melaza de caña de azúcar en suelos arenosos, ya que, se obtuvo resultados numéricos favorables en la reducción de la permeabilidad, lo que permitiría usar este método para impermeabilizar subrasantes; visualmente se pudo notar que el efecto aglomerante que tiene el MCA, además de su consistencia, podría variar los valores de Límites líquidos del suelo ensayado, por lo que analizar este aspecto podría ampliar el conocimiento acerca de la aplicabilidad de este recurso en el ámbito ingenieril, debido a que podría incluso mejorar la estabilidad y resistencia al esfuerzo cortante.

### **5.2. RECOMENDACIONES**

- En base a los ensayos ejecutados para determinar la influencia de diferentes porcentajes de MCA en una muestra de subrasante de suelo arenoso, se notó que se presentaba cierta variabilidad entre la permeabilidad medida al instante y la tomada luego de un tiempo, se identificó que el agua lavaba o eliminaba cierta cantidad de melaza, por ende, se recomienda estudiar la durabilidad del tratamiento.
- Debido a que en esta investigación se identificó el comportamiento de la muestra de

subrasante con diferentes porcentajes de MCA, se sugiere encontrar un porcentaje óptimo de adición que a su vez beneficie en otros aspectos como, por ejemplo, la estabilidad.

- A su vez, se observó que el ensayo de permeabilidad de cabeza constante es muy sensible, esto por ejemplo si no se lograba sellar completamente la cápsula los resultados era muy variables, por eso se aconseja tener precaución al momento de sellar la misma.
- Los resultados de esta investigación buscan influir en que futuros investigadores usen la melaza de caña de azúcar en otros tipos de suelos con el objeto de levantar más información sobre el beneficio de este tratamiento para mejorar el suelo.
- Se debe tomar en cuenta que la melaza de caña de azúcar puede variar en propiedades debido a diferentes factores, así como de proveedores.

## BIBLIOGRAFÍA

- American society for testing and materials ASTM. (2000). Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Sand-Cone Method (D1556 – 00). *ASTM International*, 04, 1–7.
- American society for testing and materials ASTM. (2014). Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer (D854 - 14). *ASTM International*, 2458000(C), 1–7. <https://doi.org/10.1520/D0854-14>.
- American society for testing and materials ASTM. (2017a). Standard practice for classification of soils for engineering purposes, Unified Soil Classification System (D2487-17). *ASTM International*, 06, 1–10. <https://doi.org/10.1520/D2487-17>.
- American society for testing and materials ASTM. (2017b). Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils (D4318-17). *ASTM International*, 04(March 2017), 1–14. <https://doi.org/10.1520/D4318-17E01>.
- American society for testing and materials ASTM. (2017c). Standard Test Methods for Particle-Size Distribution ( Gradation ) of Soils Using Sieve Analysis (D6913 / D6913M-17). *ASTM International*, 04(Reapproved 2009), 1–35. <https://doi.org/10.1520/D6913-17.1.6>
- American society for testing and materials ASTM. (2022). Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Coarse-Grained Soils (D2434 - 22). *ASTM International*, 10(Reapproved 2018), 1–24. <https://doi.org/10.1520/D2434-22>.
- American Society of Civil Engineers. (2018). *Permeable Interlocking Concrete Pavement*. Reston, United States: American Society of Civil Engineers. Retrieved from <http://ebookcentral.proquest.com/lib/unach-ebooks/detail.action?docID=5601234>
- Anal, A. K. (2017). *Food Processing by-Products and Their Utilization*. Newark, United Kingdom: John Wiley & Sons, Incorporated. Retrieved from <http://ebookcentral.proquest.com/lib/unach-ebooks/detail.action?docID=5103302>
- Chávez, S. (1998). *Optimización de la producción del agente de biocontrol* (Universidad de Lleida). Universidad de Lleida. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10459.1/63893>
- Das, B. M. (2011). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones* (Séptima Ed).
- Galvis Velasco, L. C., Ruge Cardenas, J. C., Galvis Salamanca, L. C., Morales Pulgarín, L., Bastidas Martínez, J. G., & Olarte Garzón, M. C. (2021). Permeability measurement in porous media under unsaturated paths. *Revista DYNA*, 88(219), 123–130. <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n218.95162>
- Head, K. H. (2011). *Manual of Soil Laboratory Testing* (Third). Escocia: Whittles Publishing.
- James, J., Karthickeyan, S., Chidambaram, S., Dayanandan, B., & Karthick, K. (2018). Effect of Curing Conditions and Freeze-Thaw Cycles on the Strength of an Expansive Soil Stabilized with a Combination of Lime, Jaggery, and Gallnut Powder. *Advances in Civil Engineering*, 2018, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2018/1813563>
- Martínez Murillo, L. I., & Olaya Morales, Y. (2019). Estimación de costos del ciclo de vida para la estabilización de vías terciarias en Colombia con subproductos industriales. *Lecturas de Economía*, 91(91), 241–277.

<https://doi.org/10.17533/UDEA.LE.N91A08>

- Nabeel, M., Abbas, T., Ahmed, F., Abid, M. M., Raza, H., Khan, N., & Hussain, T. (2019). Ground-Granulated-Blast-Furnace-Slag and Sugar Cane Molasses Influence On Stabilization of Claysoil. *Pakistan Journal of Science*, 71(4), 273–277.
- Parsakhoo, A., Hosseini, S. A., Lotfalian, M., Mohammadi, J., & Salarijazi, M. (2020). Effects of molasses, polyacrylamide and bentonite on dust control in forest roads. *Journal of Forest Science*, 66(5), 218–225. <https://doi.org/10.17221/41/2020-JFS>
- Requena, B. (2014). Estadística descriptiva. Retrieved January 17, 2022, from <https://www.universoformulas.com/estadistica/descriptiva/>
- Villalaz, C. (2004). Mecánica de suelos y Cimentaciones. *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*, p. 652. Retrieved from <https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/mecanica-desuelos-y-cimentaciones-crespo-villalaz.pdf>

## **ANEXOS**



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

Riobamba, 09 de enero de 2023

## **CERTIFICADO**

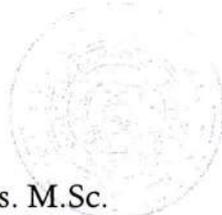
A petición verbal del Sr. Condo Barreros Irvin Andrés con C.I. 060581248-6, egresado de la Carrera de Ingeniería Civil, debo certificar que la Sr. Condo, durante los meses de septiembre y octubre del año 2022, realizó los ensayos que se detallan a continuación:

- Granulometría de agregados finos
- Densidad de agregado fino
- Límites de Atterberg de muestra de suelos
- Densidad en Campo
- Permeabilidad en suelos granulados

Los ensayos antes mencionados fueron ejecutados en los Laboratorios de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo, como parte del Proyecto de Investigación: "Influencia de la melaza de caña de azúcar en la permeabilidad de muestras de suelo arenoso de una subrasante".

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

Atentamente,



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



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

Riobamba, 09 de enero de 2023

## **CERTIFICADO**

A petición verbal del Sr. Cusco Cando Luis Alexander con C.I. 060478414-0, egresado de la Carrera de Ingeniería Civil, debo certificar que la Sr. Cusco, durante los meses de septiembre y octubre del año 2022, realizó los ensayos que se detallan a continuación:

- Granulometría de agregados finos
- Densidad de agregado fino
- Límites de Atterberg de muestra de suelos
- Densidad en Campo
- Permeabilidad en suelos granulados

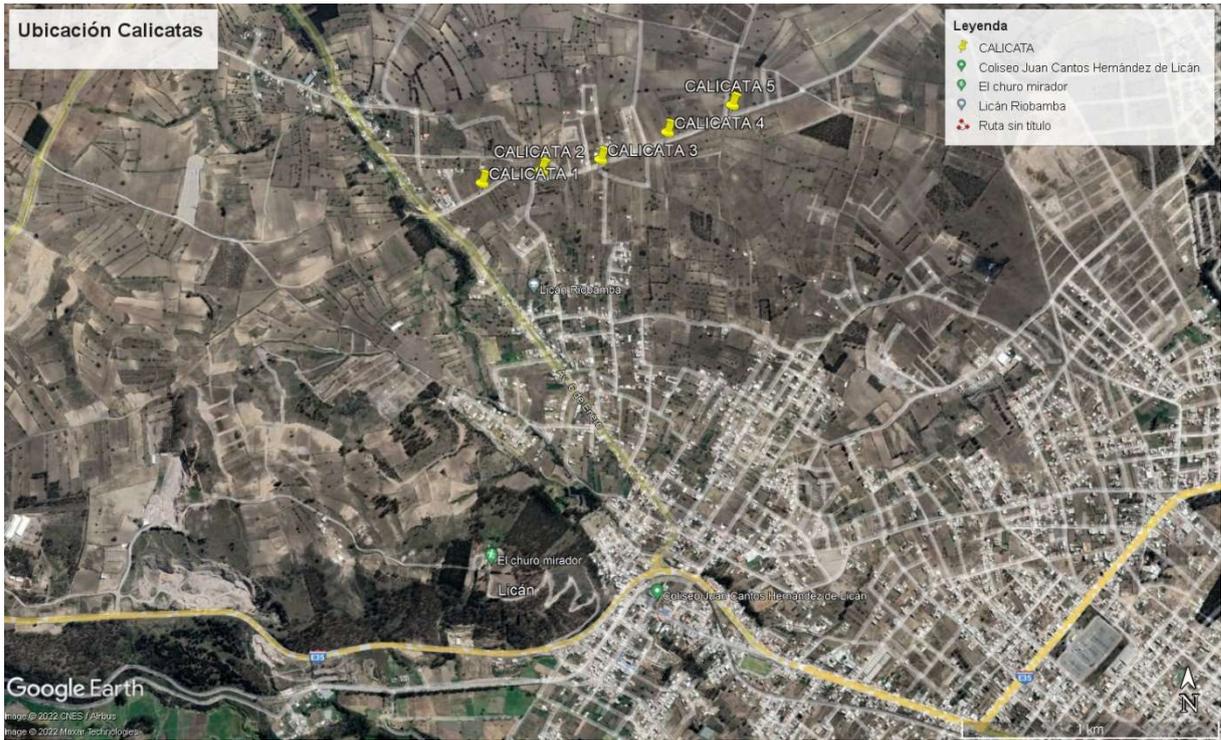
Los ensayos antes mencionados fueron ejecutados en los Laboratorios de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo, como parte del Proyecto de Investigación: "Influencia de la melaza de caña de azúcar en la permeabilidad de muestras de suelo arenoso de una subrasante".

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

Atentamente,



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



**Anexo 1. Ubicación de las calicatas levantadas**





**Anexo 2. Demarcación de calicatas**



**Anexo 3. Extracción de material**



**Anexo 4.** Transporte de material extraído



**Anexo 5.** Secado de material para granulometría



**Anexo 6.** Proceso de granulometría



**Anexo 7.** Equipo para densidades in situ (Método Cono y Arena)



**Anexo 8.** Ensayo de Cono y Arena



**Anexo 9.** Material extraído del ensayo de cono y arena



**Anexo 10.** Calibración de la arena de Ottawa



**Anexo 11.** Obtención del contenido de humedad



**Anexo 12.** Equipo para límites de Atterberg



**Anexo 13.** Preparación de la muestra para límites de Atterberg





**Anexo 14.** Ensayo para la obtención de límite líquido



**Anexo 15.** Inexistencia de límite plástico



**Anexo 16.** Equipo usado para gravedad específica



**Anexo 17. Calibración picnómetro**



**Anexo 18. Ensayo de gravedad específica**



**Anexo 19.** Densidad de la melaza de caña de azúcar



**Anexo 20.** Contenido de Humedad de la melaza de caña de azúcar.



Anexo 21. Equipo de permeabilidad



Anexo 22. Apisonador





**Anexo 23.** Preparación de muestras



**Anexo 24.** Composición de muestras



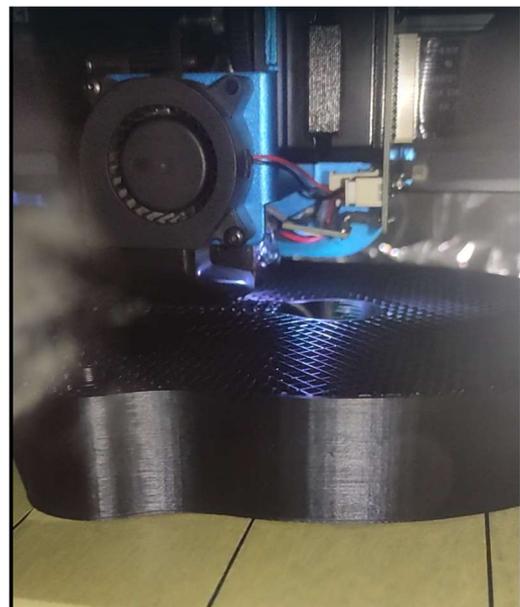
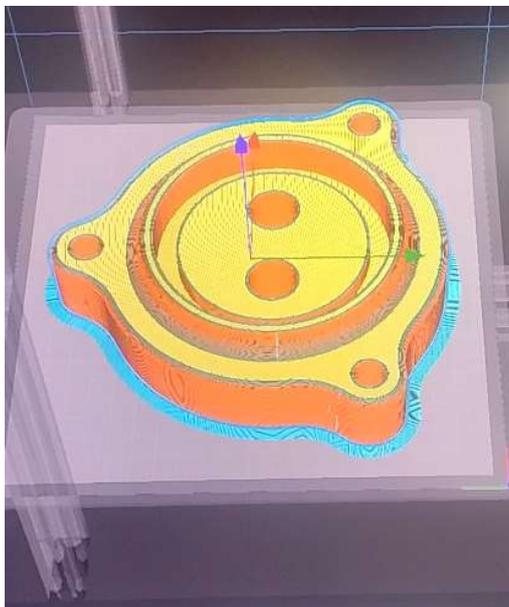
Anexo 25. Recomposición de muestras







Anexo 26. Ensayo de permeabilidad



Anexo 27. Proceso de Impresión 3D de elementos que conforman el Permeámetro.





**Anexo 28.** Efecto aglomerante de la melaza de caña de azúcar.

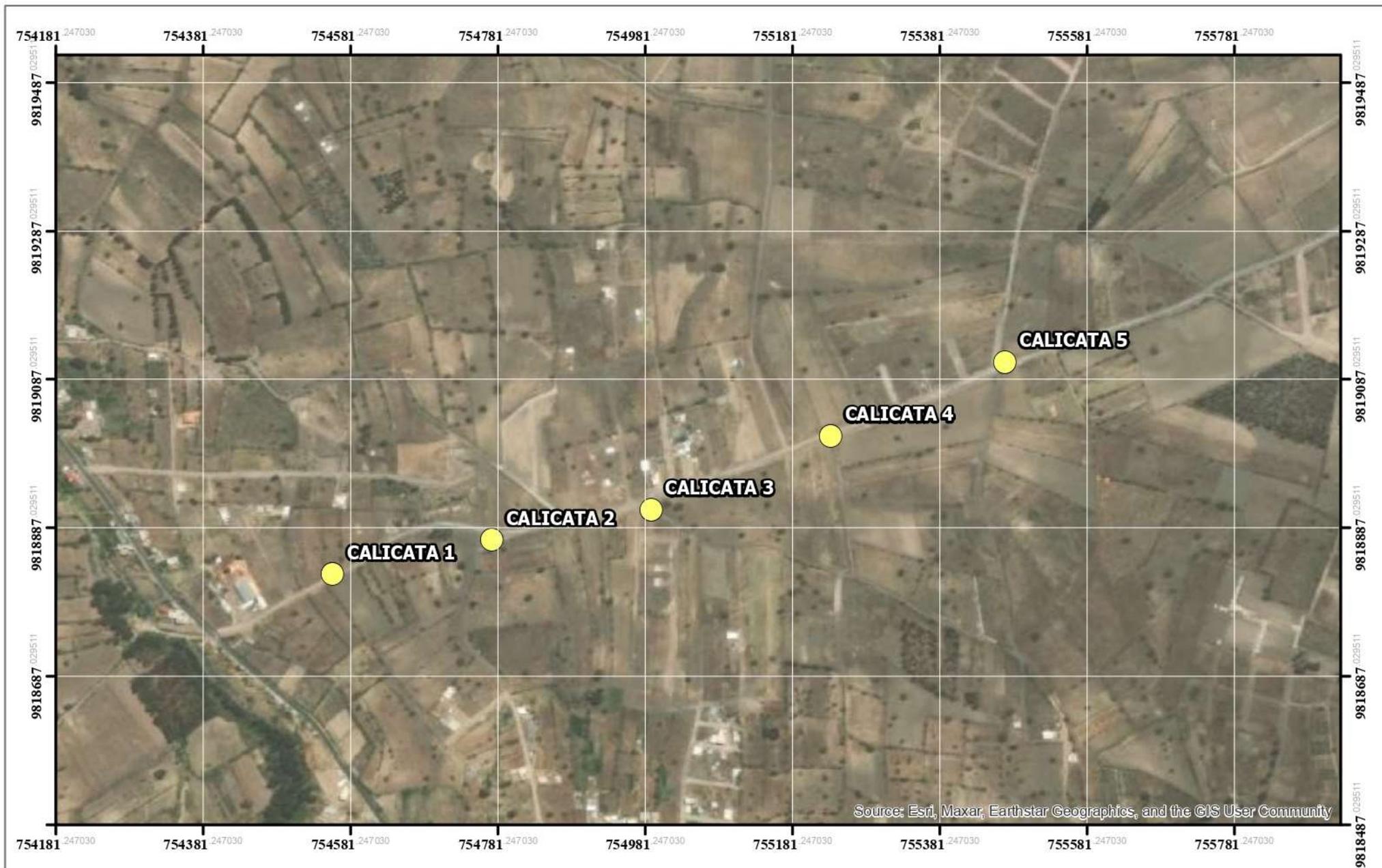
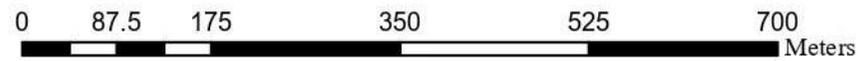


**Anexo 29.** Muestra de control después del ensayo de permeabilidad (0% MCA).



**Anexo 30.** Muestras con adición de MCA después del ensayo de permeabilidad.





Anexo 32. Ubicación Calicatas - ArcGIS



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Civil**  
**Informe de Laboratorio**



**Proyecto:** Influencia de la melaza de caña de azúcar en la permeabilidad de muestras de suelo arenoso de una subrasante.

**Ensayado Por:** - Condo Barreros Irvin Andres  
 - Cusco Cando Luis Alexander

**Ensayo:** DENSIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD

**Revisado Por:** Ing. Jorge Nuñez V.

**Normas:** -----

**Ubicación:** Barrio "Nuevo Riobamba"

**DENSIDAD**

<b>Peso recipiente Vacío:</b>	34.1 g
<b>Volumen Usado:</b>	200 cm <sup>3</sup>

ENSAYO	RECIPIENTE + MELAZA [g]	PESO MELAZA [g]	DENSIDAD [g/cm <sup>3</sup> ]
1	294.90	294.90	8.648093842
2	293.8	293.8	8.615835777
3	293.5	293.5	8.607038123
<b>PROMEDIO DENSIDAD [g/cm<sup>3</sup>]:</b>			8.6237
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR:</b>			0.022

**CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MELAZA**

W tara [g]	W Tara + melaza [g]	W tara + melaza seca [g]	W Melaza [g]	W Melaza Seca [g]	W agua	Humedad [%]	PROMEDIO HUMEDAD [%]
14.4	30	25.3	15.6	10.9	4.7	43.1193	41.970
14.6	30.1	25.6	15.5	11	4.5	40.9091	
14.8	31.4	26.5	16.6	11.7	4.9	41.8803	

**REPORTE DE RESULTADOS:**

Densidad :	1.2998 g/cm <sup>3</sup>
Contenido de Humedad:	41.97 %

**Anexo 33. Caracterización de Melaza de Caña de Azúcar**



**Proyecto:** Influencia de la Melaza de Caña de Azúcar en la Permeabilidad de Muestras de Suelo Arenoso de una Subrasante

**Ensayado por:** Condo Barreros Irvin Andres  
Cusco Cando Luis Alexander

**Ensayo:** Granulometría y Clasificación de Suelos

**Revisado por:** Ing. Jorge Nuñez V.

**Norma:** ASTM D6913 y D2487-17

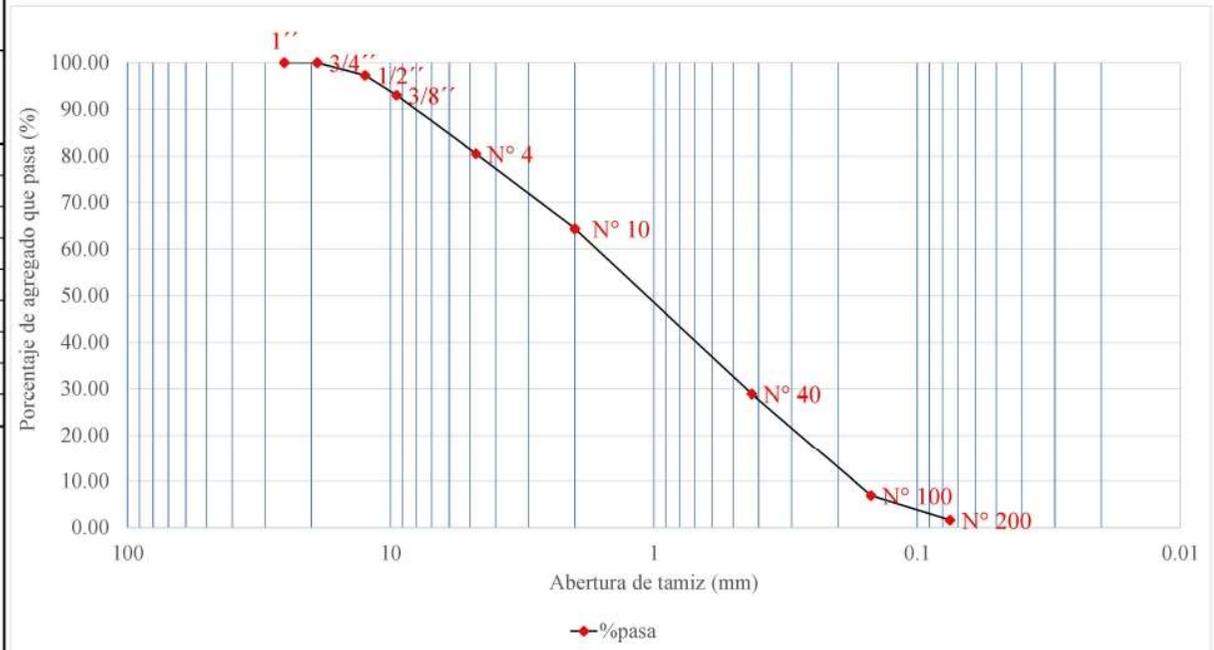
**N° Calicata:** 1.1

**CALICATA 1.1**

Masa Inicial	1500 g
--------------	--------

Apertura (mm)	Tamiz	Retiene	Masa Corregida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
25.4	1"	0	0.000	0	0	100.00
19	3/4"	0	0.000	0.00	0	100.00
12.5	1/2"	40.0	40.196	2.68	2.68	97.32
9.5	3/8"	63.9	64.213	4.28	6.96	93.04
4.75	N° 4	187.1	188.015	12.53	19.49	80.51
2	N° 10	240.2	241.375	16.09	35.59	64.41
0.425	N° 40	529.4	531.989	35.47	71.05	28.95
0.15	N° 100	329.3	330.910	22.06	93.11	6.89
0.075	N° 200	79.1	79.487	5.30	98.41	1.59
	Bandeja	23.70	23.816	1.59	100.000	
	Total	1492.7	1500	100		

Sumatoria total del retenido en tamices (gr)	1492.7	D10	0.22
Porcentaje de Pérdida de Material	0,49%	D30	0.50
		D60	1.86
		$Cu = D60/D10$	8.401
		$Cc = (D30^2)/(D60 * D10)$	0.596



**REPORTE DE RESULTADOS:**

Clasificación SUCS	SP	Arena mal graduada con grava	Clasificación AASHTO	A-2-4
--------------------	----	------------------------------	----------------------	-------



**Proyecto:** Influencia de la Melaza de Caña de Azúcar en la Permeabilidad de Muestras de Suelo Arenoso de una Subrasante

**Ensayo:** Granulometría y Clasificación de Suelos

**Norma:** ASTM D6913 y D2487-17

**Ensayado por:** Condo Barreros Irvin Andres  
Cusco Cando Luis Alexander

**Revisado por:** Ing. Jorge Nuñez V.

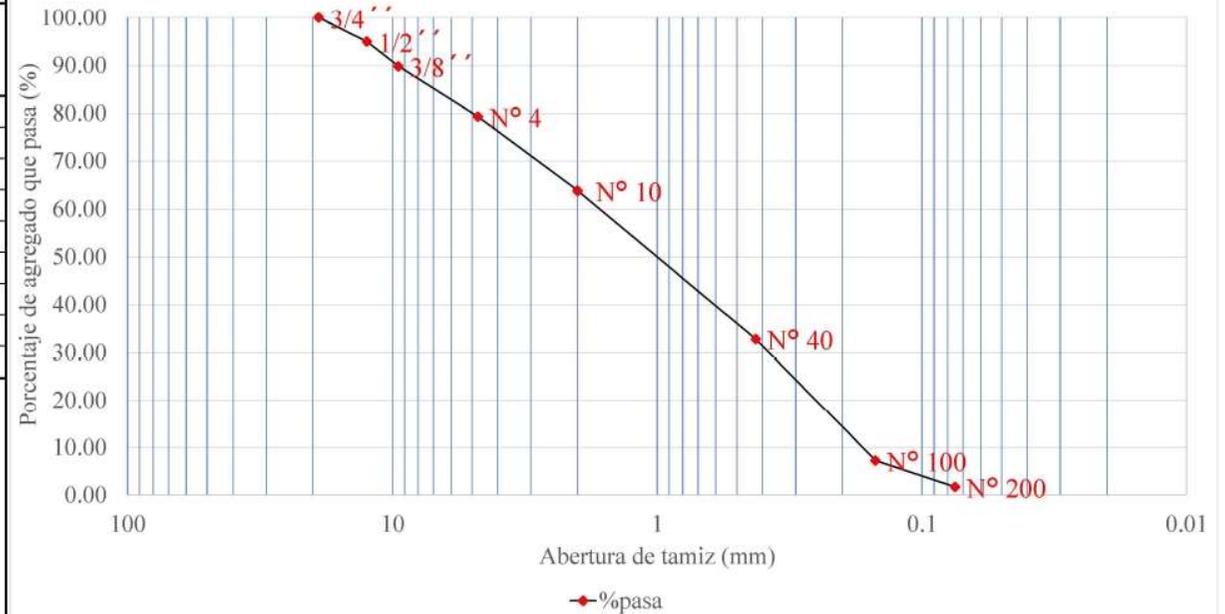
**N° Calicata:** 1.2

**CALICATA 1.2**

Masa Inicial 1500 g

Apertura (mm)	Tamiz	Retiene	Masa Corregida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
#¡REF!	1''	0	0.000	0	0	100.00
19	3/4''	0	0.000	0.00	0	100.00
12.5	1/2''	75.1	75.185	5.01	5.01	94.99
9.5	3/8''	77.1	77.187	5.15	10.16	89.84
4.75	N° 4	158.1	158.279	10.55	20.71	79.29
2	N° 10	231.2	231.462	15.43	36.14	63.86
0.425	N° 40	464.4	464.927	31.00	67.14	32.86
0.15	N° 100	383.3	383.735	25.58	92.72	7.28
0.075	N° 200	83.1	83.194	5.55	98.26	1.74
	Bandeja	26.00	26.030	1.74	100.000	
	Total	1498.3	1500	100		

Sumatoria total del retenido en tamices (gr)	1498.3	D10	0.21
Porcentaje de Pérdida de Material	0.11%	D30	0.41
		D60	1.85
		$C_u = D_{60}/D_{10}$	8.910
		$C_c = (D_{30}^2)/(D_{60} \cdot D_{10})$	0.433



**REPORTE DE RESULTADOS:**

Clasificación SUCS

SP

Arena mal graduada con grava

Clasificación AASHTO

A-2-4



**Proyecto:** Influencia de la Melaza de Caña de Azúcar en la Permeabilidad de Muestras de Suelo Arenoso de una Subrasante  
**Ensayo:** Granulometría y Clasificación de Suelos  
**Norma:** ASTM D6913 y D2487-17

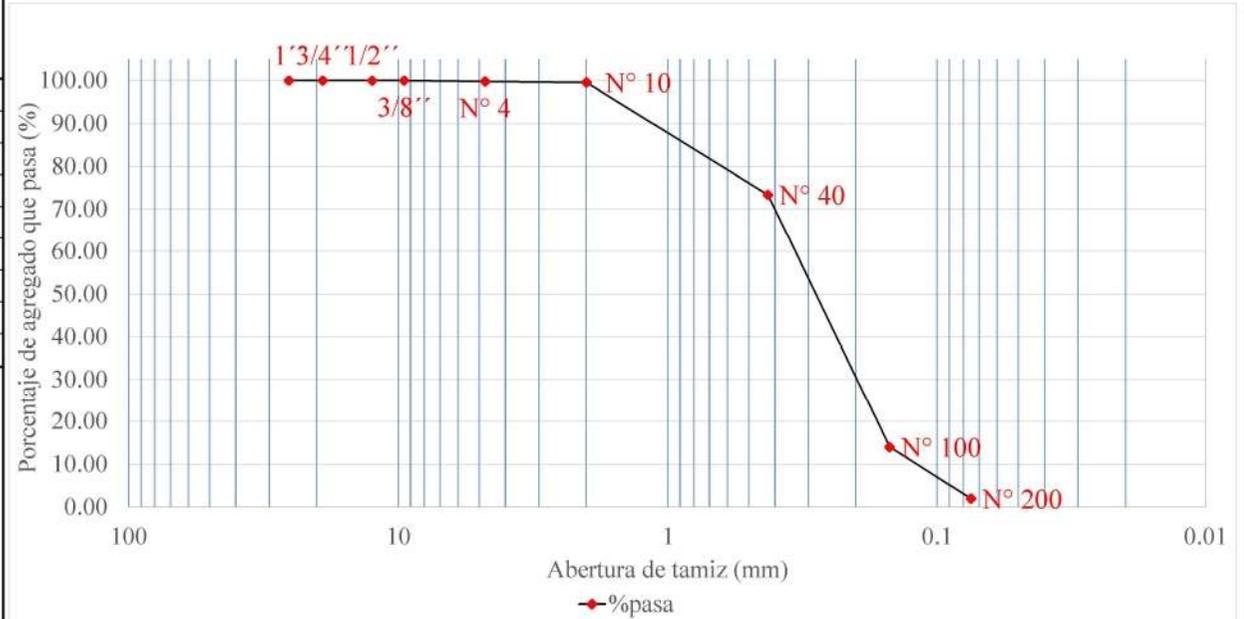
**Ensayado por:** Condo Barreros Irvin Andres  
Cusco Cando Luis Alexander  
**Revisado por:** Ing. Jorge Nuñez V.  
**N° Calicata:** 2.1

**CALICATA 2.1**

Masa Inicial 1500 g

Apertura (mm)	Tamiz	Retiene	Masa Corregida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
25.4	1"	0	0.000	0	0	100.00
19	3/4"	0	0.000	0.00	0	100.00
12.5	1/2"	0.0	0.000	0.00	0.00	100.00
9.5	3/8"	0	0.000	0.00	0.00	100.00
4.75	N° 4	3	3.001	0.20	0.20	99.80
2	N° 10	3	3.001	0.20	0.40	99.60
0.425	N° 40	393.3	393.405	26.23	26.63	73.37
0.15	N° 100	889.7	889.937	59.33	85.96	14.04
0.075	N° 200	181.1	181.148	12.08	98.03	1.97
	Bandeja	29.50	29.508	1.97	100.000	
	Total	1499.6	1500	100		

Sumatoria total del retenido en tamices (gr)	1499.6	D10	0.14
		D30	0.28
Porcentaje de Pérdida de Material	0.03%	D60	0.39
		$C_u = D_{60}/D_{10}$	2.857
		$C_c = (D_{30}^2)/(D_{60} \cdot D_{10})$	1.422



**REPORTE DE RESULTADOS:**

Clasificación SUCS

SP

Arena mal graduada

Clasificación AASHTO

A-3



**Proyecto:** Influencia de la Melaza de Caña de Azúcar en la Permeabilidad de Muestras de Suelo Arenoso de una Subrasante

**Ensayo:** Granulometría y Clasificación de Suelos

**Norma:** ASTM D6913 y D2487-17

**Ensayado por:** Condo Barreros Irvin Andres

Cusco Cando Luis Alexander

**Revisado por:** Ing. Jorge Nuñez V.

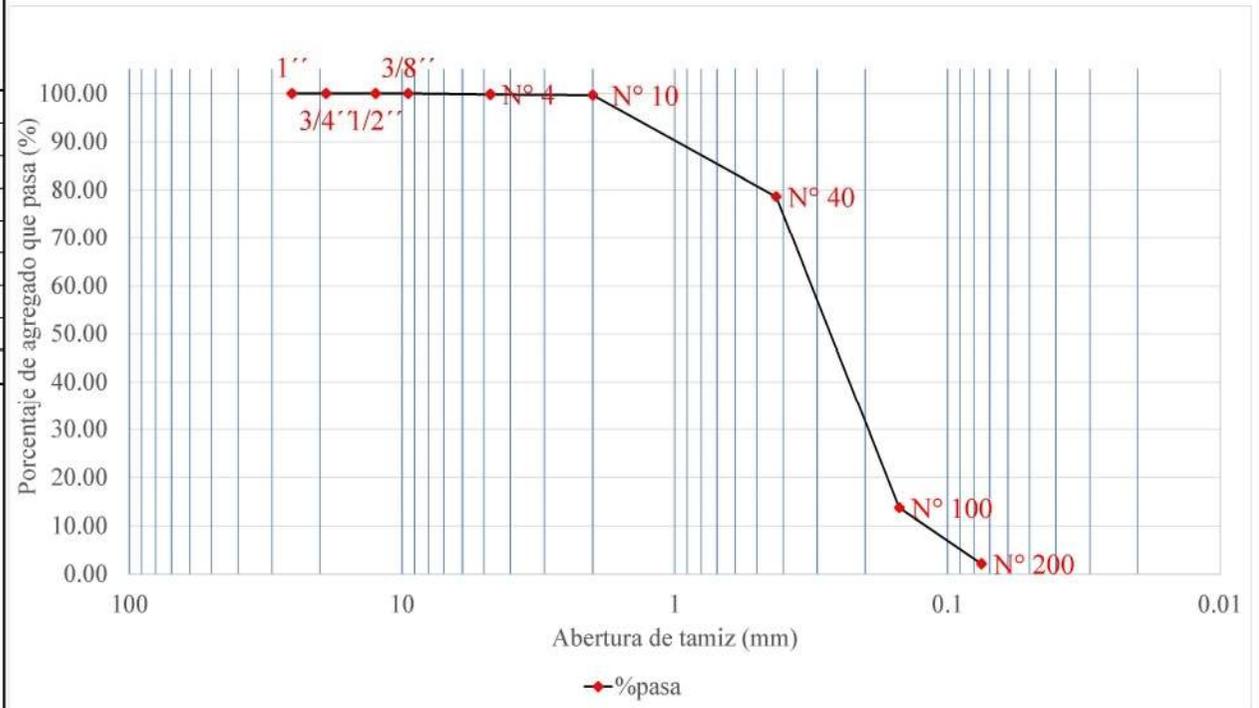
**N° Calicata:** 2.2

**CALICATA 2.2**

<i>Masa Inicial</i>	1500 g
---------------------	--------

Apertura (mm)	Tamiz	Retiene	Masa Corregida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
25.4	1''	0	0.000	0	0	100.00
19	3/4''	0	0.000	0.00	0	100.00
12.5	1/2''	0.0	0.000	0.00	0.00	100.00
9.5	3/8''	0	0.000	0.00	0.00	100.00
4.75	N° 4	2.6	2.602	0.17	0.17	99.83
2	N° 10	2.5	2.502	0.17	0.34	99.66
0.425	N° 40	315.2	315.473	21.03	21.37	78.63
0.15	N° 100	972.4	973.243	64.88	86.25	13.75
0.075	N° 200	174	174.151	11.61	97.86	2.14
	Bandeja	32.00	32.028	2.14	100.000	
	<b>Total</b>	<b>1498.7</b>	<b>1500</b>	<b>100</b>		

Sumatoria total del retenido en tamices (gr)	1498.7	D10	0.14
Porcentaje de Pérdida de Material	0.09%	D30	0.27
		D60	0.38
		<b>Cu = D60/D10</b>	<b>2.787</b>
		<b>Cc= (D30^2) / (D60*D10)</b>	<b>1.422</b>



**REPORTE DE RESULTADOS:**

Clasificación SUCS

SP

Arena mal graduada

Clasificación AASHTO

A-3



**Proyecto:** Influencia de la Melaza de Caña de Azúcar en la Permeabilidad de Muestras de Suelo Arenoso de una Subrasante

**Ensayo:** Granulometría y Clasificación de Suelos

**Norma:** ASTM D6913 y D2487-17

**Ensayado por:** Condo Barreros Irvin Andres  
Cusco Cando Luis Alexander

**Revisado por:** Ing. Jorge Nuñez V.

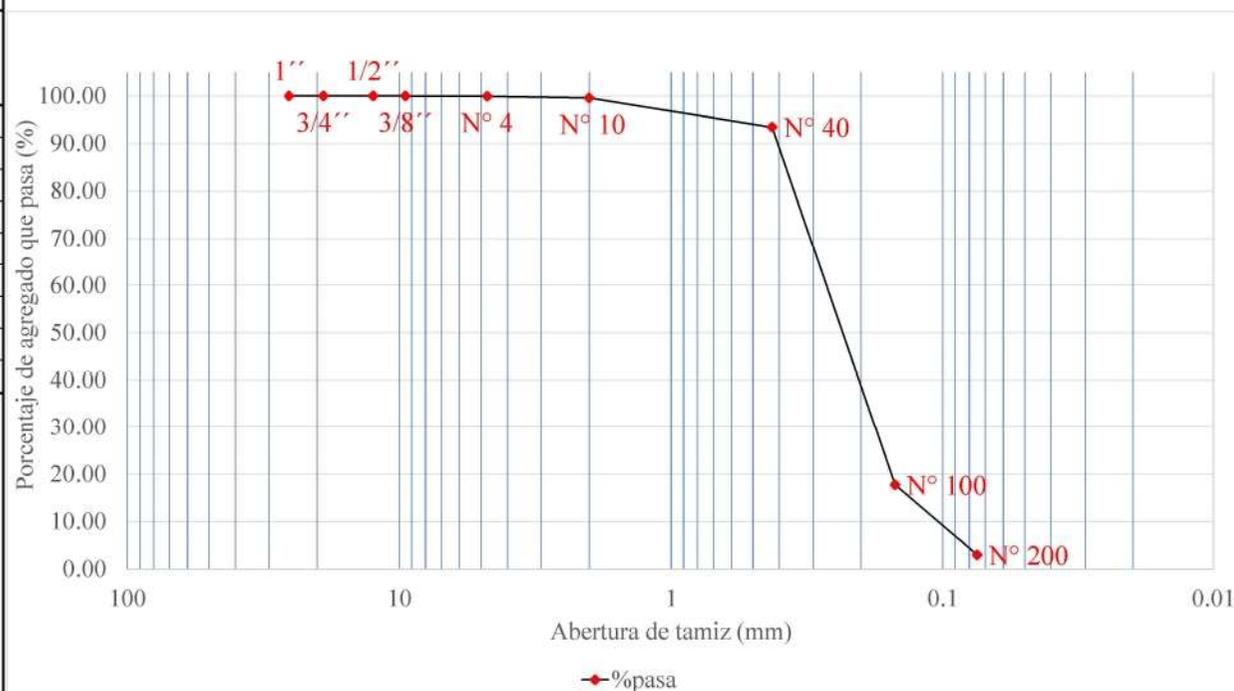
**N° Calicata:** 3.1

**CALICATA 3.1**

Masa Inicial 1500 g

Apertura (mm)	Tamiz	Retiene	Masa Corregida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
25.4	1"	0	0.000	0	0	100.00
19	3/4"	0	0.000	0.00	0	100.00
12.5	1/2"	0.0	0.000	0.00	0.00	100.00
9.5	3/8"	0	0.000	0.00	0.00	100.00
4.75	N° 4	1	1.001	0.07	0.07	99.93
2	N° 10	4.9	4.903	0.33	0.39	99.61
0.425	N° 40	92.1	92.155	6.14	6.54	93.46
0.15	N° 100	1134.9	1135.581	75.71	82.24	17.76
0.075	N° 200	221.2	221.333	14.76	97.00	3.00
	Bandeja	45.00	45.027	3.00	100.000	
	Total	1499.1	1500	100		

Sumatoria total del retenido en tamices (gr)	1499.1	D10	0.13
Porcentaje de Pérdida de Material	0.06%	D30	0.24
		D60	0.35
		$Cu = D60/D10$	2.796
		$Cc = (D30^2)/(D60*D10)$	1.268



**REPORTE DE RESULTADOS:**

Clasificación SUCS

SP

Arena mal graduada

Clasificación AASHTO

A-3



**Proyecto:** Influencia de la Melaza de Caña de Azúcar en la Permeabilidad de Muestras de Suelo Arenoso de una Subrasante

**Ensayado por:** Condo Barreros Irvin Andres  
Cusco Cando Luis Alexander

**Ensayo:** Granulometría y Clasificación de Suelos

**Revisado por:** Ing. Jorge Nuñez V.

**Norma:** ASTM D6913 y D2487-17

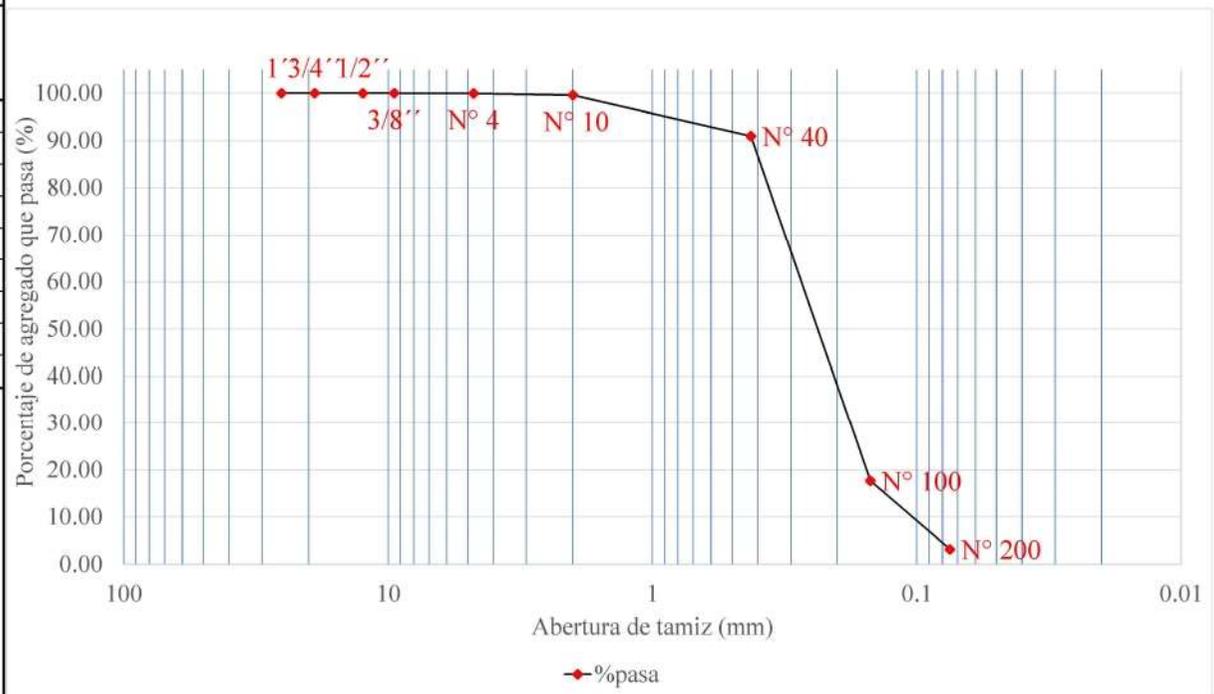
**N° Calicata:** 3.2

**CALICATA 3.2**

Masa Inicial 1500 g

Apertura (mm)	Tamiz	Retiene	Masa Corregida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
25.4	1''	0	0.000	0	0	100.00
19	3/4''	0	0.000	0.00	0	100.00
12.5	1/2''	0.0	0.000	0.00	0.00	100.00
9.5	3/8''	0	0.000	0.00	0.00	100.00
4.75	N° 4	0.9	0.901	0.06	0.06	99.94
2	N° 10	4.7	4.704	0.31	0.37	99.63
0.425	N° 40	130.1	130.204	8.68	9.05	90.95
0.15	N° 100	1097.9	1098.779	73.25	82.31	17.69
0.075	N° 200	217.2	217.374	14.49	96.80	3.20
	Bandeja	48.00	48.038	3.20	100.000	
	Total	1498.8	1500	100		

Sumatoria total del retenido en tamices (gr)	1498.8	D10	0.12
Porcentaje de Pérdida de Material	0.08%	D30	0.24
		D60	0.36
		$Cu = D60/D10$	2.842
		$Cc = \frac{(D30)^2}{(D60 * D10)}$	1.284



**REPORTE DE RESULTADOS:**

Clasificación SUCS	SP	Arena mal graduada	Clasificación AASHTO	A-3
--------------------	----	--------------------	----------------------	-----



**Proyecto:** Influencia de la Melaza de Caña de Azúcar en la Permeabilidad de Muestras de Suelo Arenoso de una Subrasante

**Ensayo:** Granulometría y Clasificación de Suelos

**Norma:** ASTM D6913 y D2487-17

**Ensayado por:** Condo Barreros Irvin Andres

Cusco Cando Luis Alexander

**Revisado por:** Ing. Jorge Nuñez V.

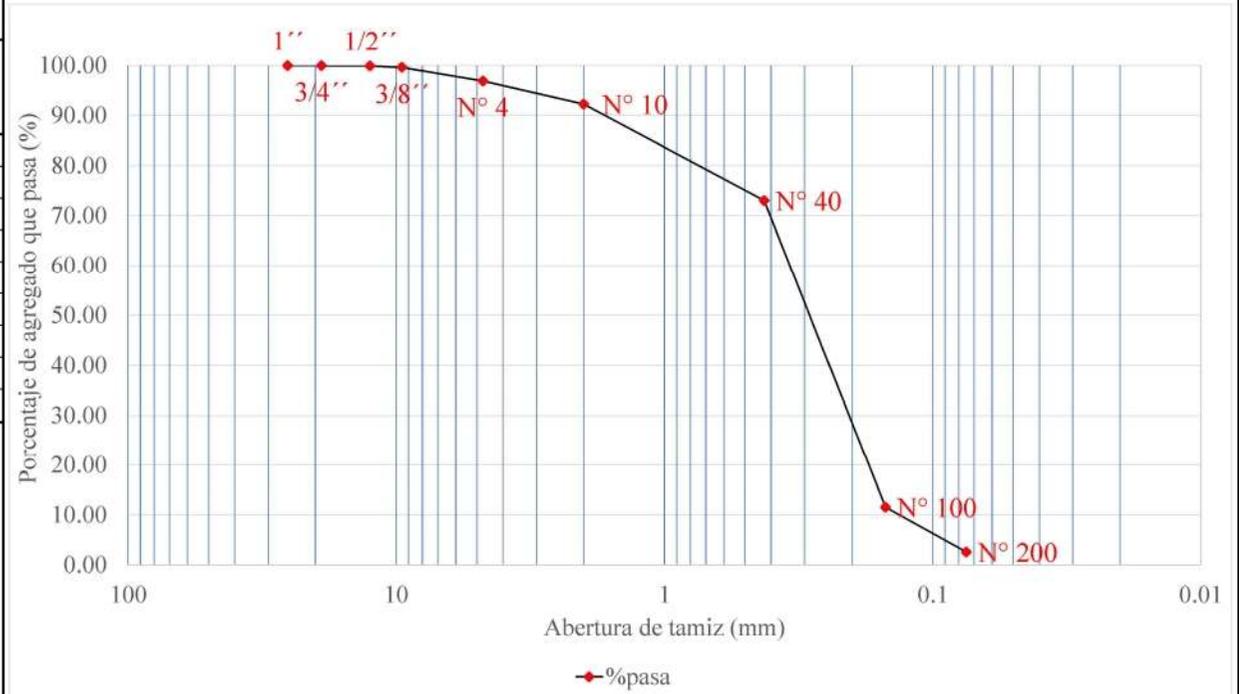
**N° Calicata:** 4.1

**CALICATA 4.1**

Masa Inicial 1500 g

Apertura (mm)	Tamiz	Retiene	Masa Corregida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
25.4	1"	0	0.000	0	0	100.00
19	3/4"	0	0.000	0.00	0	100.00
12.5	1/2"	0.9	0.900	0.06	0.06	99.94
9.5	3/8"	4.6	4.602	0.31	0.37	99.63
4.75	N° 4	41	41.016	2.73	3.10	96.90
2	N° 10	69.1	69.128	4.61	7.71	92.29
0.425	N° 40	289.2	289.316	19.29	27.00	73.00
0.15	N° 100	921.7	922.069	61.47	88.47	11.53
0.075	N° 200	134.1	134.154	8.94	97.41	2.59
	Bandeja	38.80	38.816	2.59	100.000	
	Total	1499.4	1500	100		

Sumatoria total del retenido en tamices (gr)	1499.4	D10	0.14
Porcentaje de Pérdida de Material	0.04%	D30	0.29
		D60	0.40
		$Cu = D60/D10$	2.771
		$Cc = (D30^2)/(D60 * D10)$	1.513



**REPORTE DE RESULTADOS:**

Clasificación SUCS

SP

Arena mal graduada

Clasificación AASHTO

A-3



**Proyecto:** Influencia de la Melaza de Caña de Azúcar en la Permeabilidad de Muestras de Suelo Arenoso de una Subrasante

**Ensayo:** Granulometría y Clasificación de Suelos

**Norma:** ASTM D6913 y D2487-17

**Ensayado por:** Condo Barreros Irvin Andres  
Cusco Cando Luis Alexander

**Revisado por:** Ing. Jorge Nuñez V.

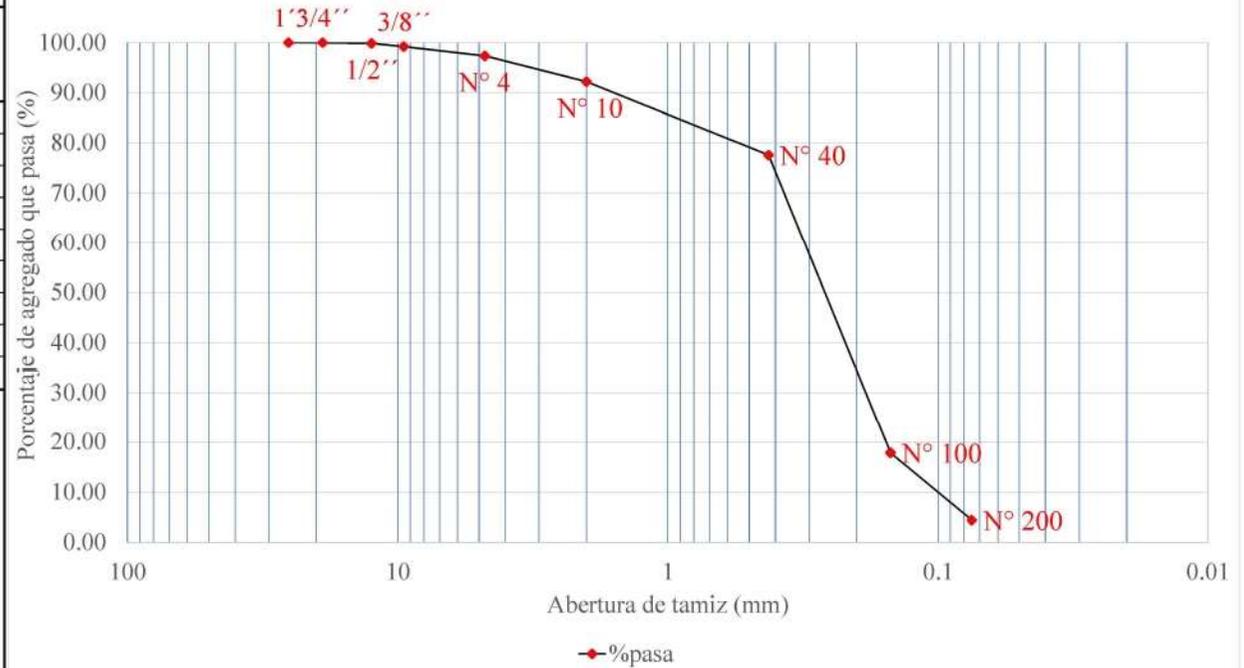
**N° Calicata:** 4.2

**CALICATA 4.2**

Masa Inicial 1500 g

Apertura (mm)	Tamiz	Retiene	Masa Corregida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
25.4	1"	0	0.000	0	0	100.00
19	3/4"	0	0.000	0.00	0	100.00
12.5	1/2"	2.0	2.001	0.13	0.13	99.87
9.5	3/8"	10	10.005	0.67	0.80	99.20
4.75	N° 4	28	28.013	1.87	2.67	97.33
2	N° 10	77.1	77.136	5.14	7.81	92.19
0.425	N° 40	219.2	219.302	14.62	22.43	77.57
0.15	N° 100	895.7	896.118	59.74	82.17	17.83
0.075	N° 200	201.2	201.294	13.42	95.59	4.41
	Bandeja	66.10	66.131	4.41	100.000	
	Total	1499.3	1500	100		

Sumatoria total del retenido en tamices (gr)	1499.3	D10	0.12
Porcentaje de Pérdida de Material	0.05%	D30	0.25
		D60	0.38
		$Cu = D60/D10$	3.169
		$Cc = (D30^2)/(D60*D10)$	1.364



**REPORTE DE RESULTADOS:**

Clasificación SUCS

SP

Arena mal graduada

Clasificación AASHTO

A-3

Anexo 41. Ensayo de Granulometría – Calicata 4.2



**Proyecto:** Influencia de la Melaza de Caña de Azúcar en la Permeabilidad de Muestras de Suelo Arenoso de una Subrasante

**Ensayo:** Granulometría y Clasificación de Suelos

**Norma:** ASTM D6913 y D2487-17

**Ensayado por:** Condo Barreros Irvin Andres  
Cusco Cando Luis Alexander

**Revisado por:** Ing. Jorge Nuñez V.

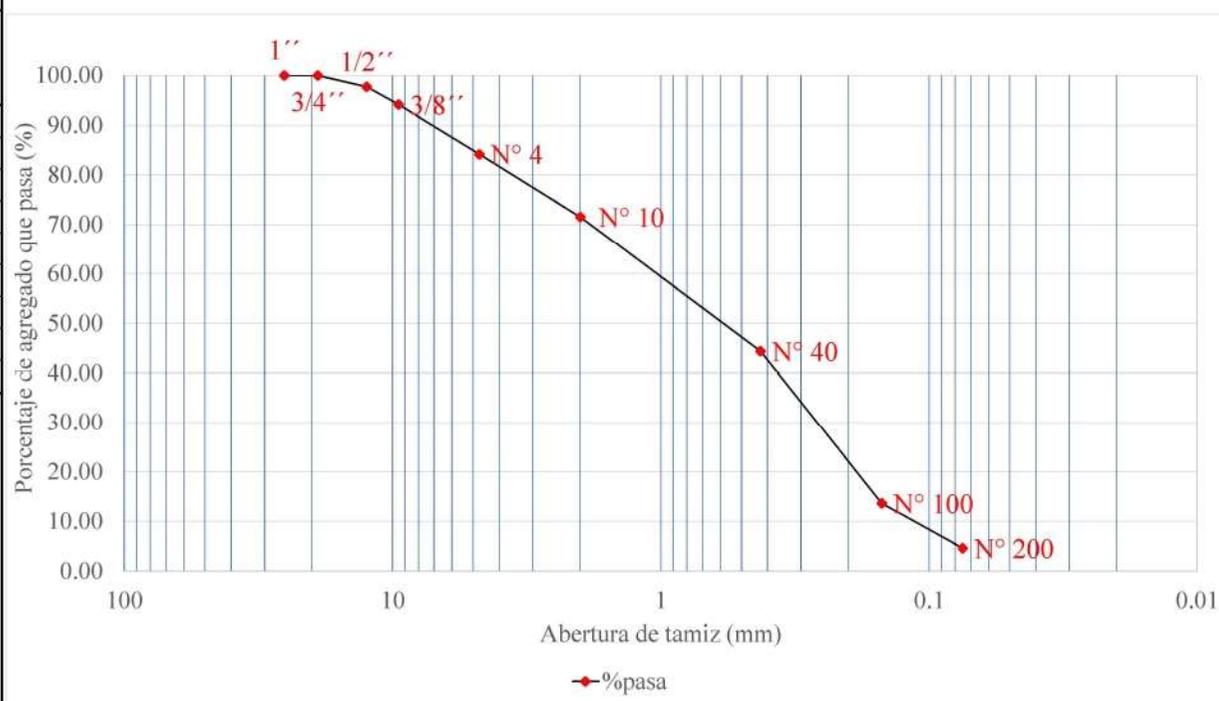
**N° Calicata:** 5.1

**CALICATA 5.1**

Masa Inicial	1500 g
--------------	--------

Apertura (mm)	Tamiz	Retiene	Masa Corregida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
25.4	1''	0	0.000	0	0	100.00
19	3/4''	0	0.000	0.00	0	100.00
12.5	1/2''	34.7	34.709	2.31	2.31	97.69
9.5	3/8''	53.7	53.714	3.58	5.89	94.11
4.75	N° 4	149.1	149.140	9.94	15.84	84.16
2	N° 10	189.2	189.250	12.62	28.45	71.55
0.425	N° 40	407.3	407.409	27.16	55.61	44.39
0.15	N° 100	461.4	461.523	30.77	86.38	13.62
0.075	N° 200	135.1	135.136	9.01	95.39	4.61
	Bandeja	69.10	69.118	4.61	100.000	
	Total	1499.6	1500	100		

Sumatoria total del retenido en tamices (gr)	1499.6	D10	0.13
Porcentaje de Pérdida de Material	0.03%	D30	0.33
		D60	1.42
		$C_u = D_{60}/D_{10}$	11.035
		$C_c = (D_{30}^2)/(D_{60} * D_{10})$	0.610



**REPORTE DE RESULTADOS:**

Clasificación SUCS

SP

Arena mal graduada con grava

Clasificación AASHTO

A-2-4



**Proyecto:** Influencia de la Melaza de Caña de Azúcar en la Permeabilidad de Muestras de Suelo Arenoso de una Subrasante

**Ensayo:** Granulometría y Clasificación de Suelos

**Norma:** ASTM D6913 y D2487-17

**Ensayado por:** Condo Barreros Irvin Andres  
Cusco Cando Luis Alexander

**Revisado por:** Ing. Jorge Nuñez V.

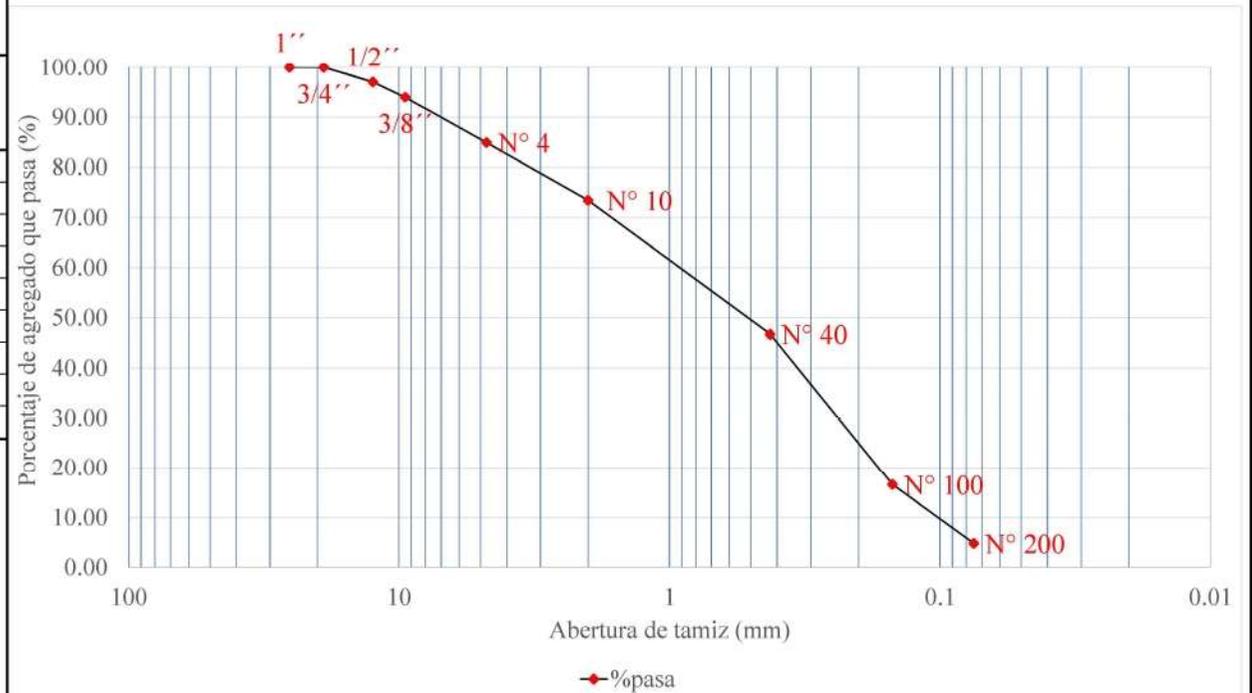
**N° Calicata:** 5.2

**CALICATA 5.2**

Masa Inicial 1500 g

Apertura (mm)	Tamiz	Retiene	Masa Corregida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
25.4	1"	0	0.000	0	0	100.00
19	3/4"	0	0.000	0.00	0	100.00
12.5	1/2"	43.5	43.523	2.90	2.90	97.10
9.5	3/8"	45.9	45.924	3.06	5.96	94.04
4.75	N° 4	136.1	136.173	9.08	15.04	84.96
2	N° 10	172.1	172.192	11.48	26.52	73.48
0.425	N° 40	400.3	400.514	26.70	53.22	46.78
0.15	N° 100	452.4	452.641	30.18	83.40	16.60
0.075	N° 200	176.7	176.794	11.79	95.18	4.82
	Bandeja	72.20	72.239	4.82	100.000	
	Total	1499.2	1500	100		

Sumatoria total del retenido en tamices (gr)	1499.2	D10	0.12
Porcentaje de Pérdida de Material	0.05%	D30	0.31
		D60	1.29
		$C_u = D_{60}/D_{10}$	10.842
		$C_c = (D_{30}^2)/(D_{60} \cdot D_{10})$	0.611



**REPORTE DE RESULTADOS:**

Clasificación SUCS

SP

Arena mal graduada con grava

Clasificación AASHTO

A-2-4



**Proyecto:** Influencia de la Melaza de Caña de Azúcar en la Permeabilidad de Muestras de Suelo Arenoso de una Subrasante

**Ensayado por:** Condo Barreros Irvin Andres  
 Cusco Cando Luis Alexander

**Ensayo:** Límites de Atterberg (Límite líquido y Límite Plástico)

**Revisado por:** Ing. Jorge Nuñez V.

**Norma:** ASTM D4318-17

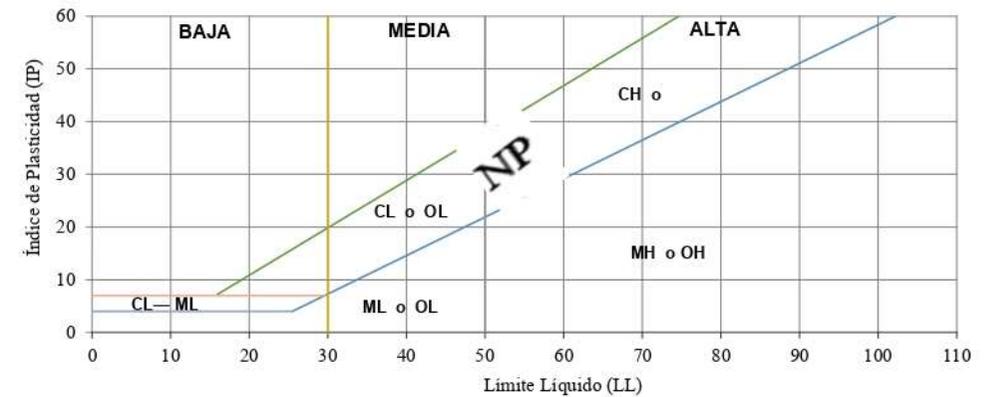
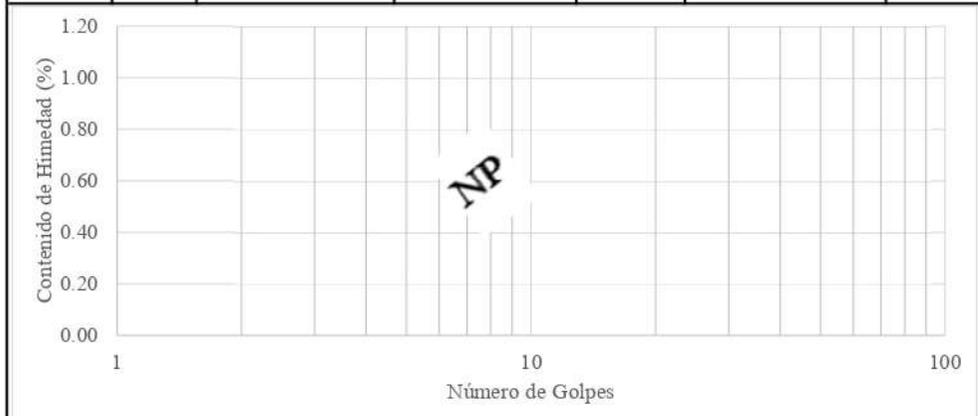
**N° Calicata:** 1.1

**Límite Líquido**

Número de Golpes	N° Capsula	Peso Cápsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso Cápsula (gr)	Contenido de Hiedad (%)	Promedio
					<b>NP</b>	

**Límite Plástico**

N° Capsula	Peso Cápsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso Cápsula (gr)	Contenido de Hiedad (%)	Límite Plástico LP
					<b>NP</b>



<b>REPORTE DE RESULTADOS:</b>	<b>LL (%)</b>	<b>NP</b>	<b>LP (%)</b>	<b>NP</b>	<b>IP (%)</b>	<b>NP</b>
-------------------------------	---------------	-----------	---------------	-----------	---------------	-----------

**Anexo 44.** Ensayo de Límites de Atterberg – Calicata 1.1



**Proyecto:** Influencia de la Melaza de Caña de Azúcar en la Permeabilidad de Muestras de Suelo Arenoso de una Subrasante  
**Ensayo:** Límites de Atterberg (Límite líquido y Límite Plástico)  
**Norma:** ASTM D4318-17

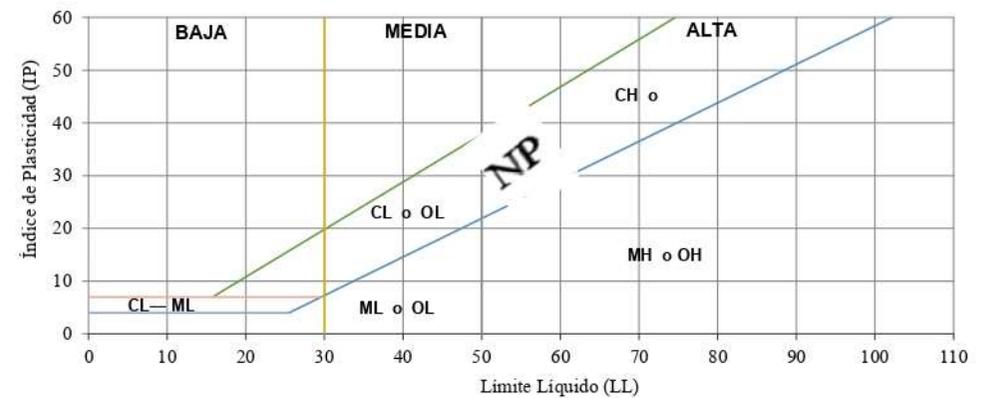
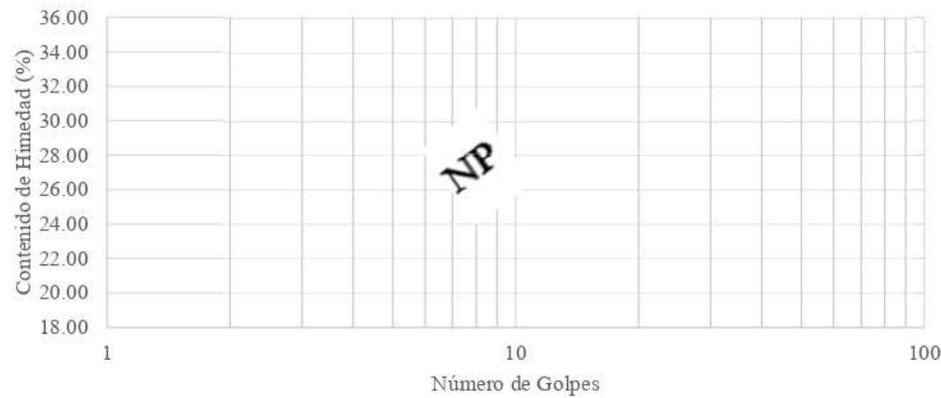
**Ensayado por:** Condo Barreros Irvin Andres  
 Cusco Cando Luis Alexander  
**Revisado por:** Ing. Jorge Nuñez V.  
**N° Calicata:** 1.2

**Límite Líquido**

Número de Golpes	N° Capsula	Peso Cápsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso Cápsula (gr)	Contenido de Hiedad (%)	Promedio
					<b>NP</b>	

**Límite Plástico**

N° Capsula	Peso Cápsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso Cápsula (gr)	Contenido de Hiedad (%)	Límite Plástico LP
					<b>NP</b>



<b>REPORTE DE RESULTADOS:</b>	<b>LL (%)</b>	NP	<b>LP (%)</b>	NP	<b>IP (%)</b>	NP
-------------------------------	---------------	----	---------------	----	---------------	----

**Anexo 45. Ensayo de Límites de Atterberg – Calicata 1.2**



**Proyecto:** Influencia de la Melaza de Caña de Azúcar en la Permeabilidad de Muestras de Suelo Arenoso de una Subrasante

**Ensayado por:** Condo Barreros Irvin Andres  
 Cusco Cando Luis Alexander

**Ensayo:** Límites de Atterberg (Límite líquido y Límite Plástico)

**Revisado por:** Ing. Jorge Nuñez V.

**Norma:** ASTM D4318-17

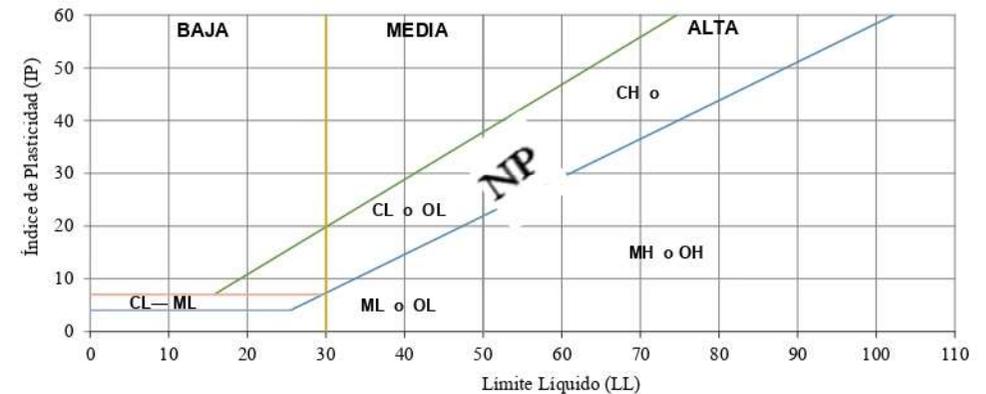
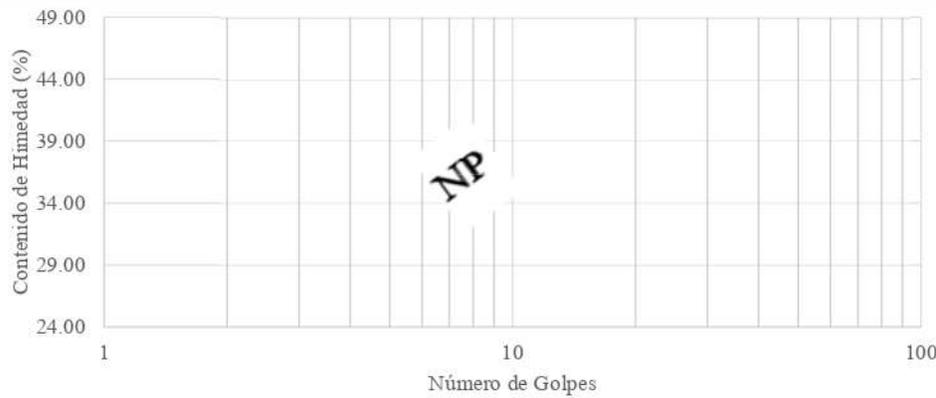
**N° Calicata:** 2.1

**Límite Líquido**

Número de Golpes	N° Capsula	Peso Cápsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso Cápsula (gr)	Contenido de Hiedad (%)	Promedio
					<b>NP</b>	

**Límite Plástico**

N° Capsula	Peso Cápsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso Cápsula (gr)	Contenido de Hiedad (%)	Límite Plástico LP
					<b>NP</b>



<b>REPORTE DE RESULTADOS:</b>	<b>LL (%)</b>	<b>NP</b>	<b>LP (%)</b>	<b>N - LP</b>	<b>IP (%)</b>	<b>NP</b>
-------------------------------	---------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------



**Proyecto:** Influencia de la Melaza de Caña de Azúcar en la Permeabilidad de Muestras de Suelo Arenoso de una Subrasante

**Ensayado por:** Condo Barreros Irvin Andres  
 Cusco Cando Luis Alexander

**Ensayo:** Límites de Atterberg (Límite líquido y Límite Plástico)

**Revisado por:** Ing. Jorge Nuñez V.

**Norma:** ASTM D4318-17

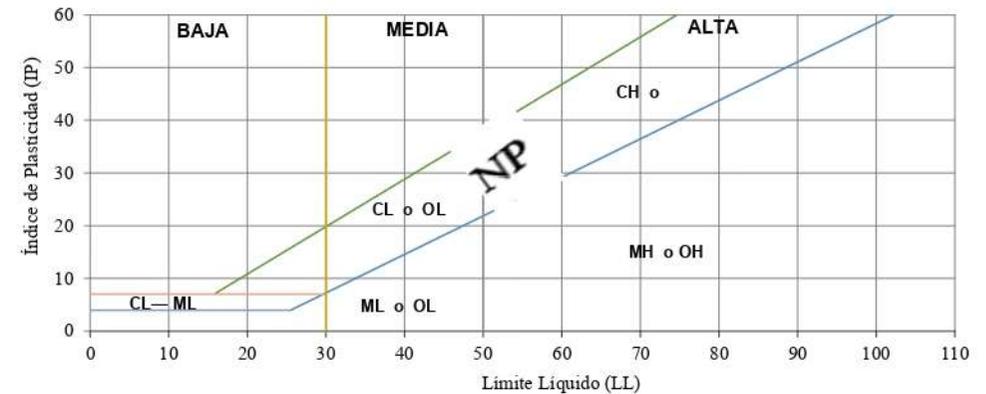
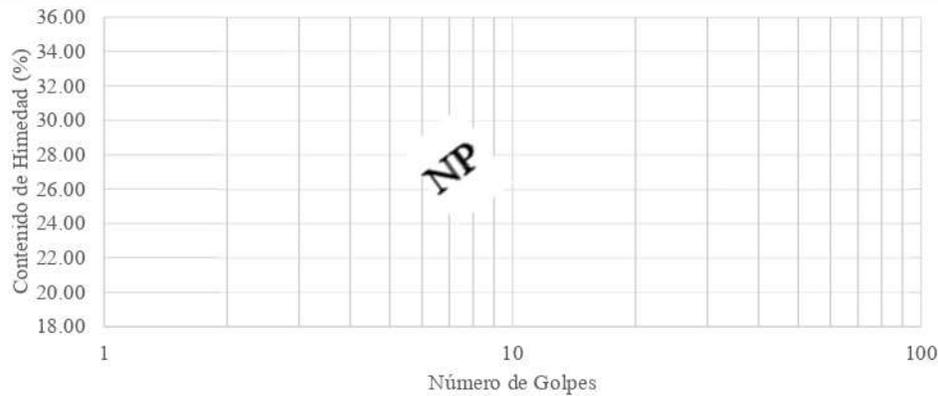
**N° Calicata:** 2.2

**Límite Líquido**

Número de Golpes	N° Capsula	Peso Cápsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso Cápsula (gr)	Contenido de Hiedad (%)	Promedio
					<b>NP</b>	

**Límite Plástico**

N° Capsula	Peso Cápsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso Cápsula (gr)	Contenido de Hiedad (%)	Límite Plástico LP
					<b>NP</b>



<b>REPORTE DE RESULTADOS:</b>	<b>LL (%)</b>	<b>NP</b>	<b>LP (%)</b>	<b>NP</b>	<b>IP (%)</b>	<b>NP</b>
-------------------------------	---------------	-----------	---------------	-----------	---------------	-----------



**Proyecto:** Influencia de la Melaza de Caña de Azúcar en la Permeabilidad de Muestras de Suelo Arenoso de una Subrasante

**Ensayado por:** Condo Barreros Irvin Andres  
 Cusco Cando Luis Alexander

**Ensayo:** Límites de Atterberg (Límite líquido y Límite Plástico)

**Revisado por:** Ing. Jorge Nuñez V.

**Norma:** ASTM D4318-17

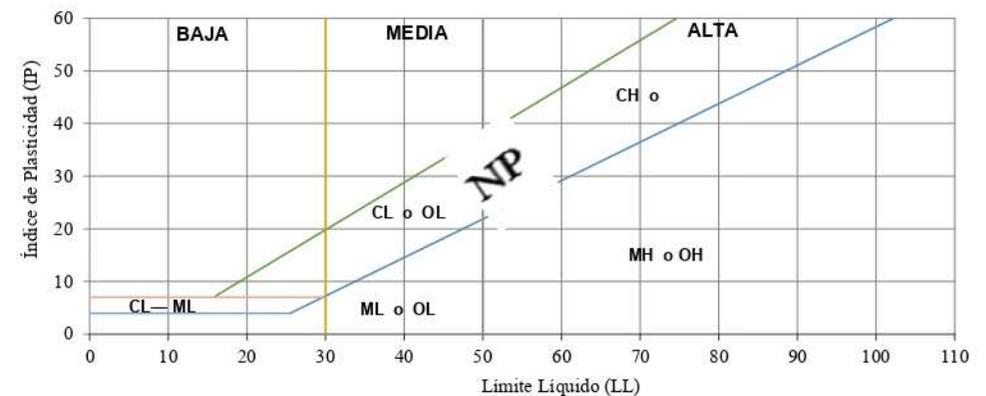
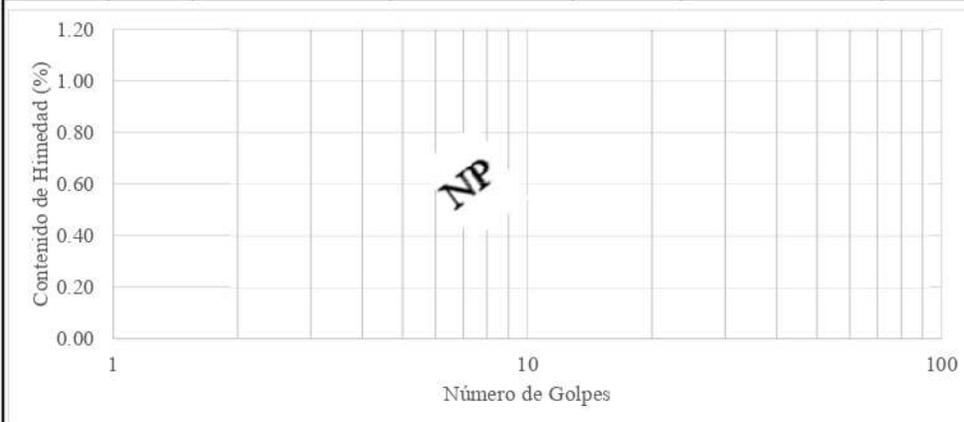
**Nº Calicata:** 3.1

**Límite Líquido**

Número de Golpes	Nº Capsula	Peso Cápsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso Cápsula (gr)	Contenido de Hiedad (%)	Promedio
					<b>NP</b>	

**Límite Plástico**

Nº Capsula	Peso Cápsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso Cápsula (gr)	Contenido de Hiedad (%)	Límite Plástico LP
					<b>NP</b>



<b>REPORTE DE RESULTADOS:</b>	<b>LL (%)</b>	<b>NP</b>	<b>LP (%)</b>	<b>NP</b>	<b>IP (%)</b>	<b>NP</b>
-------------------------------	---------------	-----------	---------------	-----------	---------------	-----------



**Proyecto:** Influencia de la Melaza de Caña de Azúcar en la Permeabilidad de Muestras de Suelo Arenoso de una Subrasante

**Ensayado por:** Condo Barreros Irvin Andres  
 Cusco Cando Luis Alexander

**Ensayo:** Límites de Atterberg (Límite líquido y Límite Plástico)

**Revisado por:** Ing. Jorge Nuñez V.

**Norma:** ASTM D4318-17

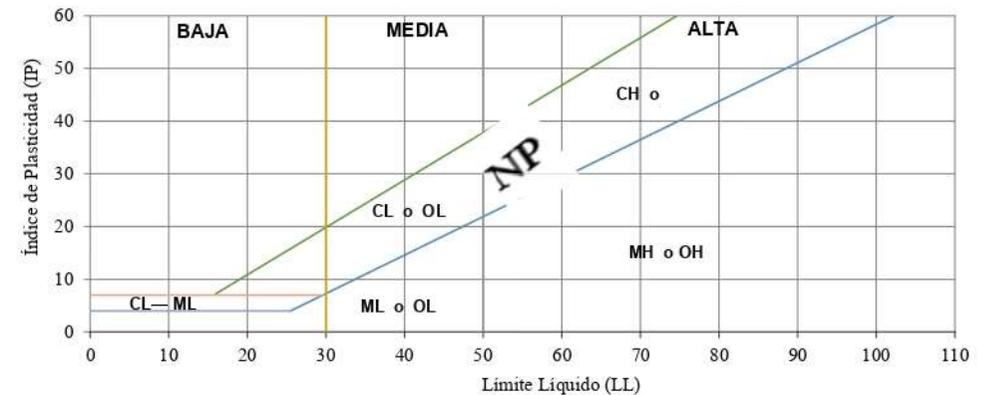
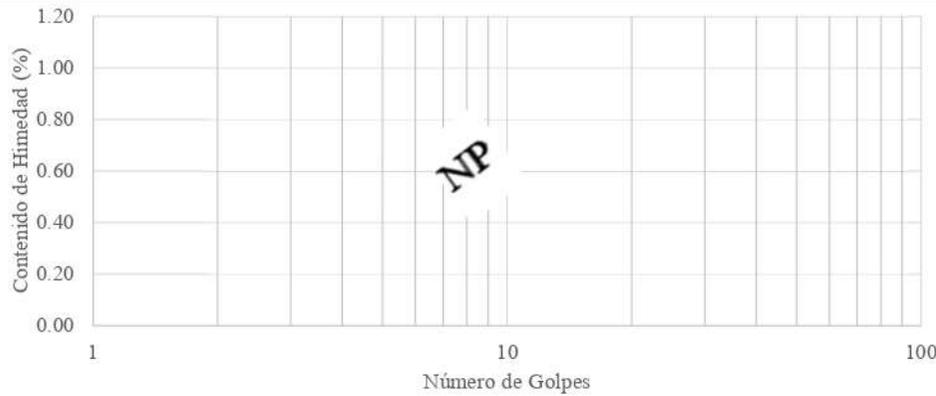
**N° Calicata:** 3.2

**Límite Líquido**

Número de Golpes	N° Capsula	Peso Cápsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso Cápsula (gr)	Contenido de Hiedad (%)	Promedio
					<b>NP</b>	

**Límite Plástico**

N° Capsula	Peso Cápsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso Cápsula (gr)	Contenido de Hiedad (%)	Límite Plástico LP
					<b>NP</b>



<b>REPORTE DE RESULTADOS:</b>	<b>LL (%)</b>	<b>NP</b>	<b>LP (%)</b>	<b>NP</b>	<b>IP (%)</b>	<b>NP</b>
-------------------------------	---------------	-----------	---------------	-----------	---------------	-----------



**Proyecto:** Influencia de la Melaza de Caña de Azúcar en la Permeabilidad de Muestras de Suelo Arenoso de una Subrasante

**Ensayado por:** Condo Barreros Irvin Andres  
 Cusco Cando Luis Alexander

**Ensayo:** Límites de Atterberg (Límite líquido y Límite Plástico)

**Revisado por:** Ing. Jorge Nuñez V.

**Norma:** ASTM D4318-17

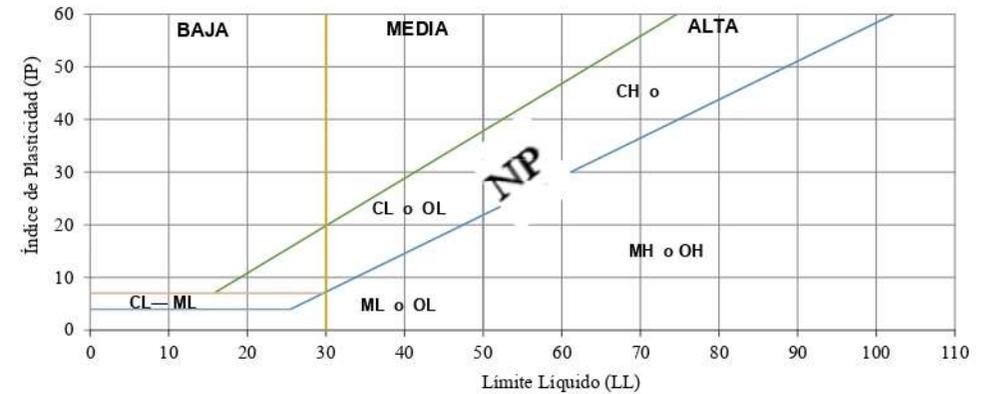
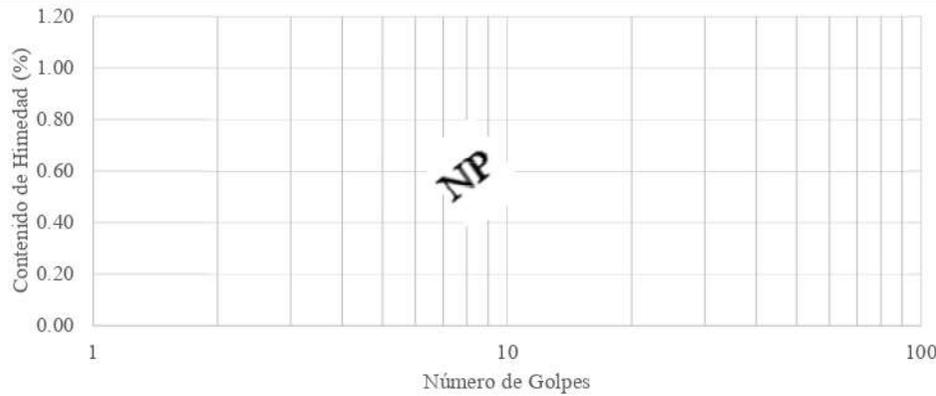
**N° Calicata:** 4.1

**Límite Líquido**

Número de Golpes	N° Capsula	Peso Cápsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso Cápsula (gr)	Contenido de Hiedad (%)	Promedio
					<b>NP</b>	

**Límite Plástico**

N° Capsula	Peso Cápsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso Cápsula (gr)	Contenido de Hiedad (%)	Límite Plástico LP
					<b>NP</b>



<b>REPORTE DE RESULTADOS:</b>	<b>LL (%)</b>	<b>NP</b>	<b>LP (%)</b>	<b>NP</b>	<b>IP (%)</b>	<b>NP</b>
-------------------------------	---------------	-----------	---------------	-----------	---------------	-----------

**Anexo 50.** Ensayo de Límites de Atterberg – Calicata 4.1



**Proyecto:** Influencia de la Melaza de Caña de Azúcar en la Permeabilidad de Muestras de Suelo Arenoso de una Subrasante

**Ensayado por:** Condo Barreros Irvin Andres  
 Cusco Cando Luis Alexander

**Ensayo:** Límites de Atterberg (Límite líquido y Límite Plástico)

**Revisado por:** Ing. Jorge Nuñez V.

**Norma:** ASTM D4318-17

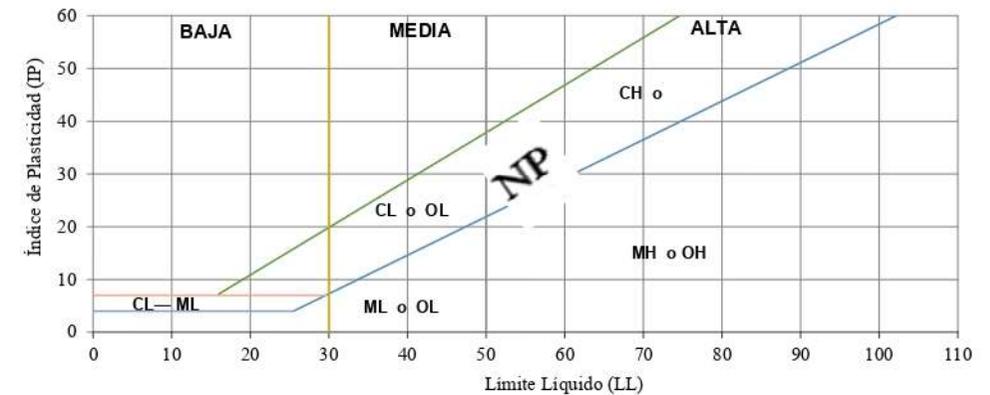
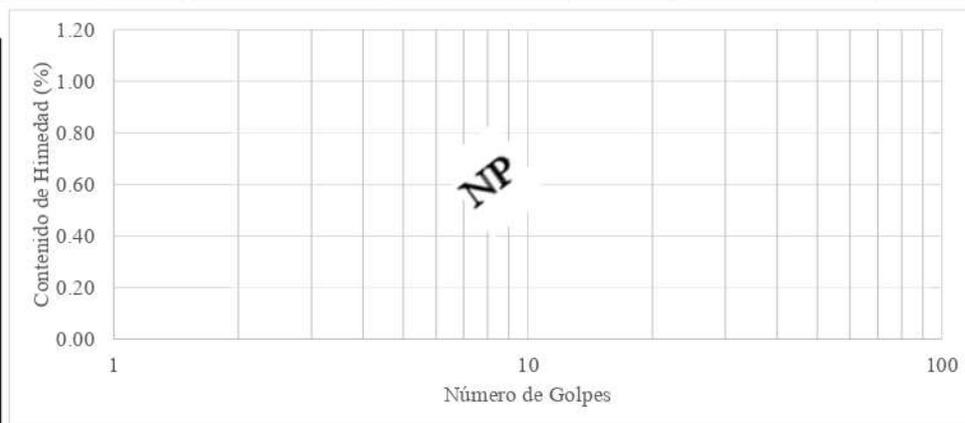
**Nº Calicata:** 4.2

**Límite Líquido**

Número de Golpes	Nº Capsula	Peso Cápsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso Cápsula (gr)	Contenido de Hiedad (%)	Promedio
					NP	

**Límite Plástico**

Nº Capsula	Peso Cápsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso Cápsula (gr)	Contenido de Hiedad (%)	Límite Plástico LP
					NP



**REPORTE DE RESULTADOS:**

LL (%)	NP	LP (%)	NP	IP (%)	NP
--------	----	--------	----	--------	----



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Civil**  
**Informe de Laboratorio**



Página

**Proyecto:** Influencia de la Melaza de Caña de Azúcar en la Permeabilidad de Muestras de Suelo Arenoso de una Subrasante

**Ensayado por:** Condo Barreros Irvin Andres  
 Cusco Cando Luis Alexander

**Ensayo:** Límites de Atterberg (Límite líquido y Límite Plástico)

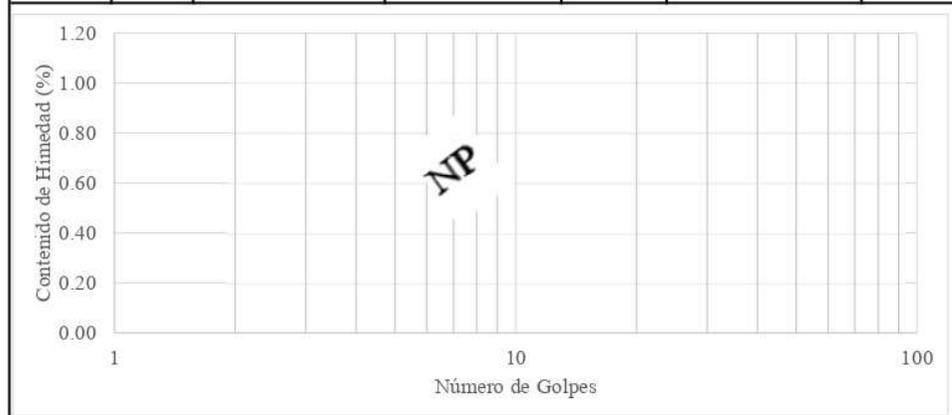
**Revisado por:** Ing. Jorge Nuñez V.

**Norma:** ASTM D4318-17

**N° Calicata:** 5.1

**Límite Líquido**

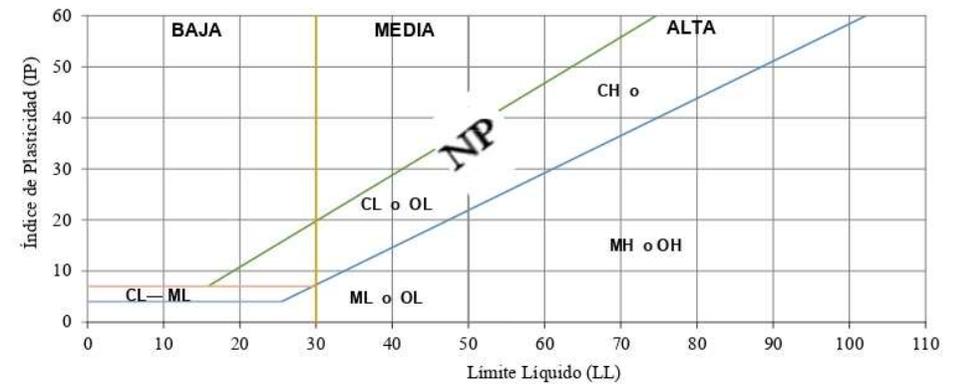
Número de Golpes	N° Capsula	Peso Cápsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso Cápsula (gr)	Contenido de Hiedad (%)	Promedio
					<b>NP</b>	



<b>REPORTE DE RESULTADOS:</b>	<b>LL (%)</b>	<b>NP</b>	<b>LP (%)</b>	<b>NP</b>	<b>IP (%)</b>	<b>NP</b>
-------------------------------	---------------	-----------	---------------	-----------	---------------	-----------

**Límite Plástico**

N° Capsula	Peso Cápsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso Cápsula (gr)	Contenido de Hiedad (%)	Límite Plástico LP
					<b>NP</b>





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Civil**  
**Informe de Laboratorio**



Página

**Proyecto:** Influencia de la Melaza de Caña de Azúcar en la Permeabilidad de Muestras de Suelo Arenoso de una Subrasante

**Ensayado por:** Condo Barreros Irvin Andres  
 Cusco Cando Luis Alexander

**Ensayo:** Límites de Atterberg (Límite líquido y Límite Plástico)

**Revisado por:** Ing. Jorge Nuñez V.

**Norma:** ASTM D4318-17

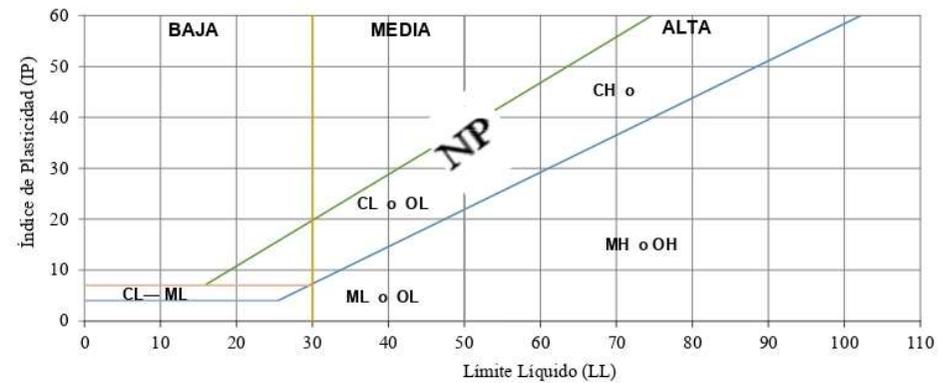
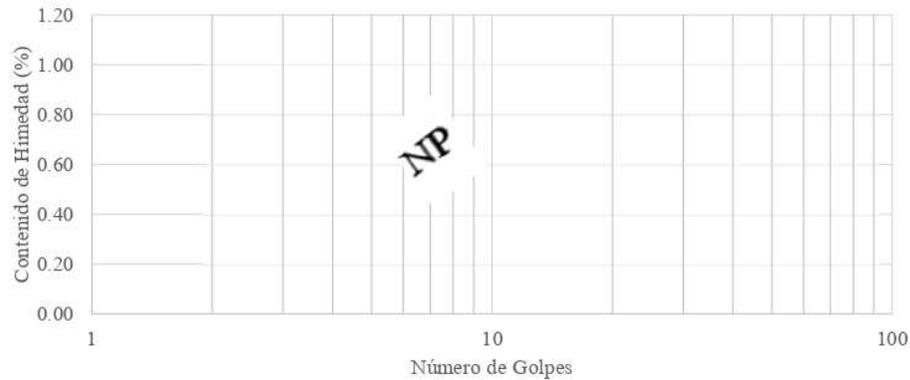
**N° Calicata:** 5.2

**Límite Líquido**

Número de Golpes	N° Capsula	Peso Cápsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso Cápsula (gr)	Contenido de Hiedad (%)	Promedio
					<b>NP</b>	

**Límite Plástico**

N° Capsula	Peso Cápsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso Cápsula (gr)	Contenido de Hiedad (%)	Límite Plástico LP
					<b>NP</b>



<b>REPORTE DE RESULTADOS:</b>	<b>LL (%)</b>	<b>NP</b>	<b>LP (%)</b>	<b>NP</b>	<b>IP (%)</b>	<b>NP</b>
-------------------------------	---------------	-----------	---------------	-----------	---------------	-----------

**Anexo 53. Ensayo de Límites de Atterberg – Calicata 5.2**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Civil**  
**Informe de Laboratorio**



**Proyecto:** Influencia de la melaza de caña de azúcar en la permeabilidad de muestras de suelo arenoso de una subrasante. **Ensayado Por:** - Condo Barreros Irvin Andres  
 - Cusco Cando Luis Alexander  
**Ensayo:** DENSIDAD EN CAMPO - MÉTODO CONO Y ARENA **Revisado Por:** Ing. Jorge Nuñez V.  
**Normas:** ASTM D1556 **Ubicación:** Barrio "Nuevo Riobamba"

**CALIBRACIÓN ARENA**

<b>Peso Molde Vacío:</b>	4.206 kg
<b>Volumen Molde:</b>	944 cm <sup>3</sup>

ENSAYO	MOLDE + ARENA [KG]	PESO ARENA [KG]	DENSIDAD [kg/cm <sup>3</sup> ]	DENSIDAD [g/cm <sup>3</sup> ]
1	5.650	1.444	0.001529661	1.529661017
2	5.651	1.445	0.00153072	1.530720339
3	5.654	1.448	0.001533898	1.533898305
<b>PROMEDIO DENSIDAD [g/cm<sup>3</sup>]:</b>		1.531426554		

**ARENA NECESARIA PARA LLENAR EL EMBUDO Y LA PLACA BASE**

ENSAYO	RECIPIENTE + ARENA [kg]	RECIPIENTE + ARENA SOBRENTE [kg]	ARENA NECESARIA
1	5.845	3.884	1.961
2	5.845	3.883	1.962
3	5.845	3.884	1.961
<b>PROMEDIO ARENA NECESARIA [Kg]:</b>		1.961	

**CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO IN SITU**

CALICATA	W tara [g]	W Tara + muestra Humeda [g]	W tara + muestra seca [g]	W Muestra Humeda [g]	W Muestra Seca [g]	W agua	Humedad [%]	PROMEDIO HUMEDAD [%]
1	14.9	49.8	47.7	34.9	32.8	2.1	6.4024	6.475
	14.5	50.3	48.1	35.8	33.6	2.2	6.5476	
2	14.6	51.6	49.4	37	34.8	2.2	6.3218	
	14.8	52.4	50.1	37.6	35.3	2.3	6.5156	
3	14.7	42.4	40.7	27.7	26	1.7	6.5385	
	14.2	47.6	45.6	33.4	31.4	2	6.3694	
4	14.1	46.3	44.4	32.2	30.3	1.9	6.2706	6.458
	14.4	46.5	44.5	32.1	30.1	2	6.6445	
5	14.8	59.2	56.5	44.4	41.7	2.7	6.4748	
	15.3	63.7	60.8	48.4	45.5	2.9	6.3736	
<b>PROMEDIO [%]:</b>							6.45	

**DENSIDADES EN CAMPO**

CALICATA	MASA SUELO EXTRAIDO [g]	MASA ARENA HOYO [g]	MASA ARENA SOBRENTE [g]	VOLUMEN HOYO [cm <sup>3</sup> ]	MASA SECA SUELO EXTRAIDO [g]	DENSIDAD HÚMEDA [g/cm <sup>3</sup> ]	DENSIDAD SECA [g/cm <sup>3</sup> ]
1	3705.9	4380.9	627	1579.943	3480.534	2.346	2.203
2	3001.9	4387.9	620	1584.514	2820.839	1.895	1.780
3	2899.9	4299.9	708	1527.051	2724.089	1.899	1.784
4	2993.9	4365.9	642	1570.148	2812.294	1.907	1.791
5	3821.9	4118.9	889	1408.861	3591.194	2.713	2.549

**REPORTE DE RESULTADOS:**

Humedad Promedio:	6.45 %
Densidad 1:	2.203 g/cm <sup>3</sup>
Densidad 2:	1.780 g/cm <sup>3</sup>
Densidad 3:	1.784 g/cm <sup>3</sup>
Densidad 4:	1.791 g/cm <sup>3</sup>
Densidad 5:	2.549 g/cm <sup>3</sup>



**Proyecto:** Influencia de la melaza de caña de azúcar en la permeabilidad de muestras de suelo arenoso de una subrasante.

**Ensayado Por:** - Condo Barreros Irvin Andres  
- Cosco Cando Luis Alexander

**Ensayo:** Gravedad Especifica de los Sólidos del suelo por picnómetro

**Revisado Por:** Ing. Jorge Nuñez V.

**Normas:** ASTM D854-14

**Ubicación:** Barrio "Nuevo Riobamba"

**CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO**

Nº	MASA DEL PICNÓMETRO
1	159.91
2	159.91
3	159.9
4	159.91
5	159.9
<b>PROMEDIO</b>	159.906
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	0.00548

TIPO DE SUELO	VOLUMEN PICNOMETRO A USAR [ml]	MASA REQUERIDA [g]
SP	500	100±10

<0.02g **OK**

Temperatura T [°C]	Masa Picnómetro y Agua M <sub>pw,c</sub> [g]	Masa seca picnómetro M <sub>p</sub> [g]	Densidad Agua a temperatura Calibración ρ <sub>w</sub> [g/ml]	Volumen Picnómetro V <sub>p</sub> [ml]
20.00	660.90	159.906	0.99821	501.89
23.00	660.60	159.906	0.99754	501.93
24.00	660.50	159.906	0.99730	501.95
27.00	660.10	159.906	0.99652	501.94
28.00	660.00	159.906	0.99624	501.98
<b>VOLUMEN PROMEDIO</b>				501.94
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>				0.03

<0.05 ml **OK**

**GRAVEDAD ESPECÍFICA**

Temperatura T [°C]	Densidad Agua a temperatura ensayo ρ <sub>wt</sub> [g/ml]	Masa Picnómetro y Agua a Temperatura Ensayo M <sub>pw,t</sub> [g]	Masa del Suelo [g]	M <sub>s</sub>	Masa Picnómetro, Agua y Suelo a Temperatura Ensayo M <sub>pwst</sub> [g]	Gravedad Especifica a Temperatura de Ensayo G <sub>t</sub>	Coefficiente de Temperatura K	Gravedad Especifica a 20°C
22	0.99777	660.7251969	100		723.15	2.661	0.9996	2.660
24	0.99730	660.4892858	100		722.83	2.655	0.9991	2.653
25	0.99705	660.3638012	100		723.36	2.702	0.9989	2.699
24	0.99730	660.4892858	100		722.71	2.647	0.9991	2.645
22	0.99777	660.7251969	100		723.35	2.676	0.9996	2.675
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA PROMEDIO:</b>								2.6664

**REPORTE DE RESULTADOS:**

Gravedad Especifica: 2.6664



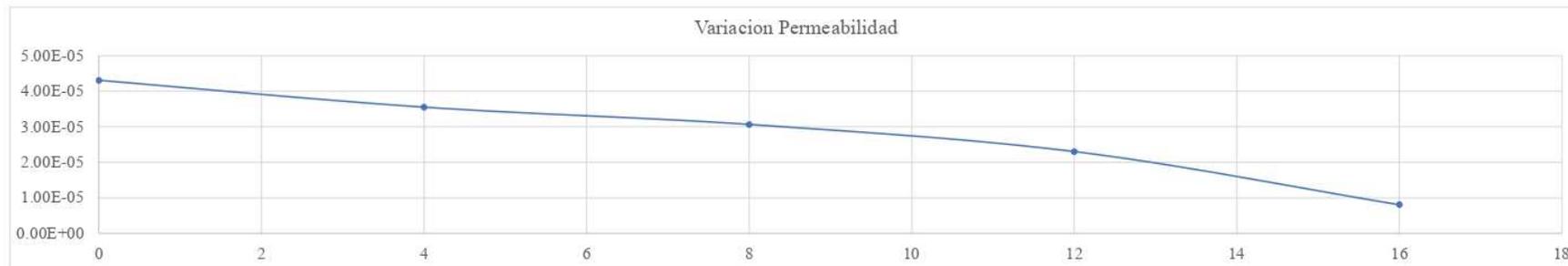
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Civil**  
**Informe de Laboratorio**



**Proyecto:** Influencia de la Melaza de Caña de Azúcar en la Permeabilidad de Muestras de Suelo Arenoso de una Subrasante  
**Ensayo:** Permeabilidad - Carga Constante  
**Normas:** ASTM D2434-22

**Ensayado Por:** - Condo Barreros Irvin Andres  
 - Cusco Cando Luis Alexander  
**Revisado Por:** Ing. Jorge Nuñez V.  
**Calicata:** 1

Porcentaje de melaza	0		4		8		12		16	
Diametro Especimen (m)	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092
Longitud Inicial del Especimen (m)	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Δ Tiempo (s)	61.69	65.31	75.54	76.46	87.01	89.3	120.03	117.37	331.86	336.13
Temperatura (°C)	22	22	23	22	23	22	22	22	23	22
Volumen de salida (m3)	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015
Δ Altura (m)	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26
Longitud final del especimen (m)	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Longitud media de la muestra (m)	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Gradiente Hidraulica	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875
k (m/s)	4.64E-05	4.39E-05	3.79E-05	3.75E-05	3.29E-05	3.21E-05	2.39E-05	2.44E-05	8.63E-06	8.52E-06
k20	0.953	0.953	0.931	0.953	0.931	0.953	0.953	0.953	0.931	0.953
v (m/s)	4.42779E-05	4.18237E-05	3.53202E-05	3.57246E-05	3.06641E-05	3.0588E-05	2.27569E-05	2.32726E-05	8.03979E-06	8.12634E-06
Promedio	4.30508E-05		3.55224E-05		3.06261E-05		2.30147E-05		8.08307E-06	



**REPORTE DE RESULTADOS:**

Coefficiente de Permeabilidad 0% melaza:	4.3051E-05 m/s
Coefficiente de Permeabilidad 4% melaza:	3.5522E-05 m/s
Coefficiente de Permeabilidad 8% melaza:	3.0626E-05 m/s
Coefficiente de Permeabilidad 12% melaza:	2.3015E-05 m/s
Coefficiente de Permeabilidad 16% melaza:	8.0831E-06 m/s



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Civil**  
**Informe de Laboratorio**



**Proyecto:** Influencia de la melaza de caña de azúcar en la permeabilidad de muestras de suelo arenoso de una subrasante.

**Ensayado Por:** - Condo Barreros Irvin Andres  
 - Cusco Cando Luis Alexander

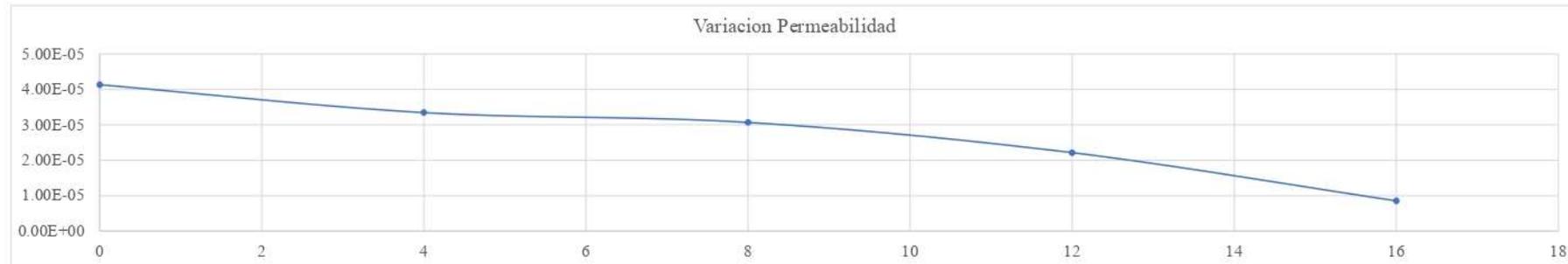
**Ensayo:** Permeabilidad - Carga Constante

**Revisado Por:** Ing. Jorge Nuñez V.

**Normas:** ASTM D2434-22

**Calicata:** 2

Porcentaje de melaza	0		4		8		12		16	
Diametro Especimen (m)	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092
Longitud Inicial del Especimen (m)	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Δ Tiempo (s)	67.51	66.22	80.23	83.11	88.1	87.82	125.62	121.37	316.54	330.78
Temperatura (°C)	21	22	22	22	23	22	22	22	21	22
Volumen de salida (m3)	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015
Δ Altura (m)	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26
Longitud final del espécimen (m)	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Longitud media de la muestra (m)	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Gradiente Hidraulica	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875
k (m/s)	4.24E-05	4.33E-05	3.57E-05	3.45E-05	3.25E-05	3.26E-05	2.28E-05	2.36E-05	9.05E-06	8.66E-06
k20	0.976	0.953	0.953	0.953	0.931	0.953	0.953	0.953	0.976	0.953
v (m/s)	4.14371E-05	4.1249E-05	3.40459E-05	3.28662E-05	3.02847E-05	3.11035E-05	2.17442E-05	2.25056E-05	8.83749E-06	8.25777E-06
Promedio	4.1343E-05		3.3456E-05		3.06941E-05		2.21249E-05		8.54763E-06	



**REPORTE DE RESULTADOS:**

Coefficiente de Permeabilidad 0% melaza:	4.1343E-05 m/s
Coefficiente de Permeabilidad 4% melaza:	3.3456E-05 m/s
Coefficiente de Permeabilidad 8% melaza:	3.0694E-05 m/s
Coefficiente de Permeabilidad 12% melaza:	2.2125E-05 m/s
Coefficiente de Permeabilidad 16% melaza:	8.5476E-06 m/s



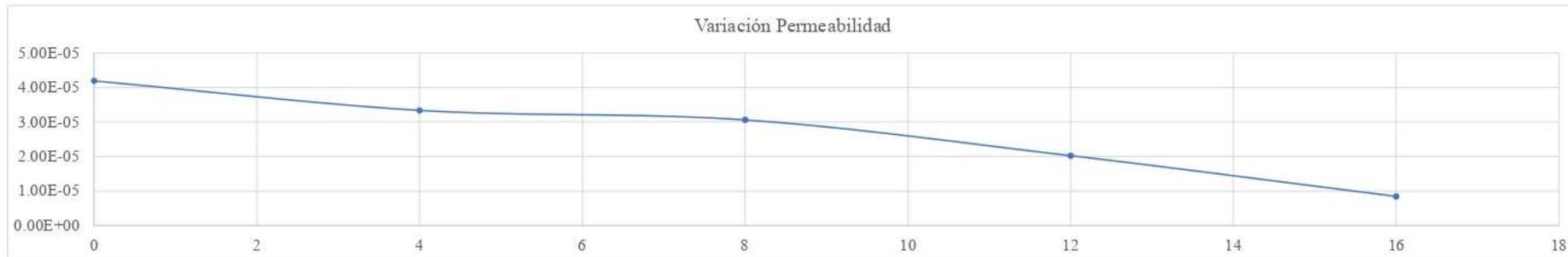
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Civil**  
**Informe de Laboratorio**



**Proyecto:** Influencia de la melaza de caña de azúcar en la permeabilidad de muestras de suelo arenoso de una subrasante.  
**Ensayo:** Permeabilidad - Carga Constante  
**Normas:** ASTM D2434-22

**Ensayado Por:** - Condo Barreros Irvin Andres  
 - Cusco Cando Luis Alexander  
**Revisado Por:** Ing. Jorge Nuñez V.  
**Calicata:** 3

Porcentaje de melaza	0		4		8		12		16	
Diametro Especimen (m)	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092
Longitud Inicial del Especimen (m)	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Δ Tiempo (s)	65.89	64.43	78.53	79.61	86.87	89.58	133.49	136.48	324.96	329.6
Temperatura (°C)	22	22	24	23	23	22	22	22	22	21
Volumen de salida (m3)	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015
Δ Altura (m)	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26
Longitud final del espécimen (m)	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Longitud media de la muestra (m)	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Gradiente Hidraulica	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875
k (m/s)	4.35E-05	4.45E-05	3.65E-05	3.60E-05	3.30E-05	3.20E-05	2.15E-05	2.10E-05	8.82E-06	8.69E-06
k20	0.953	0.953	0.910	0.931	0.931	0.953	0.953	0.953	0.953	0.976
v (m/s)	4.14555E-05	4.23949E-05	3.31972E-05	3.35145E-05	3.07135E-05	3.04924E-05	2.04623E-05	2.0014E-05	8.40567E-06	8.48731E-06
Promedio	4.19252E-05		3.33558E-05		3.0603E-05		2.02381E-05		8.44649E-06	



**REPORTE DE RESULTADOS:**

Coefficiente de Permeabilidad 0% melaza:	4.1925E-05 m/s
Coefficiente de Permeabilidad 4% melaza:	3.3356E-05 m/s
Coefficiente de Permeabilidad 8% melaza:	3.0603E-05 m/s
Coefficiente de Permeabilidad 12% melaza:	2.0238E-05 m/s
Coefficiente de Permeabilidad 16% melaza:	8.4465E-06 m/s



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Civil**  
**Informe de Laboratorio**



**Proyecto:** Influencia de la melaza de caña de azúcar en la permeabilidad de muestras de suelo arenoso de una subrasante.

**Ensayado Por:** - Condo Barreros Irvin Andres  
 - Cusco Cando Luis Alexander

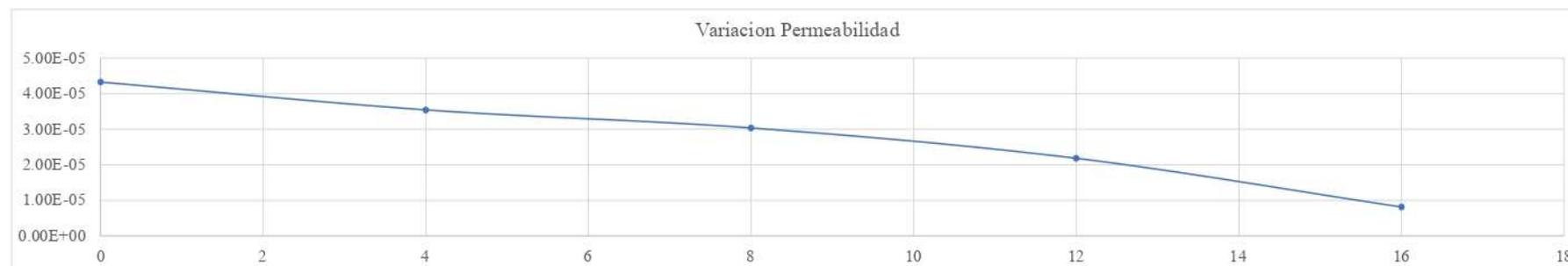
**Ensayo:** Permeabilidad - Carga Constante

**Revisado Por:** Ing. Jorge Nuñez V.

**Normas:** ASTM D2434-22

**Calicata:** 4

Porcentaje de melaza	0		4		8		12		16	
Diametro Especimen (m)	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092
Longitud Inicial del Especimen (m)	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Δ Tiempo (s)	63.73	62.5	78.94	73.8	91.44	92.89	122.69	124.8	331.24	339.56
Temperatura (°C)	22	22	23	22	21	21	22	23	22	22
Volumen de salida (m3)	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015
Δ Altura (m)	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26
Longitud final del especimen (m)	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Longitud media de la muestra (m)	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Gradiente Hidraulica	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875
k (m/s)	4.50E-05	4.58E-05	3.63E-05	3.88E-05	3.13E-05	3.08E-05	2.34E-05	2.30E-05	8.65E-06	8.44E-06
k20	0.953	0.953	0.931	0.953	0.976	0.976	0.953	0.931	0.953	0.953
v (m/s)	4.28606E-05	4.37041E-05	3.37989E-05	3.70123E-05	3.05929E-05	3.01154E-05	2.22635E-05	2.13789E-05	8.2463E-06	8.04425E-06
Promedio	4.32823E-05		3.54056E-05		3.03542E-05		2.18212E-05		8.14528E-06	



**REPORTE DE RESULTADOS:**

Coefficiente de Permeabilidad 0% melaza:	4.3282E-05 m/s
Coefficiente de Permeabilidad 4% melaza:	3.5406E-05 m/s
Coefficiente de Permeabilidad 8% melaza:	3.0354E-05 m/s
Coefficiente de Permeabilidad 12% melaza:	2.1821E-05 m/s
Coefficiente de Permeabilidad 16% melaza:	8.1453E-06 m/s

**Anexo 59. Ensayo de Permeabilidad – Calicata 4**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Civil**  
**Informe de Laboratorio**



**Proyecto:** Influencia de la melaza de caña de azúcar en la permeabilidad de muestras de suelo arenoso de una subrasante.

**Ensayado Por:** - Condo Barreros Irvin Andres  
 - Cusco Cando Luis Alexander

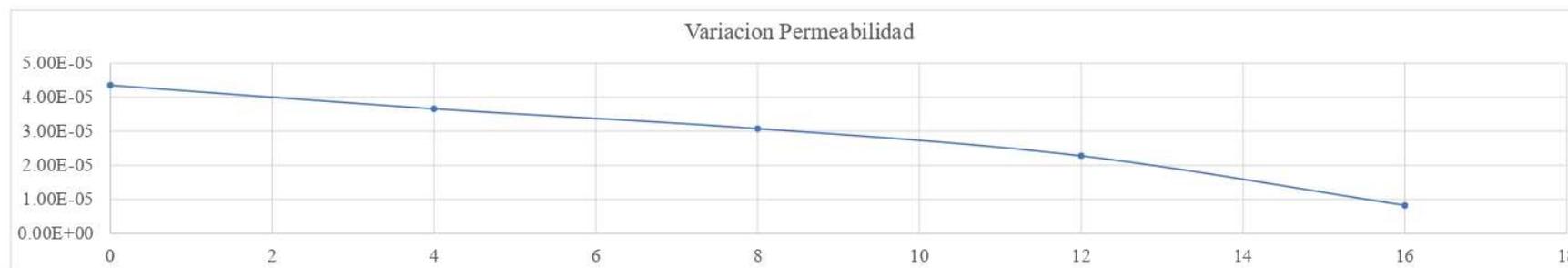
**Ensayo:** Permeabilidad - Carga Constante

**Revisado Por:** Ing. Jorge Nuñez V.

**Normas:** ASTM D2434-22

**Calicata:** 5

Porcentaje de melaza	0		4		8		12		16	
Diametro Especimen (m)	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092
Longitud Inicial del Especimen (m)	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Δ Tiempo (s)	61.16	62.94	73.51	75.84	90.93	88.84	122.11	123.41	328.92	320.09
Temperatura (°C)	23	22	22	22	22	21	21	21	23	23
Volumen de salida (m3)	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015
Δ Altura (m)	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26
Longitud final del especimen (m)	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Longitud media de la muestra (m)	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Gradiente Hidraulica	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875
k (m/s)	4.68E-05	4.55E-05	3.90E-05	3.78E-05	3.15E-05	3.23E-05	2.35E-05	2.32E-05	8.71E-06	8.95E-06
k20	0.931	0.953	0.953	0.953	0.953	0.976	0.976	0.976	0.931	0.931
v (m/s)	4.36247E-05	4.33986E-05	3.71583E-05	3.60167E-05	3.00397E-05	3.14883E-05	2.2909E-05	2.26677E-05	8.11166E-06	8.33542E-06
Promedio	4.35116E-05		3.65875E-05		3.0764E-05		2.27883E-05		8.22354E-06	



**REPORTE DE RESULTADOS:**

Coefficiente de Permeabilidad 0% melaza:	4.3512E-05 m/s
Coefficiente de Permeabilidad 4% melaza:	3.6587E-05 m/s
Coefficiente de Permeabilidad 8% melaza:	3.0764E-05 m/s
Coefficiente de Permeabilidad 12% melaza:	2.2788E-05 m/s
Coefficiente de Permeabilidad 16% melaza:	8.2235E-06 m/s