



# UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Universidad  
Andina  
del Cusco**

TESIS

---

**“INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO –  
MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA  
PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV.  
PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN  
JERÓNIMO – CUSCO”.**

---

**Presentado por:**

Bach. Huayllani Aguilar, Blaz Cyder

Bach. Velarde Florez, Jorge Aldair

**Para optar el Título Profesional de:**

Ingeniero Civil

**Asesor:**

Mg. Ing. Eigner Roman Villegas

**CUSCO – PERÚ**

**2022**



## Dedicatoria

El presente trabajo de investigación es dedicado principalmente a mis padres, el Lic. Ceferino Huayllani Llacma y la Sra. Aide Aguilar Aparicio, por ser mi principal motivación y ejemplo de vida, agradecerles por su sacrificio y confianza, sin ellos no habría sido posible concretar este gran paso.

A mis docentes, por todas sus recomendaciones y ser los artífices de la educación y formación con la que hoy mi persona cuenta.

A mi hermana, Cendy por ser un gran soporte incondicional, que siempre estuvo predispuesta a ayudarme en los momentos más difíciles.

A Liss por ser la persona que complementa mi vida.

A mis compañeros y amigos, por compartir momentos de felicidad, alegría, sacrificio y por qué son parte de una de las etapas más bonitas de mi vida

- Blaz

A mi apreciada familia, amigos y compañeros de trabajo, personas de gran valor y carisma en mi vida, en quienes deposito toda mi fe y confianza, sencillas y nobles, quienes continuamente me enseñan diferentes formas sobre como pensar, creer, soñar y atreverse a ir en busca de grandes propósitos, sobrellevando aquellas adversidades que puedan presentarse sin dejar de lado la oportunidad de aprovechar cada una de estas experiencias y a estar preparado para poder afrontarlas.

- Jorge



## Agradecimiento

Queremos agradecer encarecidamente a nuestros padres, quienes han logrado que cada uno de nuestros hogares y familia formen parte de nuestra esencia individual; queremos que confíen en la educación que se nos ha brindado incondicionalmente, ya que, en cada acto de nuestro diario vivir, siempre están presentes nuestros padres protectores y madres cariñosas; ellos son quienes han guiado con calma y seguridad cada una de nuestras vidas, han señalado y corregido con amor y especial cariño los errores cometidos. A ellos debemos cada uno de los logros que hemos alcanzado y es por su perseverancia y comprensión que se está dando este gran paso en nuestras vidas como profesionales.

A nuestros docentes Ingenieros que, durante nuestra etapa de vida universitaria, nos brindaron una formación adecuada para servir a la sociedad con ética y moral.

Al Mg. Ing. Eigner Roman Villegas, por aceptar y comprometerse a formar parte de este pequeño proyecto, por brindarnos una parte de su tiempo, para poder guiarnos con paciencia y compromiso, así como para proporcionarnos los conocimientos necesarios para la elaboración y consolidación de esta Tesis de Investigación.

Y un agradecimiento especial para cada uno de nuestros amigos y compañeros de trabajo por todo el cariño, comprensión y apoyo brindado.

- Blaz y Jorge



## Resumen

Este trabajo de investigación cumple con el propósito de determinar en qué medida se modifican las propiedades Físico – Mecánicas de suelos arcillosos de la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo - Cusco con fines de subrasante para pavimentos, al adicionarle Colofonia de Pino como agente mejorador en las cantidades de 3%, 5% y 7%, para lo cual se realizaron pruebas de laboratorio, según al “Manual de Ensayo de Materiales” (2016).

El enfoque con el que se ha trabajado esta investigación es de carácter cuantitativo, debido a que durante la realización de las diferentes actividades se han registrado datos correspondientes a cada porcentaje de combinación, que se contrastan con las hipótesis basadas en los resultados procesados y obtenidos. En relación al alcance debe de señalarse que se describe las principales características Físico – Mecánicas del Suelo Arcilloso en combinación con la Colofonia de Pino. Se trabajó únicamente con muestras arcillosas, obtenidas de la Av. Primavera del distrito de San Jerónimo, en combinación con los porcentajes mencionados.

Respecto a los resultados obtenidos de la muestra patrón y las muestras con Colofonia de Pino al 3%, 5% y 7%, se concluye, que la Granulometría no presenta variaciones representativas, por su parte los porcentajes de los Límites de Consistencia llegaron a reducirse respecto a las muestras inalteradas, las Densidades Máximas Secas experimentaron cierto descenso, debido principalmente a la incorporación del agente mejorador, este recurso al ser un insumo de menor densidad al del suelo arcilloso compactado, hace que se obtengan densidades menores. Respecto a la Densidad Máxima Seca de 1.77 gr/cm<sup>3</sup> (muestra patrón), las densidades obtenidas experimentan un descenso entre 0.03 – 0.07 gr/cm<sup>3</sup>. En relación al Contenido de Humedad Óptimo del 18.00 % (muestra patrón), los porcentajes se reducen al 17.43%, 17.11% y 16.78%, respecto a la adición de Colofonia de Pino al 3%, 5% y 7% respectivamente. Para los resultados de los ensayos de CBR se destaca la mejora que produce la Colofonia de Pino sobre las muestras evaluadas, llegando a cambiar el valor de CBR, de una Subrasante Pobre con un CBR de 4.00% (muestra patrón), a un valor correspondiente de una Subrasante Regular; a partir de la primera aplicación del 3% se proporciona un CBR de 6.74%, con el 5% se obtiene un CBR de 7.49% y con el 7% se tiene un CBR de 8.25%, el cual rebasa el 6% requerido por la norma del MTC, teniendo la certeza de que la Colofonia de Pino puede ser empleado como un aditivo mejorador, para fundaciones arcillosas en obras viales.

**Palabras claves:** Adición, CBR, Colofonia de Pino, Muestras, Subrasante, Suelo Arcilloso.





## Abstract

This research work fulfills the purpose of determining to what extent the Physical-Mechanical properties of clayey soils of Av. Primavera of the APV are modified. Pillao Matao of the district of San Jerónimo - Cusco for subgrade purposes for pavements, by adding Pino Colophony as an improving agent in the amounts of 3%, 5% and 7%, for which laboratory tests were carried out, according to the “Manual de Ensayo de Materiales” (2016).

The approach with which this research has been carried out is of a quantitative nature, due to the fact that during the performance of the different activities, data corresponding to each combination percentage have been recorded, which are contrasted with the hypotheses based on the processed and obtained results. In relation to the scope, it should be noted that the main Physical-Mechanical characteristics of Clay Soil in combination with Pine Rosin are described. We worked only with clay samples, obtained at Av. Primavera in the district of San Jerónimo, in combination with the mentioned percentages.

Regarding the results obtained from the standard sample and the samples with Pine Rosin at 3%, 5% and 7%, it is concluded that the Granulometry does not present representative variations, meanwhile the percentages of the Consistency Limits were reduced. Regarding the unaltered samples, the Maximum Dry Densities experienced a certain decrease, mainly due to the incorporation of the improving agent, this resource, being an input of lower density than that of the compacted clay soil, causes lower densities to be obtained. Regarding the Maximum Dry Density of 1.77 gr/cm<sup>3</sup> (pattern sample), the densities obtained experience a decrease between 0.03 – 0.07 gr/cm<sup>3</sup>. In relation to the Optimum Moisture Content of 18.00% (pattern sample), the percentages are reduced to 17.43%, 17.11% and 16.78%, with respect to the addition of Pine Rosin at 3%, 5% and 7% respectively. For the results of the CBR tests, the improvement produced by the Pine Rosin on the evaluated samples stands out, changing the CBR value, from a Poor Subgrade with a CBR of 4.00% (pattern sample), to a corresponding value of a Regular Subgrade; from the first application of 3%, a CBR of 6.74% is provided, with 5% a CBR of 7.49% is obtained and with 7% a CBR of 8.25% is obtained, which exceeds the 6% required by the MTC standard, having the certainty that Pine Rosin can be used as an improving additive for clay foundations in road works.

**Keywords:** Addition, CBR, Pine Rosin, Samples, Subgrade, Clay Soil.



## Introducción

La infraestructura vial es un pilar fundamental con la que cuenta cada sociedad para lograr un crecimiento económico, debido a que este representa el principal medio que posibilita el transporte y la distribución tanto de los recursos económicos como de otros agentes y partícipes, que posibilitan la existencia de mercados eficientes.

Dentro del contexto regional, según el Sistema Nacional de Carreteras (SINAC) para el año 2019, Cusco cuenta con un total de 17,504.70 Km de vías, todas ellas distribuidas entre las diferentes redes viales, esta cantidad representa el 9.97% de toda la infraestructura vial existente en el país, sin embargo, el 85.76% (15,011.40 Km) de sus carreteras se encuentran no pavimentadas, convirtiéndola en una de las regiones con menor cantidad de vías pavimentadas en el Perú, y con una urgente necesidad de inversión de varios millones de soles para lograr revertir esta situación y disminuir esta brecha tan notoria.

En tal sentido, se evaluó la Colofonia de Pino como un agente mejorador, en porcentajes controlados del 3%, 5% y 7%, aplicados sobre la fundación arcillosa de una vía. Al agregar este recurso en condición de triturado y con el mayor contenido posible de partículas menores al tamiz N° 200, se mejoró algunas magnitudes de las propiedades Físico-Mecánicas de los suelos arcillosos del sector en estudio, tal es el caso de la Densidad Máxima Seca obtenida, Contenido de Humedad Óptimo y la Capacidad de Soporte - CBR del suelo, con referencia a los parámetros que la normatividad vial del MTC lo establecen, de esta manera el estrato mejorado posea condiciones adecuadas para ser aceptado como subrasante de un pavimento. En relación a otras variables de los suelos arcillosos, como la Granulometría, no presentan variaciones representativas, por su parte los porcentajes de los Límites de Consistencia llegaron a reducirse con respecto a las muestras inalteradas o sin aditivo.

Para tales efectos muchos de los ensayos y actividades se dan según los lineamientos y protocolos que se establecen en el “Manual de Carreteras Sección: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos - 2013”, así como el “Manual de Ensayo de Materiales - 2016”, guías que hacen referencia al marco normativo del MTC, NTP, ASTM, AASHTO y entre otras instituciones.



Al hacer uso de estas nociones indispensables y seguir los protocolos que en estas guías se remarcan, se obtuvieron resultados fehacientes y fidedignos que podrán ser usados como referencia para investigaciones posteriores, y en el caso haya la posibilidad, pueda ser usado como alternativa para la conformación de la subrasante de algún proyecto vial.

Para un correcto orden y entendimiento del presente trabajo, este consta de diferentes apartados estructurados y distribuidos de la siguiente forma: En el apartado correspondiente al **Capítulo I**, se inicia con la identificación y descripción generalizada de la situación problemática abordada, se mencionan aspectos relacionados a la importancia, limitaciones y objetivos de la investigación. Por otra parte, en el **Capítulo II**, se considera las bases teóricas, precedentes tanto nacionales como extranjeros vinculados al Mejoramiento o Estabilización de suelos con presencia de arcillas en su conformación, que dan referencia y contraste de los resultados obtenidos en este trabajo de investigación; con respecto a la Colofonia de Pino, debido principalmente a que este recurso no cuenta con investigaciones referidas a su aplicación en la Ingeniería de Transportes, solo se mencionan generalidades y características para su procesamiento durante la realización de las actividades y ensayos a realizar; a su vez en este capítulo también se define la hipótesis y las variables de la investigación. Seguidamente en el **Capítulo III**, se expone la metodología de trabajo considerada y el diseño de ingeniería, secciones en las cuales se apoya la investigación. En el **Capítulo IV**, se exponen mediante gráficos y tablas cada uno de los registros realizados en laboratorio, así como también en algunas páginas más adelante se precisan los resultados procesados correspondientes a los ensayos que determinan cada propiedad evaluada a través de las diferentes actividades realizadas en laboratorio. Finalmente, para el **Capítulo V**, reservamos un apartado en el que exponemos y contrastamos en base a los antecedentes cada uno de los resultados obtenidos; en favor de discernir los resultados de la investigación también detallamos aquellas propiedades que pudieron haber sido mejoradas y aquellas que no fueron afectadas. En esta parte también consideramos las conclusiones de este trabajo de investigación y consideramos las recomendaciones necesarias que se tuvieron que seguir para estudiar la Colofonia de Pino, se mencionan aspectos de seguridad y salud durante las actividades, así como líneas de Investigación que derivan de la presente.



## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>I</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>II</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>IV</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE GENERAL.....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>XIV</b>
<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>XXI</b>
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.1.1. Descripción del Problema .....	1
1.1.2. Formulación del Problema .....	7
1.1.2.1. Formulación del Problema General .....	7
1.1.2.2. Formulación de los Problemas Específicos .....	7
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
1.2.1. Justificación Técnica.....	8
1.2.2. Justificación Social.....	9
1.2.3. Justificación por Viabilidad .....	9
1.2.4. Justificación por Relevancia.....	10
1.3. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
1.3.1. Limitaciones Geográficas.....	11
1.3.2. Limitaciones de Información.....	14
1.3.3. Limitaciones de Diseño .....	14
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	15
1.4.1. Objetivo General .....	15
1.4.2. Objetivos Específicos.....	15
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>



2.1.	ANTECEDENTES DE LA TESIS DE INVESTIGACIÓN.....	17
2.1.1.	Antecedentes a Nivel Nacional .....	17
2.1.2.	Antecedentes a Nivel Internacional.....	22
2.2.	ASPECTOS TEÓRICOS PERTINENTES .....	27
2.2.1.	Suelo.....	27
2.2.1.1.	Definición .....	27
2.2.1.2.	Estructura del Suelo .....	27
2.2.1.3.	Etapas y Procesos en la Formación del Suelo.....	28
2.2.1.4.	Factores de Formación y Evolución del Suelo (F.F.E.S).....	28
2.2.1.5.	Tamaño de las Partículas del Suelo.....	30
2.2.1.6.	Tipos de Suelos Generales .....	32
2.2.2.	Arcillas .....	34
2.2.2.1.	Definición .....	34
2.2.2.2.	Composición y Estructura de las Arcillas .....	35
2.2.2.3.	Clasificación de las Arcillas.....	36
2.2.2.4.	Propiedades Físico – Químicas de las Arcillas .....	38
2.2.2.5.	Propiedades Geotécnicas en Función de la composición Mineralógica .....	40
2.2.2.6.	Microfábrica de los Suelos Arcillosos .....	43
2.2.2.7.	Propiedades Geotécnicas en Función a la Microfábrica de Arcillas.....	49
2.2.2.8.	Propiedades Hidráulicas de las Arcillas.....	50
2.2.2.9.	Diferencia entre Arcillas y Arenas.....	52
2.2.3.	Pavimento.....	52
2.2.3.1.	Definición .....	52
2.2.3.2.	Tipos de Pavimentos .....	53
2.2.3.2.1.	Pavimentos Flexibles .....	53
2.2.3.2.2.	Pavimentos Rígidos .....	53
2.2.3.2.3.	Pavimentos Mixtos o Semirrígidos.....	54
2.2.3.3.	Estructura del Pavimento .....	54
2.2.3.3.1.	Carpeta .....	55
2.2.3.3.2.	Base.....	55
2.2.3.3.3.	Subbase .....	55



2.2.3.3.4.Subrasante.....	56
2.2.3.4. Funciones del Pavimento.....	56
2.2.3.5. Características Funcionales.....	57
2.2.4. Exploración de Suelos.....	57
2.2.4.1. Calicatas y Muestreo de Suelos.....	58
2.2.5. Ensayos de Laboratorio.....	59
2.2.5.1. Contenido de Humedad.....	59
2.2.5.2. Análisis Granulométrico por Tamizado.....	60
2.2.5.3. Límites de Atterberg.....	62
2.2.5.3.1.Estados de Consistencia.....	66
2.2.5.4. Sistemas de Clasificación de Suelos.....	67
2.2.5.4.1.Determinación del Perfil del Suelo.....	71
2.2.5.5. Ensayos de Compactación.....	72
2.2.5.6. Relación de Soporte de California (CBR).....	77
2.2.5.7. Módulo de Resiliencia.....	80
2.2.6. Resinación de Pino.....	81
2.2.6.1. Características de la Resina de Pino.....	83
2.2.6.2. Componentes de la Resina de Pino.....	84
2.2.6.2.1.Trementina.....	84
2.2.6.2.2.Colofonia de Pino.....	85
2.2.6.3. Indicadores de Calidad de los Componentes de la Resina.....	86
2.2.6.4. Usos de la Colofonia de Pino.....	87
2.2.6.5. Propiedades Físicas de la Colofonia de Pino.....	87
2.2.6.6. Modificaciones Químicas en la Colofonia de Pino.....	88
2.2.6.7. Situación actual de los Bosques de Pino en el Perú.....	89
2.2.6.1. El Árbol de Pino en la Región del Cusco.....	91
2.3. HIPÓTESIS.....	91
2.3.1. Hipótesis General.....	91
2.3.2. Sub Hipótesis.....	91
2.4. VARIABLES E INDICADORES.....	92
2.4.1. Variables Independientes.....	92



2.4.1.1. Descripción de la Variable.....	92
2.4.1.2. Indicadores de Variables Independientes.....	93
2.4.2. Variables Dependientes.....	93
2.4.2.1. Descripción de las Variables.....	93
2.4.2.2. Indicadores de Variables Dependientes.....	94
2.4.3. Cuadro de Operacionalización de Variables.....	94
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....</b>	<b>96</b>
3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	96
3.1.1. Enfoque de la Investigación.....	96
3.1.2. Nivel o Alcance de la Investigación.....	96
3.1.3. Método de Investigación.....	96
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	97
3.2.1. Diseño Metodológico.....	97
3.2.2. Diseño de Ingeniería.....	98
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	99
3.3.1. Población.....	99
3.3.1.1. Descripción de la Población.....	99
3.3.1.2. Cuantificación de la Población.....	99
3.3.2. Muestra.....	100
3.3.2.1. Descripción de la Muestra.....	101
3.3.2.2. Cuantificación de la Muestra.....	101
3.3.2.3. Método de muestreo.....	102
3.3.2.4. Criterios de evaluación de la muestra.....	103
3.3.3. Criterios de Inclusión.....	103
3.4. INSTRUMENTOS.....	105
3.4.1. Instrumentos Metodológicos o Instrumentos de Recolección de Datos.....	105
3.4.1.1. Recolección de Datos de los Ensayos en Laboratorio.....	105
3.4.1.2. Determinación para el Contenido de Humedad.....	105
3.4.1.3. Determinación del Análisis Granulométrico por Tamizado.....	106
3.4.1.4. Determinación del Límite Líquido.....	108
3.4.1.5. Determinación del Límite Plástico e índice de Plasticidad.....	109



3.4.1.6.	Determinación de la Clasificación de Suelos SUCS.....	110
3.4.1.7.	Determinación de la Clasificación de Suelos AASHTO .....	112
3.4.1.8.	Determinación de la Densidad Máxima Seca y el Contenido de Humedad Óptimo 114	
3.4.1.9.	Determinación de la Relación de Soporte - CBR .....	116
3.4.2.	Instrumentos de Ingeniería .....	121
3.4.2.1.	Instrumentos de Campo .....	121
3.4.2.2.	Instrumentos de Gabinete y Laboratorio.....	121
3.5.	PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	122
3.5.1.	Muestreo de Suelos (MTC E-101) .....	122
3.5.2.	Trituración de Colofonia de Pino .....	126
3.5.3.	Preparación en Seco de Muestras para el Análisis Granulométrico y determinación de las constantes del Suelo (MTC E- 106) .....	127
3.5.4.	Determinación del Contenido de Humedad (MTC E-108) .....	128
3.5.5.	Análisis Granulométrico de suelos por Tamizado (MTC E-107) .....	130
3.5.6.	Determinación del Límite Líquido (MTC E-110).....	135
3.5.7.	Determinación del Límite Plástico de los Suelos e Índice de Plasticidad (MTC E- 111) 139	
3.5.8.	Compactación de Suelos en Laboratorio utilizando una Energía Modificada – Proctor Modificado (MTC E-115) .....	143
3.5.9.	CBR de Suelos (MTC E-132) .....	149
3.6.	PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DE DATOS.....	163
3.6.1.	Determinación del Contenido de Humedad (MTC E-108) .....	163
3.6.2.	Análisis Granulométrico de suelos por Tamizado (MTC E-107) .....	166
3.6.3.	Determinación de los Límites de Consistencia (MTC E-110 y MTC E-111).....	174
3.6.4.	Clasificación de los Estratos según SUCS y AASHTO .....	190
3.6.5.	Compactación de Suelos Arcilloso con Colofonia de Pino en Laboratorio utilizando una Energía Modificada – Proctor Modificado (MTC E-115).....	209
3.6.6.	CBR de Suelos (MTC E-132) .....	219
3.6.7.	Módulo de Resiliencia.....	241
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....</b>		<b>243</b>





4.1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.....	243
4.1.1. Análisis Granulométrico Muestras de Suelo con Colofonia de Pino (MTC E-110 y MTC E-107) .....	243
4.1.2. Determinación del Índice de Plasticidad de las Muestras de Suelo con Colofonia de Pino (MTC E-110 y MTC E-111) .....	243
4.1.3. Determinación del Grado de Compactación de Suelos Arcillosos con Colofonia de Pino en Laboratorio utilizando Energía Modificada – Proctor Modificado (MTC E-115)...	244
4.1.4. Determinación de la Capacidad de Soporte CBR de Suelos (MTC E-132).....	245
4.1.5. Determinación del Módulo de Resiliencia .....	246
<b>CAPÍTULO V: DISCUSIÓN .....</b>	<b>248</b>
A) CONTRASTE DE RESULTADOS CON REFERENCIA AL MARCO TEÓRICO .....	248
B) INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS ENCONTRADOS EN LA INVESTIGACIÓN .....	250
C) COMENTARIOS DE LA DEMOSTRACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....	251
D) APORTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	251
E) INCORPORACIÓN DE TEMAS NUEVOS QUE SE HAN PRESENTADO DURANTE EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN QUE NO ESTABA CONSIDERADO DENTRO DE LOS OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	252
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>253</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>254</b>
CONCLUSIÓN N° 01 .....	254
CONCLUSIÓN N° 02 .....	254
CONCLUSIÓN N° 03 .....	255
CONCLUSIÓN N° 04 .....	255
CONCLUSIÓN N° 05 .....	256
CONCLUSIÓN N° 06 .....	257
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>258</b>
RECOMENDACIÓN N° 01 .....	258
RECOMENDACIÓN N° 02.....	258
RECOMENDACIÓN N° 03.....	258



RECOMENDACIÓN N° 04.....	258
RECOMENDACIÓN N° 05.....	258
RECOMENDACIÓN N° 06.....	259
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>260</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>263</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estado actual de la Infraestructura Vial existente en el departamento de Cusco .....	1
Tabla 2 Ubicación Geográfica .....	12
Tabla 3 Tipos de Suelo en función del Tamaño de sus Partículas .....	31
Tabla 4 Superficie Especifica de las Arcillas. ....	38
Tabla 5 Capacidad de Intercambio Catiónico de las Arcillas .....	39
Tabla 6 Propiedades Geotécnicas en función de la Microfábrica de Arcillas. ....	49
Tabla 7 Diferencias entre Arcillas y Arenas. ....	52
Tabla 8 Número de Calicatas para la Exploración de Suelos .....	59
Tabla 9 Tamices para el Ensayo de Análisis Granulométrico .....	60
Tabla 10 Valores de los Límites de Atterberg para Minerales de Arcilla .....	65
Tabla 11 Símbolos de Grupos de Clasificación SUCS .....	68
Tabla 12 Carta de Casagrande para Clasificación de Suelos Cohesivos .....	68
Tabla 13 Criterios para clasificación de Suelos según SUCS .....	69
Tabla 14 Criterios de clasificación según AASHTO .....	70
Tabla 15 Cuadro de Correlación entre ambos Métodos de Clasificación.....	71
Tabla 16 Signos Convencionales para Perfiles según Clasificación AASHTO .....	71
Tabla 17 Signos Convencionales para Perfiles según Clasificación SUCS .....	72
Tabla 18 Métodos para el Ensayo de Proctor Modificado.....	74
Tabla 19 Métodos para el Ensayo de Proctor Estándar .....	75
Tabla 20 Clasificación de Subrasante según el Valor de CBR.....	79
Tabla 21 Modelos matemáticos para determinar el Módulo Resiliente .....	80
Tabla 22 Indicadores de Calidad de la Resina de Pino.....	84
Tabla 23 Indicadores de Calidad de la Trementina .....	86
Tabla 24 Indicadores de Calidad de la Colofonia.....	86
Tabla 25 Actividades y Productos que contienen Colofonia de Pino .....	87
Tabla 26 Cuadro de Operacionalización de Variables.....	94
Tabla 27 Coordenadas de las Calicatas en Estudio.....	99
Tabla 28 Número de Ensayos Realizados.....	102
Tabla 29 Hoja de Cálculo para determinar el Contenido de Humedad .....	105
Tabla 30 Hoja de Cálculo para Análisis de Ensayo de Granulométrico.....	106



Tabla 31 Hoja de Cálculo para Curva Granulométrica.....	107
Tabla 32 Hoja de Cálculo para determinación de Límite Líquido.....	108
Tabla 33 Hoja de Cálculo para determinación de Límite Plástico.....	109
Tabla 34 Hoja de Cálculo para Clasificación de Suelos SUCS .....	110
Tabla 35 Diagramas para Clasificación de Suelos SUCS.....	111
Tabla 36 Hoja de Cálculo para Clasificación de Suelos AASHTO.....	112
Tabla 37 Diagramas para Clasificación de Suelos AASHTO .....	113
Tabla 38 Hoja de Cálculo para la Densidad Máxima Seca - Contenido de Humedad Óptimo .....	114
Tabla 39 Hoja de Cálculo para la Densidad Máxima Seca - Contenido de Humedad Óptimo .....	115
Tabla 40 Hoja de Cálculo para CBR – Moldeo de Especímenes .....	116
Tabla 41 Hoja de Cálculo para CBR – Control de Absorción y Deformaciones .....	117
Tabla 42 Hoja de Cálculo para CBR – Control de Penetraciones .....	118
Tabla 43 Hoja de Cálculo para CBR – Gráfico .....	119
Tabla 44 Hoja de Cálculo para CBR – Gráfico .....	120
Tabla 45 Ubicación de las Calicatas en Estudio .....	122
Tabla 46 Perfil Estratigráfico de la Calicata C-01 .....	123
Tabla 47 Perfil Estratigráfico de la Calicata C-02.....	124
Tabla 48 Perfil Estratigráfico de la Calicata C-03.....	125
Tabla 49 Registro de Datos para Determinar Contenido de Humedad del Estrato E – 01 de C – 01.....	129
Tabla 50 Registro de Datos para Determinar Contenido de Humedad del Estrato E – 01 de C – 02.....	129
Tabla 51 Registro de Datos para Determinar Contenido de Humedad del Estrato E – 01 de C – 03.....	130
Tabla 52 Registro de Datos para Análisis Granulométrico del Estrato E – 01 de C – 01 ..	132
Tabla 53 Registro de Datos para Análisis Granulométrico del Estrato E – 01 de C – 02 ..	133
Tabla 54 Registro de Datos para Análisis Granulométrico del Estrato E – 01 de C – 03 ..	134
Tabla 55 Cantidades para la determinación de Constantes de Suelos .....	135
Tabla 56 Registro de Datos para Ensayo de Límite Líquido del Estrato E – 01 de C – 01	136



Tabla 57 Registro de Datos para Ensayo de Límite Líquido del Estrato E – 01 de C – 02	137
Tabla 58 Registro de Datos para Ensayo de Límite Líquido del Estrato E – 01 de C – 03	137
Tabla 59 Registro de Datos para Ensayo de Límite Líquido de Muestra de Suelo Arcilloso con 3% de Colofonia de Pino .....	138
Tabla 60 Registro de Datos para Ensayo de Límite Líquido de Muestra de Suelo Arcilloso con 5% de Colofonia de Pino .....	138
Tabla 61 Registro de Datos para Ensayo de Límite Líquido de Muestra de Suelo Arcilloso con 7% de Colofonia de Pino .....	139
Tabla 62 Registro de Datos para Ensayo de Límite Plástico del Estrato E – 01 de C – 01	140
Tabla 63 Registro de Datos para Ensayo de Límite Plástico del Estrato E – 01 de C – 02	141
Tabla 64 Registro de Datos para Ensayo de Límite Plástico del Estrato E – 01 de C – 03	141
Tabla 65 Registro de Datos para Ensayo de Límite Plástico de Muestra de Suelo Arcilloso con 3% de Colofonia de Pino .....	142
Tabla 66 Registro de Datos para Ensayo de Límite Plástico de Muestra de Suelo Arcilloso con 5% de Colofonia de Pino .....	142
Tabla 67 Registro de Datos para Ensayo de Límite Plástico de Muestra de Suelo Arcilloso con 7% de Colofonia de Pino .....	143
Tabla 68 Registro de Datos para Ensayo de Proctor Modificado de Muestra de Suelo Arcilloso sin Colofonia de Pino.....	145
Tabla 69 Registro de Datos para Ensayo de Proctor Modificado de Muestra de Suelo Arcilloso con 3% de Colofonia de Pino.....	146
Tabla 70 Registro de Datos para Ensayo de Proctor Modificado de Muestra de Suelo Arcilloso con 5% de Colofonia de Pino.....	147
Tabla 71 Registro de Datos para Ensayo de Proctor Modificado de Muestra de Suelo Arcilloso con 7% de Colofonia de Pino.....	148
Tabla 72 Registro de Datos para Ensayo de CBR del Moldeo de Muestra de Suelo Arcilloso sin Colofonia de Pino.....	151
Tabla 73 Registro de Datos para Ensayo de CBR de Absorción y Expansión de Muestra de Suelo Arcilloso sin Colofonia de Pino.....	152
Tabla 74 Registro de Datos para Ensayo de CBR de Penetraciones de Suelo Arcilloso sin Colofonia de Pino .....	153



Tabla 75 Registro de Datos para Ensayo de CBR del Moldeo de Muestra de Suelo Arcilloso con 3% Colofonia de Pino .....	154
Tabla 76 Registro de Datos para Ensayo de CBR de Absorción y Expansión de Muestra de Suelo Arcilloso con 3% Colofonia de Pino .....	155
Tabla 77 Registro de Datos para Ensayo de CBR de Penetraciones de Suelo Arcilloso con 3% Colofonia de Pino .....	156
Tabla 78 Registro de Datos para Ensayo de CBR del Moldeo de Muestra de Suelo Arcilloso con 5% Colofonia de Pino .....	157
Tabla 79 Registro de Datos para Ensayo de CBR de Absorción y Expansión de Muestra de Suelo Arcilloso con 5% Colofonia de Pino .....	158
Tabla 80 Registro de Datos para Ensayo de CBR de Penetraciones de Suelo Arcilloso con 5% Colofonia de Pino .....	159
Tabla 81 Registro de Datos para Ensayo de CBR del Moldeo de Muestra de Suelo Arcilloso con 7% Colofonia de Pino .....	160
Tabla 82 Registro de Datos para Ensayo de CBR de Absorción y Expansión de Muestra de Suelo Arcilloso con 7% Colofonia de Pino .....	161
Tabla 83 Registro de Datos para Ensayo de CBR de Penetraciones de Suelo Arcilloso con 7% Colofonia de Pino .....	162
Tabla 84 Contenido de Humedad del Estrato 01 - Calicata 01 .....	163
Tabla 85 Gráfico de Contenido de Humedad del Estrato 01 - Calicata 01 .....	164
Tabla 86 Contenido de Humedad del Estrato 01 - Calicata 02 .....	164
Tabla 87 Gráfico de Contenido de Humedad del Estrato 01 - Calicata 02 .....	165
Tabla 88 Contenido de Humedad del Estrato 01 - Calicata 03 .....	165
Tabla 89 Gráfico de Contenido de Humedad del Estrato 01 - Calicata 03 .....	166
Tabla 90 Análisis Granulométrico del Estrato 01 - Calicata 01 .....	168
Tabla 91 Curva Granulométrica del Estrato 01 - Calicata 01 .....	169
Tabla 92 Análisis Granulométrico del Estrato 01 - Calicata 02 .....	170
Tabla 93 Curva Granulométrica del Estrato 01 - Calicata 02 .....	171
Tabla 94 Análisis Granulométrico del Estrato 01 - Calicata 03 .....	172
Tabla 95 Curva Granulométrica del Estrato 01 - Calicata 03 .....	173
Tabla 96 Límite Líquido de Estrato 01 - Calicata 01 .....	176



Tabla 97 Límite Plástico de Estrato 01 - Calicata 01 .....	177
Tabla 98 Límite Líquido de Estrato 01 - Calicata 02 .....	178
Tabla 99 Límite Plástico de Estrato 01 - Calicata 02 .....	179
Tabla 100 Límite Líquido de Estrato 01 - Calicata 03 .....	180
Tabla 101 Límite Plástico de Estrato 01 - Calicata 03 .....	181
Tabla 102 Evaluación de los Límites de Consistencia de las Calicatas Evaluadas .....	182
Tabla 103 Límite Líquido de Suelo Arcilloso con 3% de Colofonia de Pino .....	183
Tabla 104 Límite Plástico de Suelo Arcilloso con 3% de Colofonia de Pino .....	184
Tabla 105 Límite Líquido de Suelo Arcilloso con 5% de Colofonia de Pino .....	185
Tabla 106 Límite Plástico de Suelo Arcilloso con 5% de Colofonia de Pino .....	186
Tabla 107 Límite Líquido de Suelo Arcilloso con 7% de Colofonia de Pino .....	187
Tabla 108 Límite Plástico de Suelo Arcilloso con 7% de Colofonia de Pino .....	188
Tabla 109 Criterios para la Clasificación de Suelos según SUCS.....	190
Tabla 110 Carta de Casagrande para Clasificación de Suelos Cohesivos .....	191
Tabla 111 Criterios de Clasificación AASHTO .....	191
Tabla 112 Clasificación según SUCS del Estrato E – 01 de C – 01.....	192
Tabla 113 Diagramas de Gradación según SUCS del Estrato E – 01 de C – 01 .....	193
Tabla 114 Clasificación según AASHTO del Estrato E – 01 de C – 01.....	194
Tabla 115 Diagramas de Gradación según AASHTO del Estrato E – 01 de C – 01 .....	195
Tabla 116 Clasificación según SUCS del Estrato E – 01 de C – 02.....	196
Tabla 117 Diagramas de Gradación según SUCS del Estrato E – 01 de C – 02.....	197
Tabla 118 Clasificación según AASHTO del Estrato E – 01 de C – 02.....	198
Tabla 119 Diagramas de Gradación según AASHTO del Estrato E – 01 de C – 02.....	199
Tabla 120 Clasificación según SUCS del Estrato E – 01 de C – 03.....	200
Tabla 121 Diagramas de Gradación según SUCS del Estrato E – 01 de C – 03 .....	201
Tabla 122 Clasificación según AASHTO del Estrato E – 01 de C – 03.....	202
Tabla 123 Diagramas de Gradación según AASHTO del Estrato E – 01 de C – 03.....	203
Tabla 124 Cuadro de Resumen - Calicata 01 .....	204
Tabla 125 Cuadro de Resumen - Calicata 02 .....	205
Tabla 126 Cuadro de Resumen - Calicata 03 .....	206
Tabla 127 Comparación de los Resultados del Estrato en común de las calicatas C-01, C-02	



y C-03 .....	207
Tabla 128 Ensayo de Compactación – Proctor Modificado de Suelo Arcilloso sin Colofonia de Pino .....	211
Tabla 129 Curva de Ensayo de Compactación – Proctor Modificado de Suelo Arcilloso sin Colofonia de Pino .....	212
Tabla 130 Ensayo de Compactación – Proctor Modificado de Suelo Arcilloso con 3% Colofonia de Pino .....	213
Tabla 131 Curva de Ensayo de Compactación – Proctor Modificado de Suelo Arcilloso con 3% Colofonia de Pino .....	214
Tabla 132 Ensayo de Compactación – Proctor Modificado de Suelo Arcilloso con 5% Colofonia de Pino .....	215
Tabla 133 Curva de Ensayo de Compactación – Proctor Modificado de Suelo Arcilloso con 5% Colofonia de Pino .....	216
Tabla 134 Ensayo de Compactación – Proctor Modificado de Suelo Arcilloso con 7% Colofonia de Pino .....	217
Tabla 135 Curva de Ensayo de Compactación – Proctor Modificado de Suelo Arcilloso con 7% Colofonia de Pino .....	218
Tabla 136 Ensayo de CBR – Moldeo de Suelo Arcilloso sin Colofonia de Pino .....	221
Tabla 137 Ensayo de CBR – Absorción y Expansión de Suelo Arcilloso sin Colofonia de Pino .....	222
Tabla 138 Ensayo de CBR – Penetración de Suelo Arcilloso sin Colofonia de Pino .....	223
Tabla 139 Gráfica de CBR de Suelo Arcilloso sin Colofonia de Pino .....	224
Tabla 140 Determinación del Valor de CBR de Suelo Arcilloso sin Colofonia de Pino ...	225
Tabla 141 Ensayo de CBR – Moldeo de Suelo Arcilloso con 3% de Colofonia de Pino...	226
Tabla 142 Ensayo de CBR – Absorción y Expansión de Suelo Arcilloso con 3% de Colofonia de Pino .....	227
Tabla 143 Ensayo de CBR – Penetración de Suelo Arcilloso con 3% de Colofonia de Pino .....	228
Tabla 144 Gráfica de CBR de Suelo Arcilloso con 3% de Colofonia de Pino .....	229
Tabla 145 Determinación del Valor de CBR de Suelo Arcilloso con 3% de Colofonia de Pino .....	230





Tabla 146 Ensayo de CBR – Moldeo de Suelo Arcilloso con 5% de Colofonia de Pino...	231
Tabla 147 Ensayo de CBR – Absorción y Expansión de Suelo Arcilloso con 5% de Colofonia de Pino .....	232
Tabla 148 Ensayo de CBR – Penetración de Suelo Arcilloso con 5% de Colofonia de Pino .....	233
Tabla 149 Gráfica de CBR de Suelo Arcilloso con 5% de Colofonia de Pino.....	234
Tabla 150 Determinación del Valor de CBR de Suelo Arcilloso con 5% de Colofonia de Pino .....	235
Tabla 151 Ensayo de CBR – Moldeo de Suelo Arcilloso con 7% de Colofonia de Pino...	236
Tabla 152 Ensayo de CBR – Absorción y Expansión de Suelo Arcilloso con 7% de Colofonia de Pino .....	237
Tabla 153 Ensayo de CBR – Penetración de Suelo Arcilloso con 7% de Colofonia de Pino .....	238
Tabla 154 Gráfica de CBR de Suelo Arcilloso con 7% de Colofonia de Pino.....	239
Tabla 155 Determinación del Valor de CBR de Suelo Arcilloso con 7% de Colofonia de Pino .....	240
Tabla 156 Resultados del Módulo de Resiliencia en Mega Pascales .....	241
Tabla 157 Observaciones del Análisis Granulométrico .....	243
Tabla 158 Cuadro de Resumen para la Determinación de los Índices de Plasticidad .....	243
Tabla 159 Cuadro de Resumen para la Determinación del Grado de Compactación.....	244
Tabla 160 Cuadro de Resumen para la Determinación de la Capacidad de Soporte CBR de las Muestras de Suelo con Colofonia de Pino.....	245
Tabla 161 Cuadro de Resumen para la Determinación del Módulo de Resiliencia de las Muestras de Suelo con Colofonia de Pino .....	246
Tabla 162 Cuadro de Resumen de Resultados Generales de Laboratorio .....	248



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1 Problemas en la Infraestructura Vial Pavimentada, Av. de la Cultura: Baches y Deformaciones .....	2
Figura 2 Problemas en la Infraestructura Vial Pavimentada, Av. de la Cultura: Ahuellamiento .....	3
Figura 3 Problemas en la Infraestructura Vial No Pavimentada: Ondulaciones (Encalaminado) y Lodazales.....	3
Figura 4 Estado de las Vías de la Red Vial Nacional.....	4
Figura 5 Estado de las Vías Pavimentadas de la Red Vial Nacional .....	4
Figura 6 Estado de las Vías No Pavimentadas de la Red Vial Nacional.....	4
Figura 7 Estado de la Red Vial Nacional - Diciembre 2021 .....	5
Figura 8 Ubicación Específica de la Zona de Investigación .....	13
Figura 9 Perfil General del Suelo.....	28
Figura 10 Procesos en la Formación de un Suelo .....	28
Figura 11 Distribución Granulométrica de un Suelo .....	32
Figura 12 Origen de la Cohesión en Suelos Arcillosos.....	33
Figura 13 Estructura Tetraédrica de un Silicato de Aluminio.....	35
Figura 14 Estructura Laminar de Silicatos de Aluminio.....	35
Figura 15 Estructura Octaédrica de una Alúmina .....	36
Figura 16 Estructura Laminar de Alúminas .....	36
Figura 17 Diagramas de Estructuras a: caolinita b: illita c: montmorillonita .....	37
Figura 18 Variación Volumétrica en función del Tipo de Arcillas.....	41
Figura 19 Capacidad de Resistencia al Corte de los diferentes tipos de Arcilla.....	42
Figura 20 Contracción de los Suelos Finos.....	51
Figura 21 Capas de los Pavimentos.....	53
Figura 22 Estructura de los Pavimentos.....	54
Figura 23 Interpretación de la Curvas Granulométricas .....	62
Figura 24 Cuchara de Casagrande para el Ensayo de Límite Líquido .....	64
Figura 25 Variación del Volumen de un Suelo con respecto al Contenido de Humedad .....	65
Figura 26 Estados de Consistencia de los Suelos.....	66
Figura 27 Influencia y Evolución de la Energía de Compactación.....	76
Figura 28 Curva de Compactación según el tipo de Suelo.....	76



Figura 29 Determinación del índice de CBR .....	79
Figura 30 Esquema Básico de una Planta de Tratamiento de Resinas .....	82
Figura 31 Obtención de la Colofonia de Pino, por Corte en la Corteza del Tronco .....	83
Figura 32 Composición Química de Trementina .....	84
Figura 33 Composición Química de la Colofonia de Pino.....	85
Figura 34 Plantaciones de Pino en la Región de Cusco .....	91
Figura 35 Flujograma del Aditivo Mejorador Colofonia de Pino .....	98
Figura 36 Croquis de Ubicación de las Calicatas de Investigación .....	100
Figura 37 Excavación de Calicatas .....	123
Figura 38 Recolección de Muestras .....	123
Figura 39 Trituración de Colofonia de Pino.....	126
Figura 40 Trituración de Arcilla.....	127
Figura 41 Preparación de Muestras .....	127
Figura 42 Determinación del Contenido de Humedad.....	128
Figura 43 Secado de Muestras .....	131
Figura 44 Equipo para el Análisis Granulométrico.....	131
Figura 45 Tamizado de Muestras .....	131
Figura 46 Equipos y Herramientas para Ensayo de Límite Líquido .....	136
Figura 47 Determinación del Límite Líquido.....	136
Figura 48 Equipos y Herramientas para Ensayo de Límite Plástico .....	140
Figura 49 Determinación del Límite Plástico .....	140
Figura 50 Preparación de Muestras para el Ensayo de Proctor Modificado .....	144
Figura 51 Equipos y Herramientas para el Ensayo de Proctor Modificado .....	144
Figura 52 Compactación de Muestras preparadas.....	144
Figura 53 Pesaje de Espécimen Compactado.....	144
Figura 54 Preparación de Especímenes.....	150
Figura 55 Compactación de Especímenes.....	150
Figura 56 Inmersión de Especímenes.....	150
Figura 57 Control de Expansiones .....	150
Figura 58 Penetración de Especímenes .....	150
Figura 59 Especímenes Penetrados .....	150



Figura 60 Límite Líquido del Estrato en común entre las Calicatas de Exploración .....	208
Figura 61 Límite Plástico del Estrato en común entre las Calicatas de Exploración .....	208
Figura 62 Cuadro Comparativo de los Límites Líquido y Plástico de las Muestras de Suelo con Colofonia de Pino.....	244
Figura 63 Cuadro Comparativo de la Densidad Máxima Seca y el Contenido de Humedad óptimo de las Muestras de Suelo con Colofonia de Pino .....	245
Figura 64 Cuadro Comparativo de los CBR de las Muestras de Suelo con Colofonia de Pino...	246



## Capítulo I: Planteamiento del Problema

### 1.1. Identificación del Problema

#### 1.1.1. Descripción del Problema

La red vial de un país es fundamental para su crecimiento y desarrollo, porque es el único medio que posibilita el transporte de personas y cargas, ahora bien, si las vías de comunicación de un país no son las adecuadas para que la población satisfaga sus necesidades básicas, es poco probable que los ciudadanos puedan encarar una situación de mejora económica y social, y de ese modo reducir los índices de pobreza que aquejan a un país o estado (Rivera J, 2015).

Dentro del contexto regional, según el Sistema Nacional de Carreteras (SINAC) y Estadísticas registradas en el portal del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), para el año 2021, Cusco cuenta con un total de 17,504.70 Km de vías, todas ellas distribuidas entre las diferentes redes viales; esta cantidad representa el 9.97% de toda la infraestructura vial existente en el país (175,589.3 Km).

Tabla 1 Estado actual de la Infraestructura Vial existente en el departamento de Cusco

Infraestructura Vial Existente en el Departamento de Cusco (2021)								
(Kilómetros)								
Total	Pavimentado				No Pavimentado			
	Nacional	Depart.	Vecinal	Subtotal	Nacional	Depart.	Vecinal	Subtotal
17,504.7	1,623.5	565.2	304.6	<b>2,493.3</b>	409.4	2,238.3	12,363.8	<b>15,011.4</b>
	<b>% Pavimentado</b>			<b>14.24%</b>	<b>% No Pavimentado</b>			<b>85.76%</b>

Fuente: GTT (PVN, PVD, DGPPT Y OGPP) - 31. Jul. 2021

Ahora en relación a la zona específica de estudio, la APV. Pillao Matao, del distrito de San Jerónimo, de la provincia del Cusco, en el transcurso del tiempo se ha ido desarrollando y extendiendo sobre áreas conformadas por suelos de grano fino arcillosos; tema de interés de la presente tesis de investigación, que busca evaluar la influencia de la Colofonia de Pino sobre las propiedades de las arcillas.



Los suelos arcillosos son los suelos más críticos en temáticas de cimentaciones, estructuras y pavimentos, sean estos concernientes a edificaciones, obras viales, obras de saneamiento, entre otros. El comportamiento mecánico de este material varía según su contenido de humedad y el intercambio químico que se da entre las moléculas de agua en función de los minerales que componen la estructura interna de los suelos arcillosos.

Este tipo de suelos es inestable en términos de volumen, llega a presentar bajas resistencias y capacidades de soporte, además de que pueden ser compresibles y presentar baja permeabilidad o llegar a ser impermeable en ciertos casos. Esto representa un gran problema para las cimentaciones de la estructura de un pavimento, debido a que los incrementos de esfuerzos u otras cargas cíclicas también logran comprimir los estratos del suelo arcilloso, causando una expulsión del aire o agua, provocando de esta forma un reacomodo de las partículas del suelo, llegando así a producir cambios volumétricos (Braja M. Das 2001).

A continuación, se observa, algunos de los problemas más frecuentes que se hacen presentes dentro de nuestro medio regional, ya sea tanto en zonas urbanas como en zonas rurales donde se manifiestan de diversas formas durante la conformación de los diferentes elementos que componen un pavimento o posterior a la intervención de cada uno de estos:

Figura 1 Problemas en la Infraestructura Vial Pavimentada, Av. de la Cultura: Baches y Deformaciones



*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*



Figura 2 Problemas en la Infraestructura Vial Pavimentada, Av. de la Cultura: Ahuellamiento



*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*

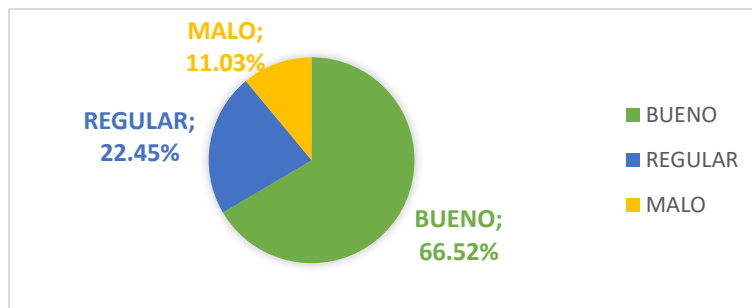
Figura 3 Problemas en la Infraestructura Vial No Pavimentada: Ondulaciones (Encalaminado) y Lodazales



*Fuente: Google Imágenes*

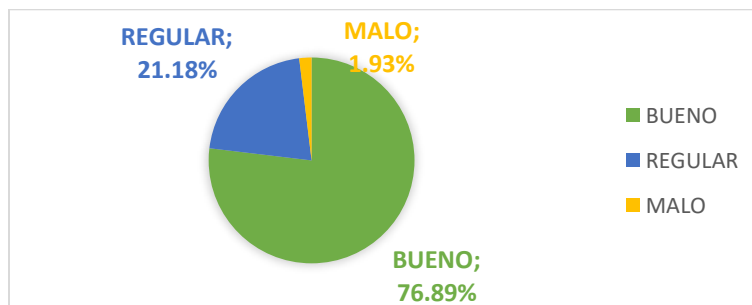
En la Figura 5, se observa que las Vías Pavimentadas presentan mayor kilometraje en buenas condiciones, mientras que en las Vías No Pavimentadas de la Figura 6 sucede lo contrario, más de la mitad de las vías registran pésimas condiciones de serviciabilidad y confort, que dificultan la transitabilidad entre las diferentes regiones del país.

Figura 4 Estado de las Vías de la Red Vial Nacional



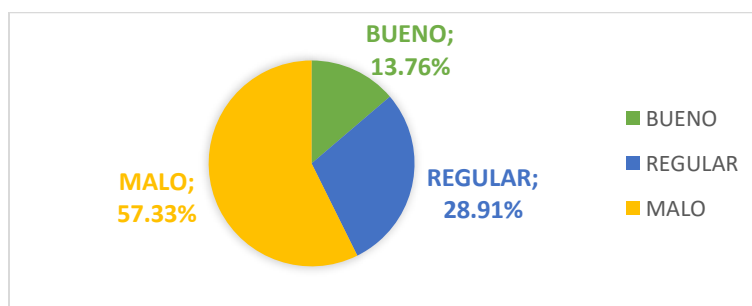
Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)

Figura 5 Estado de las Vías Pavimentadas de la Red Vial Nacional



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)

Figura 6 Estado de las Vías No Pavimentadas de la Red Vial Nacional

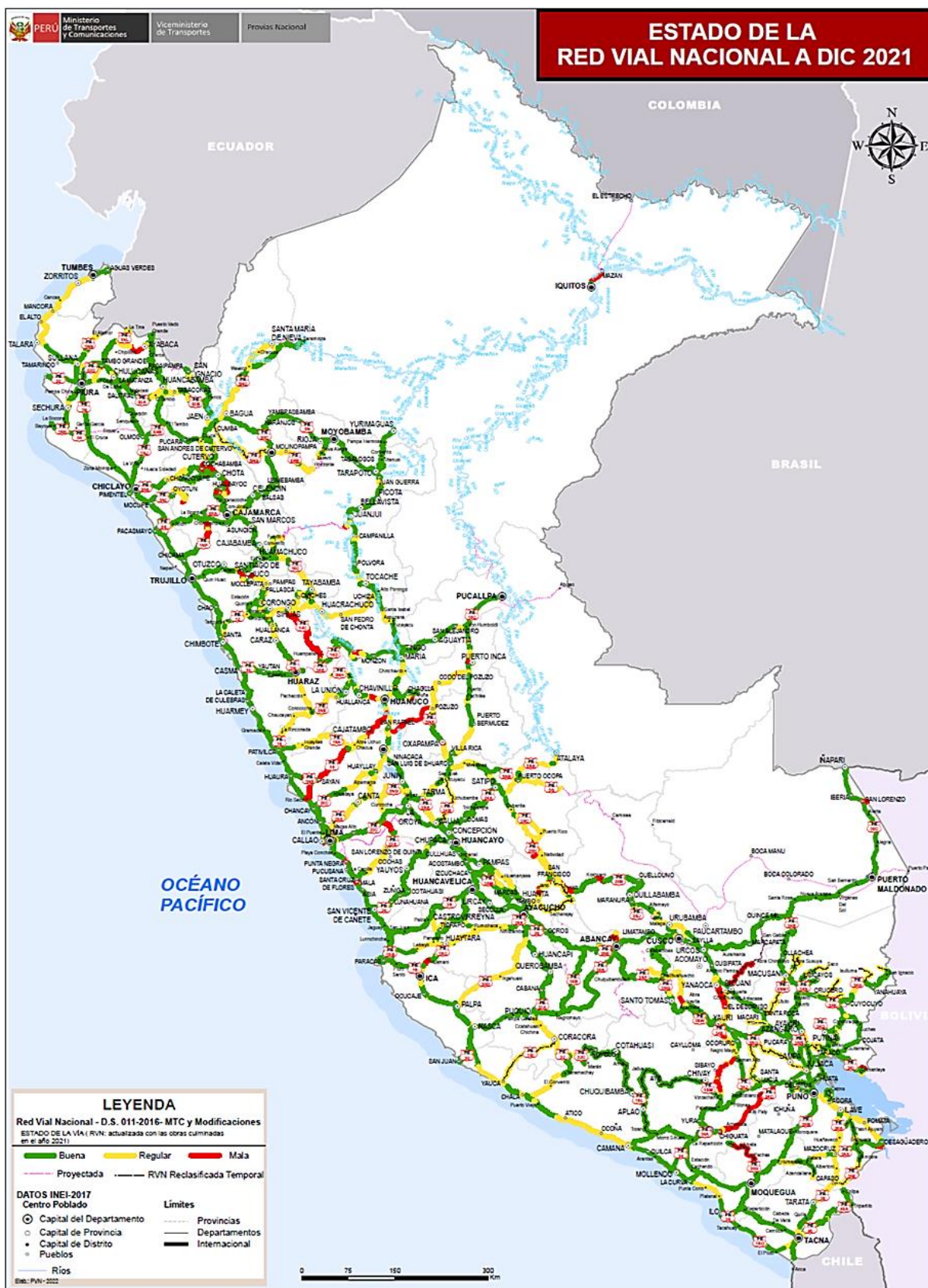


Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)





Figura 7 Estado de la Red Vial Nacional - Diciembre 2021





Para tales efectos y alteraciones, el marco normativo vigente del MTC, propone el uso de distintas técnicas para remplazar, mejorar y/o estabilizar un suelo, siendo una de esas técnicas la incorporación de recursos, que doten de mejores características técnicas a los suelos considerados; la naturaleza de estos recursos puede ser orgánica o manufacturada. Dicho esto, la presente investigación está enfocada en la evaluación de la Colofonia de Pino como recurso natural que mejore las características técnicas y mecánicas de los suelos de naturaleza arcillosa.

De acuerdo al inventario realizado por el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) en las plantaciones de los predios privados y comunidades campesinas de la región del Cusco, se encontró dos especies de mayor abundancia: las cuales son el Pino (*Pinus patula*) y el eucalipto (*Eucalyptus globulus*). La Colofonia de pino proviene del proceso de la destilación de resinas naturales; y al ser un producto de naturaleza residual sin tratamiento alguno, presenta escasas aplicaciones dentro del rubro de la Ingeniería Civil, por ende, que sería factible fomentar investigaciones en favor del desarrollo de esta industria bajo lineamientos y políticas ecosustentables.

Debido principalmente a esta razón, se pretende estudiar la influencia del aditivo natural Colofonia de Pino en porcentajes controlados sobre la subrasante de la Av. Primavera en la APV. Pillao Matao por presentar una estratigrafía con presencia de suelos arcillosos.

En tal sentido, se tiene la finalidad de controlar y mejorar ciertas propiedades Físico – Mecánicas, combinando la Colofonia de Pino triturada con muestras de suelo arcilloso. Por ello se espera que al efectuar y experimentar con diferentes configuraciones (Colofonia – Arcilla), se produzcan cambios favorables en las propiedades de los suelos que conforman el estrato mejorado, haciendo que en algunos casos se produzca un incremento en la resistencia del suelo, causado por las reacciones que puedan presentarse entre los componentes o ya sea por las propiedades particulares de cada uno de los recursos evaluados (Echevarría & Solminihac, 2015).



## **1.1.2. Formulación del Problema**

### **1.1.2.1. Formulación del Problema General**

¿En qué medida influye la Colofonia de Pino en las Propiedades Físico – Mecánicas de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco?

### **1.1.2.2. Formulación de los Problemas Específicos**

#### **Problema Específico N° 01**

¿En qué medida influye la Colofonia de Pino en la Granulometría de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco?

#### **Problema Específico N° 02**

¿En qué medida influye la Colofonia de Pino en el Índice de Plasticidad de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco?

#### **Problema Específico N° 03**

¿En qué medida influye la Colofonia de Pino en el Grado de Compactación de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco?

#### **Problema Específico N° 04**

¿En qué medida influye la Colofonia de Pino en la Capacidad de Soporte CBR de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco?

#### **Problema Específico N° 05**

¿En qué medida influye la Colofonia de Pino en el Módulo de Resiliencia de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco?



## 1.2. Justificación e Importancia de la Investigación

### 1.2.1. Justificación Técnica

La presente investigación se encuentra dentro de las ramas de la Ingeniería, como es el caso de la Ingeniería Geotécnica, el cual está dedicada al conocimiento de las propiedades de los suelos para el uso en las cimentaciones de pavimentos y demás estructuras.

Se evaluó la Colofonia de Pino como agente que mejore las propiedades físicas y mecánicas de los suelos arcillosos en porcentajes considerables, aplicado sobre la subrasante arcillosa considerada para una vía. Se tiene la expectativa que, al realizar las diferentes actividades y procesos mecánicos de compactación e integración de la Colofonia de Pino triturada dentro de la constitución de los suelos arcillosos, se aumenten las magnitudes de algunas de las propiedades Físico – Mecánicas. El valor correspondiente a la capacidad de Soporte CBR, es el parámetro de mayor importancia, debido a que fue el parámetro con el cual se corroborara si la subrasante seguirá siendo considerada como Inadecuada o Regular según a las disposiciones que en la normatividad vial del MTC se establecen; y de esta manera el estrato mejorado posea condiciones adecuadas para ser aceptado como subrasante de un pavimento, cumpliendo con los estándares que en dicho manual se remarcan.

Actualmente los procesos de intervención de vías como el mejoramiento de estas, casi siempre suelen experimentar variaciones económicas que difieren de los presupuestos calculados y los montos que realmente son invertidos y gastados, debido principalmente al costo total que representan los materiales utilizados para mejorar sus condiciones, y que en el caso de que se plantee la solución de colocar material de aporte en algún tramo del proyecto, el gasto que deriva de los costos de producción y transporte desde las canteras evaluadas y aprobadas, ya que no se cuenta con materiales granulares cerca de los frentes de trabajo o tramos a intervenir; por ello la necesidad recurrente de buscar alternativas cada vez más económicas. Para tales efectos, el presente proyecto de investigación, busca proponer un nuevo recurso para mejorar subrasantes arcillosas y mantener ciertas características de los suelos, realizando muchos de los ensayos y actividades según los lineamientos y protocolos que se establecen en el “Manual de Carreteras Sección: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos - 2013” y el “Manual de Ensayo de Materiales - 2016”.



Estas guías hacen referencia al marco normativo del MTC, NTP, ASTM, AASHTO y entre otras instituciones que regulan este tipo de actividades y controles ligadas al planeamiento, ejecución y mantenimiento de proyectos de Infraestructura Vial.

Al hacer uso de estas nociones indispensables y seguir los protocolos que en estas guías se remarcan, se obtuvieron resultados fehacientes y fidedignos que podrán ser usados como referencia para investigaciones posteriores, y en el caso que se presente, pueda ser considerado para la intervención en algún proyecto vial.

### **1.2.2. Justificación Social**

Con los resultados y aportes de este trabajo de investigación esperamos contribuir a la sociedad, aportando y ofreciendo la posible implementación de una nueva alternativa para la intervención en el proceso de mejoramiento de las vías de nuestro medio que presenten suelos de consistencia arcillosa; esta nueva línea de investigación, en el futuro podrá ser utilizada como un antecedente para próximos trabajos de investigación en el campo de la Ingeniería Civil por la Universidad Andina del Cusco y otras instituciones universitarias públicas o privadas relacionadas con el tema de estudio. No obstante, en el caso se logre cubrir muchas de las incertidumbres y consolidar este insumo como aditivo regularizado, podrá implantarse para posteriores proyectos viales llevados a cabo por entidades tanto particulares como públicas.

No obstante, luego de cubrir muchas de las incertidumbres y consolidar este insumo como aditivo regularizado, podrá implementarse mejorando los requisitos de bienestar, estabilidad y serviciabilidad de los proyectos viales, llevados a cabo tanto por entidades particulares como públicas, regularizados por el MTC.

### **1.2.3. Justificación por Viabilidad**

El trabajo de investigación fue viable debido a que cada integrante se comprometió a realizar cada una de las actividades programadas y contempladas, además de que existía de por medio la motivación para materializar los resultados obtenidos.



En relación a los recursos económicos, cada uno de los integrantes de este trabajo de investigación contaba con la suficiente cantidad de dinero para efectuar tanto aquellos trabajos preliminares como actividades y ensayos a realizar, así como para la adquisición de los materiales e insumos principales que se usaron para la determinación y evaluación de las propiedades de las muestras de suelo alteradas.

En relación al suelo considerado para su mejoramiento, estudio y análisis se tuvo acceso directo a la zona específica del presente estudio en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo, de la Provincia de Cusco, zona que, a parte de ser próxima a la ciudad del Cusco, presenta vías desarrolladas sobre fundaciones de suelo arcilloso, material que es ideal para los objetivos de este estudio. En el caso de la Colofonia de Pino, este material fue adquirido en cantidades suficientes para la realización de cada uno de los ensayos, con los porcentajes considerados en la presente investigación.

Concerniente al tema de equipos, herramientas y espacios utilizados para la preparación de las muestras de suelo arcilloso, así como la trituración de la Colofonia de Pino, debe de mencionarse y agradecerse especialmente a la empresa Corporación Alliance C&P S.A.C. ya que nos proporcionó acceso a sus instalaciones y permitió el uso particular de su laboratorio destinado al área de Mecánica de suelos que la empresa dispone en la ciudad del Cusco en el distrito de Wanchaq.

Ahora en relación a los lineamientos, protocolos y guías necesarias para ejecutar cualquier tipo de actividad concerniente a esta investigación, se cuenta con los manuales aprobados por el MTC, ya sea para la evaluación de los materiales, o para las especificaciones técnicas que requiera una subrasante del pavimento. También se dispone con el asesoramiento de expertos que poseen el conocimiento del tema de estudio, que han sido adquiridos al participar en diferentes proyectos viales.

#### **1.2.4. Justificación por Relevancia**

En la actualidad se cuenta con algunos estudios anteriores a la fecha, que han tratado de evaluar diversos recursos, tanto naturales como procesados, para la adecuación y





mejoramiento de suelos arcillosos; de estas evaluaciones experimentales, se han logrado registrar mejoras significativas, donde resaltan unas opciones más que otras. Debido a ello, el presente estudio mejoró algunas de las propiedades de los suelos arcillosos, teniendo especial consideración con el valor de CBR obtenido del material arcilloso con la Colofonia de Pino para la sub rasante de un pavimento.

Al contar con distintas opciones dentro del rubro para tratar con suelos finos cohesivos, que en su mayoría son manufacturadas, se generan ciertas afectaciones al medio ambiente, por parte de aquellas industrias ligadas a este medio. Debido a ello las sociedades actuales buscan seguir políticas y lineamientos que no sean tan agresivas al medio ambiente, generando de este modo la necesidad de buscar constantemente propuestas y soluciones cada vez más ecosustentables y sostenibles, para el bienestar del medio ambiente y la regulación de sus recursos. Por ello el uso de la colofonia de pino en la mejora de las propiedades de la subrasante para pavimentos, podría resultar una opción práctica, económica y amigable con el medio ambiente. En tal sentido existe la necesidad de comprender la influencia de este insumo para el mejoramiento de las propiedades de una subrasante arcillosa del pavimento, de manera que se tengan suelos capaces de resistir acciones mecánicas y climáticas, reduciendo posibles gastos en el mantenimiento de vías, ya que, mejorando las propiedades tanto físicas, como mecánicas del suelo, se busca que estos no sean descartados, sino aprovechados y utilizados de forma adecuada y pertinente.

### **1.3. Limitaciones de la Investigación**

#### **1.3.1. Limitaciones Geográficas**

Para el desarrollo de la investigación se realizaron los muestreos de suelos mediante exploraciones en calicatas, en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo; de la provincia y departamento del Cusco, zona que dentro de su perfil estratigráfico cuentan con estratos de suelos arcillosos, con escasos horizontes de material granular, conformado por arenas y gravas, los cuales llegan a cubrir una proporción considerable del suelo en el valle del Cusco.



- **Ubicación geográfica.**

Tabla 2 Ubicación Geográfica

<b>Ubicación Política</b>	
Departamento	Cusco
Provincia	Cusco
Distrito	San Jerónimo
Localidad	APV. Pillao Matao
Vía	Av. Primavera
Región geográfica	Sierra
<b>Ubicación Geográfica de la Tesis</b>	
Coordenadas Geográficas	Latitud Sur: 13°32'59.07"
	Longitud Oeste: 71°54'18.22"
Coordenadas UTM	Coordenada Norte: 8,500,200.29 m.
	Coordenada Este: 185,558.26 m.
	Elipsoide WGS 84
	Huso 19 L
	Hemisferio Sur
Altitud	3 269 m.s.n.m.
Longitud de vía	1.50 km.
Ancho de vía	4.00 m.
Superficie	6,000.00 m <sup>2</sup>
Código Ubigeo	080104

*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*





Figura 8 Ubicación Específica de la Zona de Investigación



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



### 1.3.2. Limitaciones de Información

En relación a la Colofonia de Pino se seleccionó la especie *Pinus Patula*, siendo esta la más abundante y desarrollada en nuestra región, este producto tiene carácter residual, y proviene del proceso de fabricación de resinas; dicho esto, se mejoró solamente aquellos suelos que tenían características exclusivamente arcillosas o cohesivas, materiales a los cuales se adicionó la Colofonia de Pino pulverizada, ya que de esta forma las muestras adoptaban una mejor distribución tanto de las partículas del suelo como aquellas propias de la Colofonia.

El desarrollo de esta investigación comenzó con la recolección de muestras arcillosas de los estratos (E1), en las calicatas C-01, C-02 y C-03; estas actividades de campo fueron programadas y realizadas en días con clima cálido y seco, debido a que los trabajos de exploración, muestreo y transporte del material arcilloso se ejecuten de forma rápida y segura. Posteriormente la preparación y ejecución de los diferentes ensayos fueron realizadas en las Instalaciones de la empresa Corporación Alliance C&P S.A.C., específicamente en el laboratorio destinado al área de Mecánica de suelos que la empresa dispone en la ciudad del Cusco en el distrito de Wanchaq, y que para efectos de esta investigación dispone de un equipamiento básico para la realización de este tipo de actividades relacionadas a la evaluación de las Propiedades tanto Físicas como Mecánicas.

La realización de los ensayos fue acatando los procedimientos que en el “Manual de ensayos de materiales MTC E 2016” se mencionan. Los resultados obtenidos de estas pruebas fueron comparados y evaluados según el “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC – 2013”, se dio mayor importancia a la determinación de la Relación de capacidad de soporte – CBR de manera que los valores obtenidos se encuentren dentro de los parámetros requeridos por la norma.

### 1.3.3. Limitaciones de Diseño

La presente investigación abordó el estudio sobre las propiedades Físico – Mecánicas del suelo mejorado: Límites de Consistencia, Densidad Máxima Seca, Contenido de Humedad Óptimo, Capacidad de Soporte CBR y Modulo de Resiliencia.



Aquellas propiedades químicas de las arcillas serán exceptuadas de esta investigación, así como la capacidad de intercambio eléctrico entre partículas que forman parte de las estructuras microscópicas de las arcillas, debido principalmente a que no contamos con los equipos necesarios para la evaluación de características de esta naturaleza.

Los porcentajes de diseño que se consideró para trabajar las muestras de suelo arcilloso, fueron 3%, 5% y 7% del peso seco de las muestras de suelo, luego se realizó un análisis comparativo entre el suelo natural (sin Colofonia de Pino) y el suelo con el aditivo en los porcentajes ya mencionados, para ello los registros de datos fueron procesados y expuestos en cuadros de resumen, elaborados mediante el programa de cómputo Excel. Los resultados obtenidos, no deben ser considerados para efectos de proyectos de otra índole que no sean concernientes a la Ingeniería de Transportes.

#### **1.4. Objetivos de la Investigación**

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

Determinar la influencia de la Colofonia de Pino en las Propiedades Físico – Mecánicas de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco.

##### **1.4.2. Objetivos Específicos**

###### **Objetivo Específico N° 01**

Determinar la influencia de la Colofonia de Pino en la Granulometría de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco.

###### **Objetivo Específico N° 02**

Determinar la influencia de la Colofonia de Pino en el Índice de Plasticidad de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco.



**Objetivo Específico N° 03**

Determinar la influencia de la Colofonia de Pino en el Grado de Compactación de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco.

**Objetivo Específico N° 04**

Determinar la influencia de la Colofonia de Pino en la Capacidad de Soporte CBR de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco

**Objetivo Específico N° 05**

Determinar la influencia de la Colofonia de Pino en el Módulo de Resiliencia de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco.



## Capítulo II: Marco Teórico

### 2.1. Antecedentes de la Tesis de Investigación

Los suelos arcillosos como parte de los proyectos viales, es un tema concurrente que se puede apreciar en diferentes lugares y realidades del mundo, la forma en que esta problemática es abordada, investigada y solucionada, cuenta con algunos registros y referencias, que a continuación se mencionan:

#### 2.1.1. Antecedentes a Nivel Nacional

- **Título** : “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS ADICIONANDO CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN EL SECTOR BARRAZA, TRUJILLO – 2018.”

**Autor (a)** : Andrea Thatiana Terrones Cruz

**Universidad** : Universidad Privada del Norte

**Lugar** : Barraza - La Libertad - Perú

**Año** : 2018

#### **Resumen:**

Esta tesis de investigación fue desarrollada en el sector de Barraza, del distrito de Laredo, provincia de Trujillo, del departamento de La Libertad, zona que cuenta con vías de acceso en estado desfavorable, debido a ello se tiene el objetivo de estabilizar los suelos de fundación, conformados por suelos limo – arcillosos a nivel de subrasante, adicionando Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar (CBCA) en porcentajes considerables (5.0%, 10.0% y 15.0%). La autora presenta argumentos que este recurso (CBCA), en relación a la capacidad de soporte este parámetro mejora en algunos tipos de suelos; no obstante, dentro del medio de esa región las plantas azucareras actualmente desechan las cenizas que derivan de la combustión del bagazo de las cañas de azúcar, dejando sin aprovechar este recurso.

Para tales efectos tanto la metodología de trabajo, como el diseño experimental formula reunir un grupo de control de cada una de las muestras alteradas de cada una de las calicatas de exploración, para evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las muestras sin estabilizar y con los porcentajes considerados de CBCA.



Para su investigación se prepararon en total 42 probetas que consideran y abarcan tanto las muestras sin aditivo como las probetas con los porcentajes indicados.

### **Conclusiones:**

Los resultados promediados correspondientes a cada propiedad demuestran lo siguiente: Para una muestra sin adición de CBCA se obtuvo Resistencias a la Compresión Simple cerca de los 13.86 KPa, sin embargo, conforme los porcentajes de CBCA se modificaban se obtuvo resultados diferentes, correspondiendo para un 5.0% de CBCA 33.73 KPa, para el 10.0% 79.01 KPa y finalmente para el 15.0% 150.9 KPa. En relación a la capacidad de Soporte – CBR se obtuvieron valores próximos al 1.82% de las muestras de suelo sin CBCA, lo cual mejoro con la adición de este recurso en su porcentaje óptimo del 15.0%, ya que con esta variación se incrementó este valor al 22.27%.

Se observó que el porcentaje óptimo de CBCA, corresponde al 15.0% ya que se evidencia una mejora significativa de las propiedades, convirtiendo el valor de CBR de una Subrasante Inadecuada S0, a un valor propio de una Subrasante Muy Buena S4.

### **Aportes de la Investigación:**

El aporte fundamental de la investigación es en el análisis prioritario que se le hace respecto al ensayo del CBR, en sus actividades, indicadores y parámetros en los cuales se deberá de tener especial cuidado y mayor consideración debido a que este es uno de los parámetros obligatorios que exige la normatividad vial del MTC.

- **Título** : “ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE SUELOS ARCILLOSOS CON CAL PARA SU USO COMO SUBRASANTE EN VÍAS TERRESTRES DE LA LOCALIDAD DE VILLA RICA.”

**Autores** : Alexandra B. Moale Quispe - Ebdy Josias Rivera Justo

**Universidad** : Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

**Lugar** : Villa Rica - Pasco - Perú

**Año** : 2019





### **Resumen:**

Esta Tesis de Investigación busca determinar el óptimo contenido de material estabilizante, el cual garantice un aumento del valor referido a la capacidad de soporte - CBR de la subrasante para pavimentos flexibles. La zona específica para efectos de este estudio corresponde a la localidad de Villa Rica, provincia de Oxapampa y departamento de Pasco. La cal adicionada sobre las muestras de suelos arcillosos, experimenta el efecto de floculación, creando de este modo el recubrimiento de las partículas de arcilla, haciendo que de este modo se reduzca el potencial de expansión, ya que cada partícula de cal absorbe potencialmente el agua que proviene tanto de los procesos mecánicos de conformación, como de aquellos que derivan del clima y sus precipitaciones.

El diseño de este proyecto de investigación considera los siguientes porcentajes de adición: 9.0%, 15.0% y 21.0% de cal, de los cuales se obtuvo una mejora en la capacidad de soporte, referenciado con el valor de CBR que va del 3.30% sin estabilizar al 5.90% en estado estabilizado, siendo el porcentaje óptimo de estabilización el 15.0% de adición de cal sobre las muestras de suelos arcillosos, de la localidad de Villa Rica.

Para tales efectos tanto la metodología de trabajo, como el diseño experimental formula reunir un grupo de control de las muestras correspondientes a cada una de las calicatas de exploración, para evaluar las propiedades Físico - Mecánicas de las muestras sin estabilizar y de aquellas que cuenten con los porcentajes considerados de Cal.

### **Conclusiones:**

La adición de cal, de acuerdo a los porcentajes considerados en el diseño de la investigación, da como resultado óptimo la adición del 15.0% de este estabilizante sobre las muestras evaluadas; porcentaje de dosificación que al ser utilizado en la estabilización de suelos netamente arcillosos, proporciona un valor de CBR promedio que alcanza el 5.90%; con lo que se concluye que la cal en este tipo de suelos de la localidad de Villa Rica, proporciona mejoras que no son tan significativas, ya que mantiene un suelo de Subrasante  $S_1$  en la misma categoría (Subrasante Pobre).



### **Aportes de la Investigación:**

Dentro del mercado de insumos y soluciones para el tratamiento de las condiciones de un suelo desfavorable, existen diferentes productos, sean estos de origen natural, orgánico o procesado, algunos cumplen la función de mejorarlo. En este caso, esta investigación demuestra que hay diversas formas de tratar de trabajar con un suelo cohesivo, sea por el aglutinamiento de las partículas, suelo natural y el aditivo (cal).

- **Título** : “EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO OBTENIDO DE LA APV. KARI GRANDE VÍA RUMI WASI – SAN SEBASTIÁN UTILIZANDO A NIVEL DE SUBRASANTE EN LA REGIÓN CUSCO, ESTABILIZADO CON CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ Y CAL EN PORCENTAJES 7% - 5%, 12% - 5% Y 15% - 5%; RESPECTIVAMENTE”

**Autores** : Diego Armando Argandoña Puma - Julio Palomino Blanco

**Universidad** : Universidad Andina del Cusco

**Lugar** : San Sebastián - Cusco - Perú

**Año** : 2019

### **Resumen:**

Este trabajo de investigación, busca principalmente evaluar y mejorar las propiedades Físico - Mecánicas del material arcilloso utilizado como subrasante, mediante su estabilización con porcentajes de Cenizas de Cáscara de Arroz (CCA) y otro correspondiente a la cal, verificando que tanto los procedimientos de cada actividad y ensayo estén conforme al marco normativo del MTC, que lo conforman las guías y manuales que son el Manual de Ensayo de Materiales (2016) y el Manual de Carreteras en su sección: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento (2013).

En relación al diseño de esta investigación, se consideró evaluar tres combinaciones de suelo arcilloso y los otros dos agentes estabilizantes, para ser comparados con los resultados obtenidos de las muestras sin estabilizar, estos casos planteados a evaluar fueron los siguientes: la primera composición sería con 7.0% de CCA con el 5.0% de cal, la segunda de 12.0% de CCA con el 5.0% de cal y por último sería el 15.0% de CCA con 5.0% de cal.





La investigación presenta un enfoque cuantitativo por la medición de las propiedades Físicas - Mecánicas, con un nivel descriptivo de las mismas.

Para tales efectos el diseño metodología de trabajo, es Cuasi experimental formula reunir un grupo de control de las muestras extraídas de cada una de las calicatas de exploración, para evaluar las propiedades Físico - Mecánicas de las muestras sin estabilizar y con los porcentajes considerados de CCA y CAL.

La cantidad de componentes de muestra está constituida por 54 ensayos que incluyen el suelo natural y los elementos con los porcentajes de CCA y CAL.

### **Conclusiones:**

Los resultados de estas evaluaciones demuestran una mejora poco significativa, en relación al índice de plasticidad de las muestras estabilizadas del 14.06% suelo natural, al 12.03% con CCA al 15% y CAL al 5%. En el caso de la densidad máxima seca se observa que para este tipo de suelos finos hay una reducción del 1.88 gr/cm<sup>3</sup> suelo natural, al 1.68 gr/cm<sup>3</sup> con CCA al 15% y CAL al 5%, debido a las propiedades individuales de la CCA y la CAL; la capacidad de soporte por otro lado demuestra una mejora notable, ya que incrementa un valor de CBR de 4.45% correspondiente a una Subrasante Pobre S<sub>1</sub>, a un valor de CBR de 28.09% propio de la categoría de una Subrasante Muy Buena S<sub>4</sub>, según la normatividad vial del MTC.

### **Aportes de la Investigación:**

El aporte fundamental de la investigación es el esquema tentativo de la tesis, la misma que es tomada como guía por la presente investigación. Conocer los porcentajes, ventajas y técnicas en el mejoramiento de una subrasante de un pavimento con CCA Y CAL, comparados con lo exigido en la normatividad vial del MTC.



### 2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional

- **Título** : “ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO ARCILLOSO CON CAL Y SU PROCESO CONSTRUCTIVO”  
**Autor** : Rodolfo Hernández Hernández  
**Universidad** : Universidad Nacional Autónoma de México  
**Lugar** : Reynosa – Tamaulipas – México  
**Año** : 1996

#### **Resumen:**

En este trabajo de investigación se presentan los efectos producidos por la cal al ser empleada para dar estabilidad a suelos granulares de un proyecto vial en México, que consiste en la construcción de una autopista de cuatro carriles en Reynosa Tamaulipas. Se exponen los cambios y beneficios resultantes de esta investigación, en donde muchas de las pruebas y resultados de laboratorio obtenidos demuestran una mejora significativa de los parámetros evaluados, en donde particularmente el Valor Relativo de Soporte (CBR) supera las normas de calidad de materiales exigidas en el marco normativo de este país, y considerando que este parámetro también es esencial para el diseño estructural del pavimento flexible, hizo que se redujera los espesores de las diferentes estructuras del pavimento tanto para la base como para la subbase, debido a que los resultados obtenidos definieron un diseño que considero en un 3.0% de cal para la conformación de la base y un 1.5% de cal para la subbase; con lo cual hubo un ahorro significativo de los recursos económicos, no solamente para los procesos constructivos, sino para los gastos de mantenimiento, ya que de esta forma de estabilización, se prolonga la vida útil de las vías. La investigación presenta un enfoque cuantitativo por la medición de las propiedades Físicas - Mecánicas, con un nivel descriptivo de las mismas.

Para tales efectos la metodología de trabajo diseñada es Cuasi experimental, ya que formula reunir un grupo de control de las muestras extraídas tanto para la conformación de la base como para la subbase, ya que de este modo se puede evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las muestras sin estabilizar y de aquellas con los porcentajes variados de Cal, que a continuación se explican en función de la estructuración del pavimento:



Primero para el caso de la Base se evaluaron 4 combinaciones de muestra de suelo arcilloso con porcentajes de 1.5%, 3.0%, 4.0% y 5.0% que fueron comparadas con la muestra sin aditivo. Segundo, en relación a la Subbase debe de señalarse que se consideró 3 combinaciones con porcentajes 1.5%, 2.0% y 3.0%

### **Conclusiones:**

La adición de cal en el proceso de conformación de las diferentes capas de un pavimento, provoca la reducción del índice de Plasticidad del material o agregado considerado para mejorar o estabilizar; puede llegar a incrementar considerablemente el Valor Relativo de Soporte (CBR) debido principalmente al intercambio iónico entre partículas, lo cual trae consigo la formación de nuevos compuestos según sea la composición del material, o la región en la cual este se haya formado geológicamente. Como muchos otros autores este también coincide que la cal en adición a suelos con contenido de arcillas, mejora la trabajabilidad del suelo.

Sin embargo, en cuestión de resultados debe de especificarse que para la evaluación de las muestras correspondientes a la Base y Subbase se obtuvieron mejores resultados conforme se iba adicionando cada vez más la Cal, ya sea tanto para la densificación de las muestras como para la evaluación de la Capacidad de Soporte CBR. Los parámetros considerados tanto para el diseño como para la elección de la mejor alternativa fueron determinados en función de otras variables correspondientes a Elevación de Costos derivados tanto del proceso constructivo como de la adquisición de los principales recursos; por lo que para dicho proyecto se consideró estabilizar la Base y Subbase con un 3% y 1.5% de Cal respectivamente, ya que con estas adiciones se obtuvieron densidades de 2.104 Kg/cm<sup>3</sup> y 2.082 Kg/cm<sup>3</sup> con humedades de compactación correspondientes a cada una de 8.8% y 10.0%; en el caso del Índice de Plasticidad se determinaron valores de 5.4% y 9.8%, dichos resultados demuestran una mejora significativa ya que las características de los materiales sin adición de Cal son las siguientes: Para el caso de la Base ofrece una densidad máxima seca de 2.186 Kg/cm<sup>3</sup> alcanzada con una humedad de 6.4%, y un índice de plasticidad de 7.3%, y en relación a la Subbase se obtuvieron resultados de una densidad máxima seca de 2.176 Kg/cm<sup>3</sup> alcanzada con una humedad de 8.3%, y un índice de plasticidad de 16.0%.



Con respecto a propiedades más técnicas como la Capacidad de Soporte CBR, debe de mencionarse que la base mejoró su resistencia de 74.5% a 171.8%, y en el caso de la Subbase de un 61.0% a un 101.3%

#### **Aportes de la Investigación:**

El intercambio iónico entre partículas de cal y arcilla y las estructuras mineralógicas que estas posean, hace que el material considerado pierda cohesión y plasticidad, lo cual lo convierte en un suelo mucho más trabajable, ya que al perder humedad de forma más rápida se pueden acelerar los trabajos de conformación. Estas reacciones químicas deberán de considerarse para el mejoramiento de las Propiedades Físico - Mecánicas de los suelos arcillosos con la Colofonia de Pino, ya que deberá de analizarse si se producen al momento de realizar los procedimientos de compactación.

- **Título** : “TRATAMIENTO DE SUELOS MARGINALES O INADECUADOS CON ADITIVOS CEMENTANTES PARA TERRAPLENES VIARIOS”

**Autor** : Rafael Pérez Arenas

**Universidad** : Universidad Politécnica de Madrid

**Lugar** : Madrid – España

**Año** : 2006

#### **Resumen:**

Los suelos marginales son un problema al que no son ajenos los otros países de Europa, por ende, mediante esta investigación se busca que estos traten de cumplir con las especificaciones mínimas establecidas por cada marco normativo de cada país, buscando de este modo establecer procedimientos de tratamiento que cumplan con dar estabilidad.

Estos tratamientos o alteraciones deberán de evitar en gran medida comportamientos indeseables o anómalos, relacionados a la agregación de componentes o estabilizadores secundarios que generen la pérdida de la capacidad de soporte, una falla o demora durante los procedimientos de construcción o relacionado a las condiciones de la región que rodean el entorno sobre el cual va dispuesto cada uno de los tramos que componen la vía.



Esta investigación toma como referencia la realidad de países como Francia, Inglaterra, Estados Unidos, Canadá y España, en los cuales se presentan diferentes Escuelas, que discrepan sobre los procedimientos adecuados para la estabilización de suelos arcillosos, siendo un tema recurrente el tiempo de Maduración del material con estabilizante, antes del proceso de humedecimiento, ya que al tener un lapso de tiempo bien pueden desarrollarse o incrementarse algunas propiedades físico mecánicas, como también perderse o disminuir otras, ya sea por el intercambio entre cargas de partículas, que podrían crear nuevos enlaces como también destruirlos durante las primeras fases de este tiempo de maduración, sin embargo, según las conclusiones y resultados de Laboratorio del Investigador, existen mejoras que son poca significativas en relación a sus propiedades.

### **Conclusiones:**

Al igual que otros autores, coincide en que la cal mejora la trabajabilidad de los suelos arcillosos, haciendo que adopten una textura granular, ya sea por la carbonatación o la creación de nuevas estructuras de minerales, producto de la floculación entre estos dos materiales. Otro factor importante que remarca, es la influencia que tienen las condiciones climáticas y la temperatura de un medio, sobre las reacciones de un suelo estabilizado, ya que en climas demasiado fríos estas reacciones pueden quedar paralizadas y según los resultados del autor no se presenta generalmente una recuperación categorizada como adecuada correspondiente a la resistencia del suelo estabilizado en relación a una muestra patrón que no haya sido sometida a ciclos de hielo y deshielo. Por ello, expone una serie de métodos de diseño de diferentes lugares de los países mencionados anteriormente, para definir con criterio el porcentaje óptimo de adición de un aditivo cementante.

### **Aportes de la Investigación:**

A parte de considerar un tiempo de maduración para evaluar las mejoras producidas en suelos alterados con cal, se debe evaluar qué beneficios también ofrece el incremento de agua para el proceso de compactación del material arcilloso, pues bien podría contrarrestar la expansión de las arcillas, incrementar la resistencia, reducir el índice de plasticidad o reducir los efectos de la intemperie a la cual este sujeto.



- **Título** : “ESTUDIO DE COMPORTAMIENTO DE SUELO ESTABILIZADO CON SAL: FRENTE A LA ACCIÓN DEL AGUA, PARA DISTINTAS MEZCLAS”  
**Autor (a)** : Nicole Natalia Hinrichsen  
**Universidad** : Universidad Austral de Chile  
**Lugar** : Valdivia – Chile  
**Año** : 2005

**Resumen:**

Con esta investigación se busca evaluar los beneficios de utilizar el Cloruro de Sodio en sus diferentes formas como estabilizante, en adición a un suelo granular que ira dispuesto y conformado sobre la vía de la comuna La Unión de la ciudad de Valdivia en Chile, tratando de esta forma de determinar la variación y la mejora de los principales parámetros físico mecánicos que puedan resultar de la incorporación de los cristales de sales y su efecto sobre las condiciones de la vía.

La metodología de trabajo al igual que en las demás investigaciones reúne un grupo de control con muestras de características similares, en base a las cuales evalúa las muestras estabilizadas y aquellas sin adición de sales.

**Conclusiones:**

Si bien hay una mejora significativa de la Resistencia del suelo estabilizado, y que también aminora los efectos ambientales en relación al polvo que se desprende por encima de la plataforma estabilizada; esta opción no es recomendable para zonas con constantes lluvias, ya que incrementaría los costos de mantenimiento, y posteriormente la carpeta de rodadura, por efectos de las precipitaciones podría resultar comprometida y afectar los niveles de servicio y transitabilidad en la zona, por lo que resultaría mucho más conveniente realizar un tratamiento superficial con el número de capas que el nivel de tráfico lo amerite.

**Aportes de la Investigación:**

La adición de sal (NaCl) para el tratamiento de un suelo arcilloso puede incrementar la resistencia de este material frente a grandes cargas.



No obstante, tanto el índice de plasticidad como el contenido de humedad óptimo pueden reducirse considerablemente. Sin embargo, los beneficios durante el procedimiento constructivo son notables, por lo que son cuestiones que también deberían de considerarse al evaluar otros materiales.

## **2.2. Aspectos Teóricos Pertinentes**

### **2.2.1. Suelo.**

#### **2.2.1.1. Definición**

Según Duque y Escobar (2016 Pag.11), el suelo es uno de los recursos de mayor abundancia en nuestro medio, y tiene gran importancia ya que es sobre el cual muchos de los proyectos de diversa índole son desarrollados (Edificaciones, Infraestructura Vial, Proyectos de Saneamiento, etc.). No obstante, la constitución que ofrecen cada uno de estos puede influir considerablemente en la capacidad tanto de Resistencia como de soporte frente a las solicitaciones para las cuales están siendo estudiadas.

Asimismo, Duque y Escobar (2016), menciona que el suelo se define como producto de la sedimentación, de todas a aquellas partículas que deriven de la alteración y erosión de las rocas, suelos que fueron transportados por agentes como los que son el agua, ciclos de helada, viento, la fuerza de gravedad; variables que influyen tanto en la distribución granulométrica de los suelos, como en la formación de diversos relieves geográficos y geológicos. Sin embargo, al igual que en el párrafo anterior, un factor que influye primordialmente en los suelos y sus propiedades mecánicas fundamentales y que destaca de entre muchos es la composición mineralógica que se da debido a estas variables, y las reacciones posteriores que se dan producto del intemperismo y los ciclos de presiones y alteraciones.

#### **2.2.1.2. Estructura del Suelo**

Duque y Escobar (2016 Pág. 16), propone un tipo de perfil que presenta diferentes capas atribuidas y diferenciadas principalmente por su composición y grado de alteración de los elementos que la componen.

Figura 9 Perfil General del Suelo

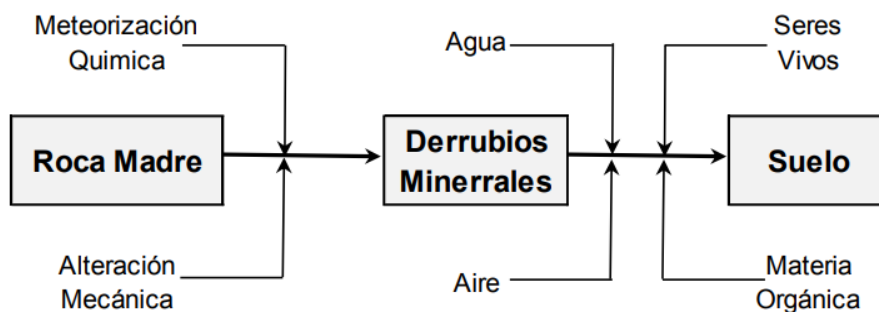
MECÁNICA DE SUELOS	VI	Suelo con humus	Fábrica textural heredada. Zona de lixiviación susceptible a la erosión.
	V	Suelo sin humus	
MECÁNICA DE GRANOS GRUESOS	IV	Completamente descompuesto	Fábrica textural y estructural. Zona de acumulación. Inicia el control estructural.
	III	Altamente descompuesto	
MECÁNICA DE ROCAS	II	Parcialmente descompuesto	Fábrica estructural heredada.
	I	Roca sana	Falla planar, en cuña o por caída.

Fuente: Duque y Escobar. (2016) Pag.16

### 2.2.1.3. Etapas y Procesos en la Formación del Suelo

Según Duque y Escobar (2016 Pág. 17), la conformación de un suelo se da a partir de la Roca Madre, el origen específico radica en los esfuerzos que se producen bajo la superficie de la tierra, lo cual se traduce en deformaciones constantes que terminan quebrando y debilitando la matriz, productos de estas fisuras las constituciones se hacen más permeables, permitiendo el ingreso del agua que, al ingresar dentro de estos espacios, continuara transformando la condición de los suelos. Por ello que este ciclo de presiones y esfuerzos, cargas y descargas sean constantes y continuos.

Figura 10 Procesos en la Formación de un Suelo



Fuente: Duque y Escobar. (2016) Pag.17

### 2.2.1.4. Factores de Formación y Evolución del Suelo (F.F.E.S)

Según Duque y Escobar (2016 Pág. 17), las principales variables que interviene en la formación de los suelos, son los que se mencionan a continuación:





**a. El Material Parental:**

Es el tipo de material que se caracteriza por ser permeable, ya que permite el flujo de sustancias líquidas o gaseosas, los cuales al tener contacto directo con los minerales que componen la roca madre, producen o no reacciones químicas que alteran las propiedades de las nuevas partículas que conforman los suelos, claro está que estas propiedades están sujetas a factores como presión, temperatura y entre otros.

**b. El Tiempo:**

La conformación de los suelos es variada en función del tiempo, existen tipos de suelos que se origina de forma rápida y otros que requieren de mayor cantidad de este recurso para llegar a consolidarse o entrar en alguna de las categorías generales, debido a que las reacciones químicas entre las sustancias y las partículas del suelo no son inmediatas, por lo que se tienen perfiles de suelo totalmente diferenciados unos de otros.

**c. El relieve:**

Un factor de gran incidencia viene a ser el relieve geográfico influenciado por el movimiento de las placas tectónicas, ya que zonas en los que el terreno es muy accidentado pueden presentar pendientes escabrosas muy pronunciadas, valles interandinos, mesetas altoandinas, cadenas de montañas, nevados o volcanes, que sujetos al intemperismo y condiciones de cada zona influyen directamente sobre la erosión, transporte y espesor de los diferentes tipos de Suelos y Partículas que los componen.

**d. Los Formadores Biológicos:**

La actividad de la Flora y la fauna, sumado a los efectos de la humedad y el agua, también influye en la composición de los suelos de origen orgánico ya que es en estos que se presentan reacciones químicas que descomponen la materia y forman ácidos que contribuyen con la conformación de suelos. De ahí el origen de suelos orgánicos.

**e. El Clima:**

Los fenómenos meteorológicos y sus parámetros son factores muy importantes, que también influyen en la conformación de los suelos y en sus propiedades directamente.



Tanto los efectos de la temperatura de cada región, como las precipitaciones características de cada medio, así como la humedad que en estos lugares pueda conservarse y los fenómenos que de estos puedan derivar como la escorrentia, considerando la intensidad y frecuencia en que se hagan presentes, pueden darse los siguientes casos: Por ejemplo en zonas desérticas con poca o carente disponibilidad de agua se hacen presentes los cambios fuertes de temperatura y debido a que no hay sustancias con las que se pueda generar reacciones de forma más rápida, los procesos se dan de forma más lenta, favoreciendo la formación de suelos granulares.

Por otra parte, aquellos suelos en los que se haya retirado la vegetación superficial, y donde haya temporadas de lluvia y sequia demasiado severos, disminuirán algunas de las propiedades tanto físicas como mecánicas, lo cual posteriormente se traducirá en la inestabilidad de estas formaciones.

#### **2.2.1.5. Tamaño de las Partículas del Suelo**

Según Braja M. Das (2001, p. 03), existen cuatro grupos generales de suelos, diferenciados en función al tamaño promedio general de las partículas que lo componen, estos grupos se clasifican del siguiente modo: Gravas, Arena, Limos y Arcillas, siendo las gravas y arenas suelos granulares, y los Limos y Arcillas suelos de grano Fino.

Para describir, agrupar y categorizar cada uno de los diferentes suelos que se encuentran tanto en la superficie terrestre como la que subyace bajo esta, varias entidades han separado al suelo en función de parámetros que derivan de análisis granulométricos como el diámetro promedio de sus partículas y propiedades referidas a su plasticidad. En el transcurso del tiempo estas organizaciones, han ido regulando lineamientos cada vez más ajustados a la gran variedad de suelos que existen en nuestro medio, articulando cartas, tablas y gráficos que integran los siguientes Sistemas de Clasificación:

- Massachusetts Institute of Technology (MIT)
- United States Department of Agriculture (USDA)
- American Association of State And Transportation (AASHTO)
- Unified Soil Classification System (USCS)



Siendo convencionalmente las más utilizadas dentro de nuestro medio, los Sistemas de Clasificación que considera la AASHTO y la SUCS, esta última adoptada por la ASTM.

En la Tabla 3 se puede apreciar los límites asignados por cada organización, sin embargo, debe definirse previamente que las gravas son partículas conformadas mineralógicamente en gran parte por cuarzo y feldespato, aunque según a las formaciones cercanas y diferentes regiones, la conformación puede involucrar otros materiales.

Los limos por otra parte son conformados por granos a escala microscópica u hojuelas de minerales micáceos, estructuras laminares con silicatos de formación similar, que pueden adoptar estructuras ligeras y algunas veces muy blandas.

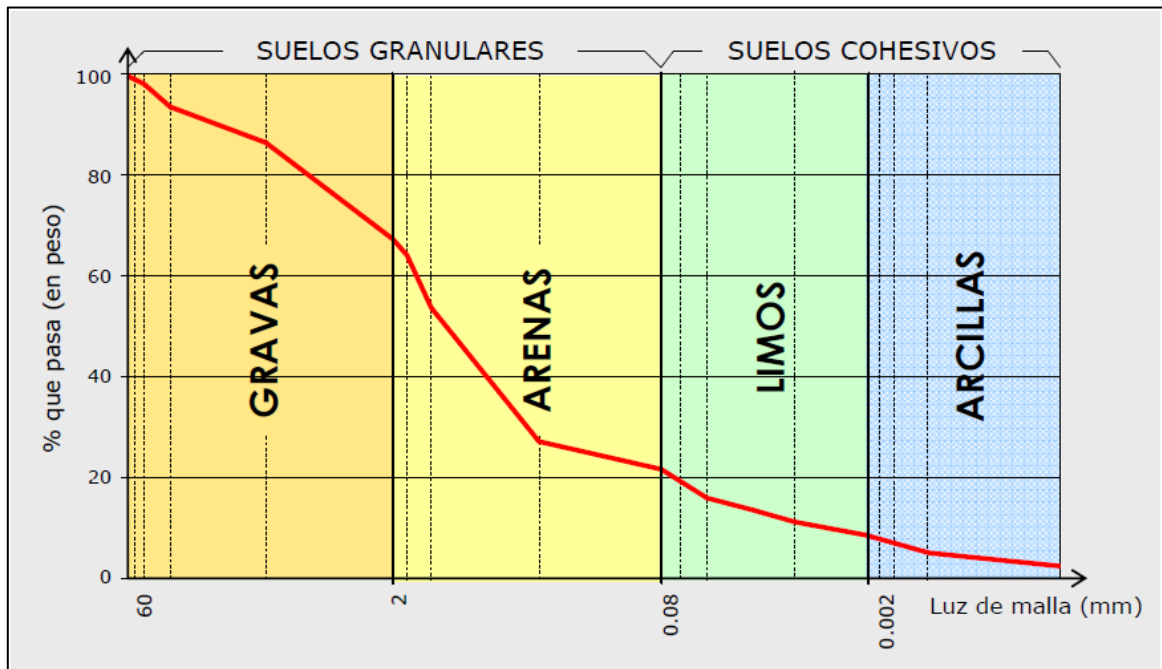
Las arcillas son un grupo muy complejo, según Grimm, 1953 están definidas como las partículas que desarrollan plasticidad cuando están tienen contacto con el agua.

Tabla 3 Tipos de Suelo en función del Tamaño de sus Partículas

Nombre de la organización	Tamaño del grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT)	> 2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	< 0.002
Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)	> 2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	< 0.002
Asociación Americana de Funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	< 0.002
Sistema unificado de clasificación de suelos (U.S. Army Corps of Engineers; U.S. Bureau of Reclamation; American Society for Testing and Materials)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (es decir, limos y arcillas) < 0.075	

*Fuente: Braja M. Das (2001, p.04)*

Figura 11 Distribución Granulométrica de un Suelo



Fuente: *Manual de Carreteras. Volumen II: Construcción y Mantenimiento*

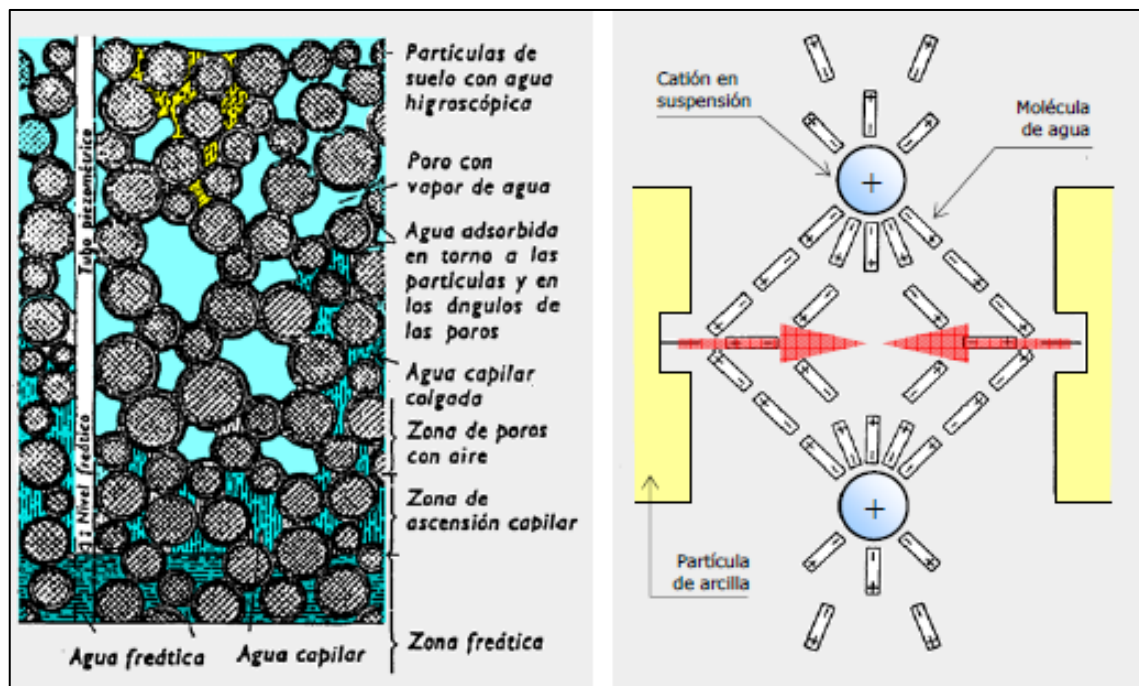
### 2.2.1.6. Tipos de Suelos Generales

Luis Bañón (2000, p. 03), presenta los siguientes cuatro tipos de suelos que son generales:

- Suelos Granulares: El autor resalta que son suelos conformados por partículas agregadas que carecen de cohesión debido al tamaño entre cada una de estas, su origen principalmente se da por procesos de meteorización física; en donde el tipo de transporte influye directamente sobre el grado de distribución adoptado entre cada una de las partículas que conforman el suelo. Siendo los suelos de origen eólico aquellos con mejor distribución y uniformidad, en el caso de los suelos de origen fluvial su distribución depende directamente de la energía con la que es transportada, sin embargo, aquellos materiales de origen glaciar no tienen una granulometría predictiva definida, algunas de las características más resaltantes de este tipo de suelos son principalmente que poseen una buena capacidad de soporte y la permeabilidad asociada a la distribución de cada una de sus partículas. Dentro de este grupo encontramos las Gravas y Arenas. Las propiedades físico mecánicas de los suelos granulares están determinadas en su mayoría por el ángulo de fricción interna y el módulo de compresibilidad que poseen.

- Suelos Cohesivos: Son los denominados suelos de grano fino dentro de nuestro medio, y su principal característica es la cohesión, la fuerza existente entre cada una de las partículas influenciada por el contenido de agua presente en su constitución y las fuerzas que origina entre cada lamina estructural. Dentro de este grupo de suelos encontramos otros dos a los cuales denominamos Limos y Arcillas, este último tema de interés de la presente tesis de investigación alcanza niveles de estudio microscópicos, mientras que el primer grupo de suelos está comprendido entre los 0.02 – 0.002 mm. Otra diferencia primordial en estos tipos de suelos son sus propiedades plásticas, los limos presentan un comportamiento inerte frente a la acción del agua, sin embargo, las arcillas experimentan reacciones químicas entre las superficies de cada una de las partículas que lo componen. La principal ventaja las arcillas es la baja permeabilidad que ofrece y su compresibilidad, según sea el contenido de humedad que esté presente.

Figura 12 Origen de la Cohesión en Suelos Arcillosos



Fuente: Manual de Carreteras. Volumen II: Construcción y Mantenimiento

- Suelos Orgánicos: Son originados por la descomposición de materia orgánica, presentan una compresibilidad alta según la disposición de las cargas y la cantidad de agua presente dentro de los granos que lo conforman.



Los suelos orgánicos siempre representan un problema para la construcción de cualquier obra de infraestructura, por ende, que deben de ser evitados, eliminados o darle una solución pertinente.

- **Rellenos:** Son depósitos de diversos materiales; por lo que no se puede catalogar ni describir sus principales propiedades, debido a la incertidumbre que deriva de la conformación y grado de compactación que haya podido tener o no, al momento de su colocación, las soluciones más convencionales al encontrarse con este tipo de suelos es su eliminación, para su posterior remplazo, o inundarlo en el caso se sospeche que su estructura interna sea inestable.

## **2.2.2. Arcillas**

### **2.2.2.1. Definición**

Según Braja M. Das (2001, p.03), este grupo de suelos están conformados principalmente por partículas de tamaño submicroscópico, que se encuentran formados por minerales que forman estructuras laminares tetraédricas u octaédricas, que en función de los elementos que lo conforman varían la intensidad de las fuerzas entre partículas.

No obstante, este grupo, se subdivide generalmente en tres grandes subgrupos los cuales son, las caolinitas, illitas y montmorillonitas; los tamaños generalmente se encuentran comprendidos entre 0.002 y 0.005 mm. según los sistemas de clasificación de las diferentes organizaciones, aunque hay investigaciones que han hallado y estudiado este tipo de partículas a un nivel mucho inferior.

Por otra parte, el autor Badillo & Rodriguez (2005, p. 37) describe que las arcillas son el producto de la combinación de varias estructuras denominadas silicatos; elementos que generalmente podemos encontrar en la composición de rocas ígneas y metamórficas, que al final terminan siendo producto de la erosión y la descomposición química, que al ser sometidos a estos esfuerzos se disgregaron en partículas de menor diámetro.

### 2.2.2.2. Composición y Estructura de las Arcillas

Según Badillo & Rodríguez (2005, p.37), las arcillas se componen principalmente de elementos denominados silicatos de aluminio, estos al ser hidratados tienden a desarrollar reacciones químicas, sin embargo, no todos están genéricamente conformados por silicatos de aluminio ya que en algunos de los grupos existen variaciones con presencia de magnesio, hierro, potasio y otro tipo de elementos que varían según a la formación geológica en la cual se hayan desarrollado. Los minerales que componen las arcillas particularmente adoptan estructuras cristalinas bien definidas, los átomos de esta tienen predisposición a formar laminas que bien pueden ser silíceas o aluminicas.

- Lamina silícea: Según Badillo & Rodríguez (2005, p. 37), estas se encuentran conformadas por un átomo Silicio, el cual está ubicado al centro de cuatro átomos de Oxígeno, tal y como se muestra en la Figura 13, dando origen a estructuras tetraédricas. Estas estructuras individuales van agrupándose en Estructuras laminares de seis unidades, formando de tal modo redes laminares que componen diversa cantidad de minerales. Debe de señalarse que para la formación de estas laminas, existen consideraciones referidas a átomos de oxígeno que sirven como nexo entre cada estructura tetraédrica individual, tal y como se muestra en la figura 14.

Figura 13 Estructura Tetraédrica de un Silicato de Aluminio

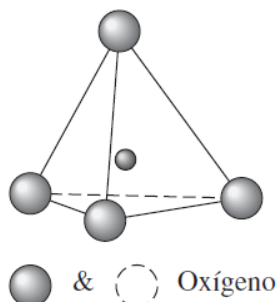
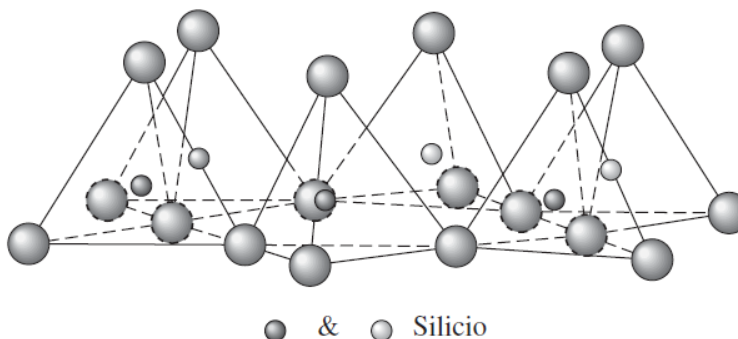


Figura 14 Estructura Laminar de Silicatos de Aluminio



*Fuente: Braja M. Das (2005, p. 30)*



- Lamina alumínica: Según Badillo & Rodríguez (2005, p.37), estas estructuras laminares se encuentran conformadas por redes octaédricas, estas redes comparten en el centro de su estructura interna un átomo de aluminio, mientras que seis de estas son átomos de oxígeno que se distribuyen regularmente cerca del átomo de aluminio, tal y como se puede observar en la Figura 15. Sin embargo, al formar las estructuras laminares el nexo entre cada retícula es un átomo compartido de oxígeno, tal y como se muestra en la Figura 16.

Figura 15 Estructura Octaédrica de una Alúmina

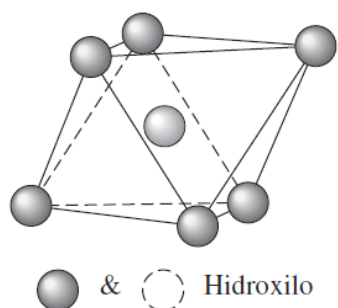
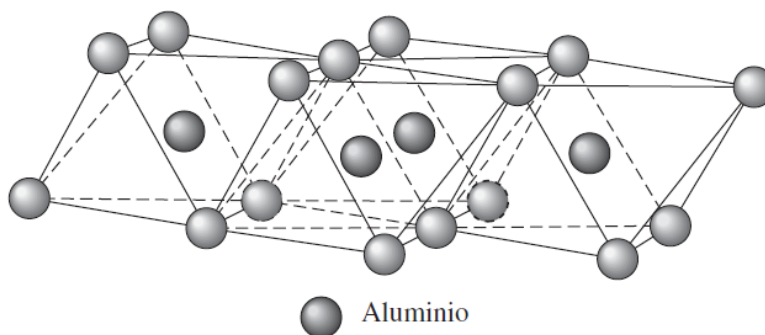


Figura 16 Estructura Laminar de Alúminas



*Fuente: Braja M. Das (2005, p. 30)*

### 2.2.2.3. Clasificación de las Arcillas

- Las Caolinitas: Según Duque & Escobar (2016, p.24), este grupo corresponde a las arcillas que presentan una capacidad de intercambio bajo comprendido entre 10 – 12 me (mili equivalentes), con dos capas presentes de cationes, una capa tetraédrica en conjunto con otra octaédrica de alúminas.

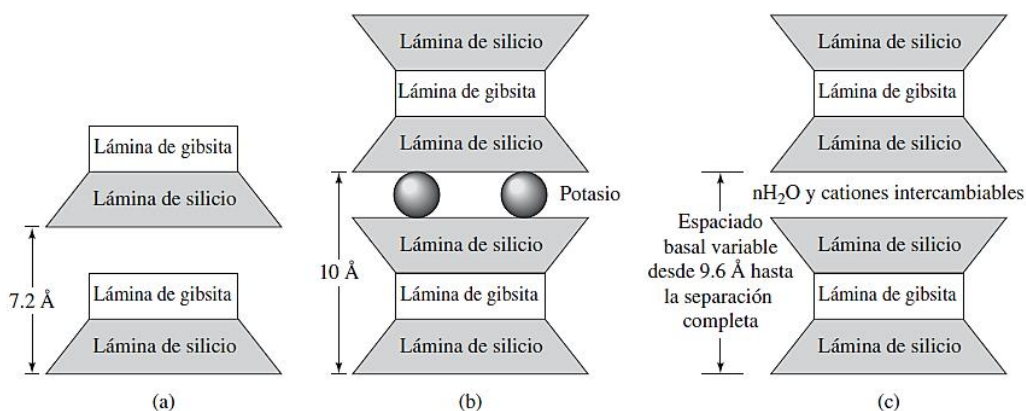
Estas estructuras generalmente no experimentan grandes cambios volumétricos de expansión, debido principalmente a que las retículas formadas no permiten el ingreso del agua. Este grupo de arcillas son moderadamente plásticas, poseen mayor permeabilidad al característico de su grupo y tienen una mayor fricción interna, en comparación a los demás grupos de arcillas.



Dentro de este grupo podemos encontrar los siguientes tipos de arcilla: Haloisita, Caolinita, Endellita, Dickita, Nacrita y Anauxita. (Dentro del diagrama denominado “Carta de plasticidad” las caolinitas están ubicadas bajo la línea A = limos).

- Las Illitas: Según Duque & Escobar (2016, p.24), este grupo de arcillas se compone de dos capas laminares de Silicatos y una de Alúmina, cuya capacidad de intercambio catiónicos es de 40me/100gr, lo que las convierte en suelos con estructuras laminares demasiado expansivas. Las láminas de alúmina están entre dos láminas de Silicatos, están se unen mediante iones de potasio, las cuales otorgan estabilidad al conjunto. La permeabilidad y el coeficiente de fricción interno son menores que en las caolinita y mayores que en la montmorillonita.
- Las Montmorillonitas: Según Duque & Escobar (2016, p.24), son arcillas conformadas por dos capas de láminas de Silicatos y una conformada por brucita o gibcita, siendo la capacidad de intercambio catiónica propia de estas 120 me/100gr, lo cual las convierte mucho más expansivas que las mencionadas anteriormente. Entre las dos laminas silíceas se encuentra una brucita o una gilbsita, y esta secuencia interlaminar se repite constantemente. La unión entre cada uno de estos minerales individuales es débil, por lo que el agua se infiltra fácilmente, produciendo expansiones. La consistencia de este material es muy plástica y se contrae al secarse, mejorando su resistencia propia y haciéndose impermeable.

Figura 17 Diagramas de Estructuras a: caolinita b: illita c: montmorillonita



Fuente: Braja M. Das (2005, p. 31)



#### 2.2.2.4. Propiedades Físico – Químicas de las Arcillas

Según el autor García & Suarez (2012, p.08), menciona que las características propias de las arcillas, generalmente se encuentran en función de las siguientes variables:

- Su tamaño extremadamente pequeño inferiores de  $2\mu\text{m}$ .
- Su morfología laminar (filosilicatos), que es la disposición relacionada a los elementos que conforman un tipo de suelo
- La presencia de carga en las láminas por las sustituciones isomórficas y la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

La combinación de cada uno de estos factores mencionados líneas arriba puede producir un valor elevado del área superficial, claro está bajo condiciones no controladas, que puede traducirse en la presencia de una gran cantidad de superficie activa, con enlaces no saturados. En tal sentido estas pueden reaccionar con diversas sustancias, en especial con los compuestos polares, por lo que presentan un comportamiento plástico en mezclas constituidas por arcilla y agua con elevada proporción soluto/solvente y son capaces en algunos casos de producir grandes expansiones.

- **Superficie Específica:** Es una propiedad que clasifica y/o determina que mineral contiene un tipo de arcilla. Se considera la densidad de los materiales, el volumen y superficie correspondiente a cada una de las partículas evaluadas. Para el caso de las arcillas debe de especificar que estas adoptan estructuras laminares, sin embargo, por la evaluación de algunos autores se puede tomar como referencia los siguientes valores generales:

Tabla 4 Superficie Especifica de las Arcillas.

Tipo de Arcilla	Superficie Especifica (m <sup>2</sup> /g)
Caolinita	10 – 20
Illita	80 – 100
Montmorillonita	800

*Fuente: Braja M. Das*



- **Carga Eléctrica:** Es el resultado de carga deriva del defecto de carga presente sobre la superficie de las partículas de arcilla por la sustitución isomórfica que se ha producido, por la absorción en los bordes de estas ya sea producto de la incorporación de cationes o aniones y terceros relacionados a la ionización en la superficie de estas, generalmente la carga eléctrica negativa determina la interrelación entre láminas de arcilla y su capacidad de absorción catiónica. La variedad de especies de minerales de arcilla se debe en su mayoría a la sustitución isomórfica y la necesidad de estabilizar las redes estructurales, por ende, se requiere de aniones y cationes para compensar este defecto de carga. Esta propiedad es aprovechada para la identificación y evaluación de las arcillas, estudiando las redes mineralógicas entre láminas, mediante Rayos X.
- **Capacidad de Intercambio Catiónico:** Según García & Suarez (2012, p. 09), Es la propiedad de las arcillas con la que se puede intercambiar los iones que se ubican al exterior de la estructura cristalina de las diferentes laminas. Está determinada por la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede absorber con un determinado Ph. Estos intercambios generalmente se producen cuando una carga permanente, queda definida como el 80% de la carga neta de la partícula evaluada y cuando la variación del pH y/o la actividad Iónica causan fluctuaciones que representan el 20% de la carga neta de la partícula.

Tabla 5 Capacidad de Intercambio Catiónico de las Arcillas

Arcilla	CEC (meq/100g)
Caolinita	3-5
Halloisita	10-40
Illita	10-50
Clorita	10-50
Vermiculita	100-200
Montmorillonita	80-200
Paligorskita	100-200

*Fuente: García & Suarez (2012, p.09)*



#### 2.2.2.5. Propiedades Geotécnicas en Función de la composición Mineralógica

Los suelos arcillosos, geotécnicamente hablando son problemáticos debido a su estructura mineralógica y las condiciones geoquímicas y ambientales. Un factor que influye directamente sobre el grado de plasticidad, resistencia, compresibilidad y variaciones de volumen es justamente la composición mineralógica.

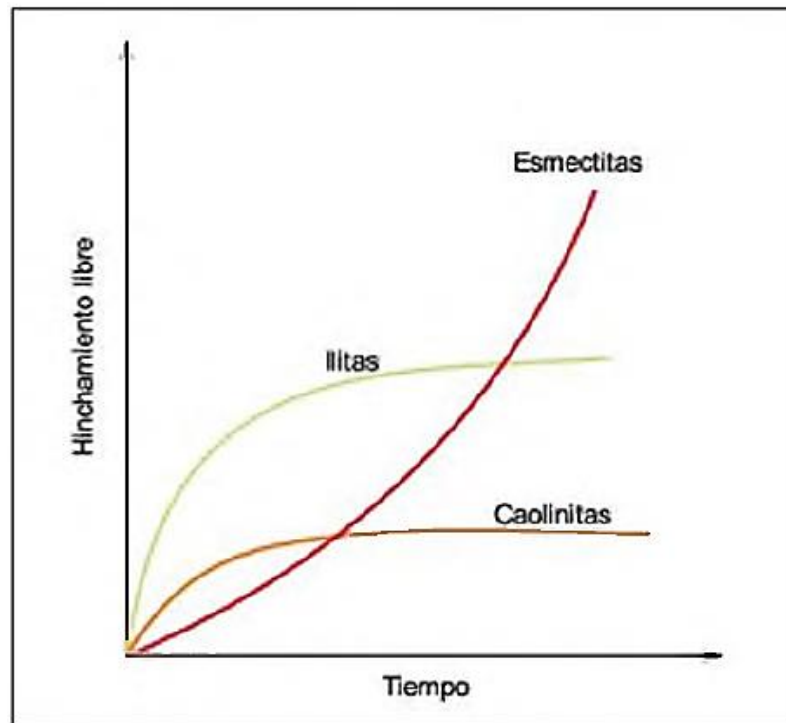
- **Capacidad de Absorción:** Según García & Suarez (2012, p.10), algunas arcillas encuentran su principal campo de aplicación en el sector de los absorbentes ya que pueden absorber agua u otras moléculas de otro tipo de sustancias en los canales estructurales (sepiolita y paligorskita) o en el espacio interlaminar (esmeclitas). La propiedad de absorción está relacionada con la capacidad de intercambio catiónico y con las características relacionadas a la textura de las arcillas como lo son la superficie específica y porosidad, donde puede ocurrir dos tipos de procesos: absorción referida reacciones físicas producidas por presiones internas y capilaridad de las arcillas, la adsorción por otra parte ocurre mediante reacciones químicas que se dan entre las redes laminares que componen estas y las sustancias que discurren entre las retículas.
- **Expansión e Hidratación:** Según Vallejo (2002, p94) los principales factores que determinan los cambios de volumen sobre las arcillas son: primero la Capacidad de Adsorción en las regiones interlaminares sobre la superficie con moléculas de las sustancias líquidas o gaseosas, Segundo la hidratación de los cationes y tercero la expansión osmótica, lo que generaría una expansión intracrystalina, lo cual posteriormente se traduce en variaciones de volumen.

Por otra parte, los autores García & Suarez (2012, p.10), mencionan que la hidratación que ocurre dentro del espacio interlaminar es una característica correspondiente al grupo de las esmeclitas. Asimismo, los autores explican que la absorción de agua que se produce dentro del espacio interlaminar causa la separación de las láminas, formando películas de agua y ocasionando de este modo la generación de expansiones. Este proceso se debe al balance que existe entre la atracción electrostática entre los cationes y las retículas laminares, así como la energía de hidratación del catión.

A medida que se intercalan capas de agua, la separación entre las láminas aumenta, la fuerza que predominan son las de repulsión electrostática entre láminas, lo que resulta que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar las láminas de unas de otras.

Cuando el catión ubicado entre las retículas laminares sea Na (sodio), las esmectitas tendrán una gran capacidad de expansión, llegando a producirse la disociación de cristales individuales de esmectita, dando como resultado un alto grado de dispersión y un alto desarrollo de propiedades coloidales. Si, por el contrario, tienen Ca (calcio) o Mg (magnesio) como cationes de cambio su capacidad expansión será mucho menor.

Figura 18 Variación Volumétrica en función del Tipo de Arcillas

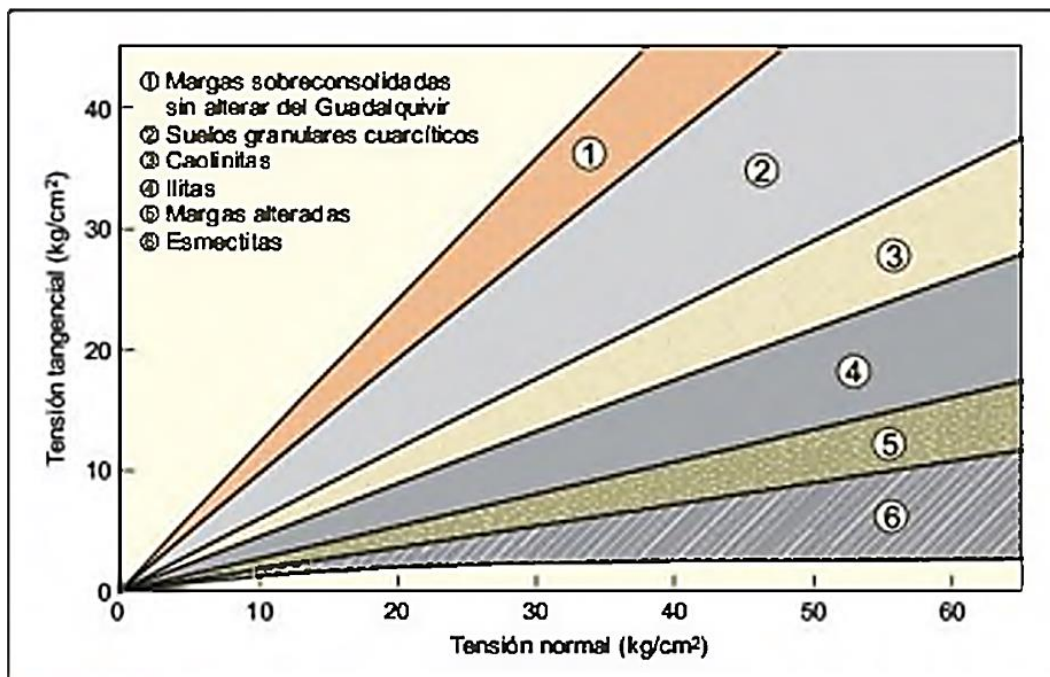


*Fuente: Vallejo (2002, p.94)*

- **Actividad:** Según Vallejo (2002, p.94) es un indicador relacionado a los minerales que componen un tipo de arcilla, está definida por la relación que existe entre el Índice de Plasticidad y el porcentaje de fracción de arcilla. Existen 03 grupos: Activas (Índice de Actividad mayor a 1.25), Normales (Índice de Actividad entre 1.25 – 0.75) e Inactivas (Índice de Actividad menor a 0.75).

- **Resistencia al Corte:** Esta propiedad está influenciada por el porcentaje de conformación de arcilla, así como del mineral que tenga un mayor predominio sobre el material evaluado.

Figura 19 Capacidad de Resistencia al Corte de los diferentes tipos de Arcilla



*Fuente: Vallejo (2002, p.94)*

- **Plasticidad:** Según García & Suarez (2012, p.p.10-11), los suelos de grano fino arcillosos son fundamentalmente plásticos. Esta característica deriva a razón de que las sustancias líquidas o gaseosas, siendo en la mayoría de casos el agua, que forma una capa sobre las partículas laminares dando un efecto lubricante el cual facilita el deslizamiento entre las partículas cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas. Asimismo, los autores, mencionan que la alta plasticidad de las arcillas es consecuencia, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de expansión. Según Jiménez (1975), esta plasticidad puede ser cuantificada mediante la determinación de los índices de Atterberg (Límite Plástico, Límite Líquido y Límite de Retracción). Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados de un suelo: sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso. La relación entre el índice de plasticidad y el límite líquido, ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla.



Existe una gran variación entre los límites de Atterberg para un mismo mineral arcilloso, en función del catión de cambio. Esta variación se debe a la diferencia en el tamaño de partícula y al grado de perfección del cristal, cuanto más imperfecta sea su estructura y más pequeñas sus partículas, más plástico es el material.

- **Tixotropía:** García & Suarez (2012, p.11), sugieren que la tixotropía se define como la pérdida de resistencia de un coloide, al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas se convierten en un verdadero líquido cuando son amasadas. Si, a continuación, se las deja en reposo recuperan la cohesión, así como el comportamiento sólido. Para que una arcilla tixotrópica muestre este comportamiento deberá poseer un contenido en agua próximo a su límite líquido. Por el contrario, en torno a su límite plástico no existe posibilidad de comportamiento tixotrópico.

#### 2.2.2.6. Microfábrica de los Suelos Arcillosos

Según Vallejo (2002, p.95) denomina microfábrica a la disposición de las partículas, poros y discontinuidades dentro de los suelos, está relacionada a la orientación de cada uno de sus elementos, que de cierta forma influyen directamente sobre otras propiedades físico-mecánicas como es la densidad, permeabilidad, resistencia, compresibilidad y entre otros. En relación a los tipos de suelos que puedan definirse, mientras que la distribución espacial de los granos está influenciada por la forma y tamaños de los componentes y partículas de los suelos granulares, para el caso de los suelos cohesivos esta disposición se encuentra influenciada por las propiedades físico – químicas. Existen dos tipos de estructuras generales, siendo las floculadas y dispersas las más conocidas; de acuerdo a la concentración de cargas sobre la superficie de las arcillas y el ordenamiento que se pueda producir en función de factores como los siguientes pueden darse otro tipo de ordenamientos espaciales en función de:

- Composición mineralógica
- Composición química
- Tamaño de partículas
- Concentración de sólidos y sales
- Entre Otras
- Turbulencia del agua
- Actividad biológica
- Temperatura
- Velocidad de sedimentación





Una alta concentración de iones hace que las fuerzas eléctricas entre partículas contiguas sean fuertes, ya que son naturalmente atractivas entre sí, produciendo de tal forma la floculación, esta asociación origina una estructura abierta y de gran volumen con grandes poros, propia de los suelos de origen marino y lagos salinos.

Por otra parte, cuando la concentración de electrolitos es mínima, las estructuras minerales tienden a cargarse negativamente, en este caso se originan las dobles capas difusas y por lo tanto dan lugar a la repulsión entre partículas contiguas, generando de este modo el fenómeno de la dispersión, dando como resultado estructuras densas y alargadas propias de depósitos de origen fluvial o sedimentos lacustres.

Debido a los diferentes factores y las diferentes asociaciones que puedan presentarse existen diferentes tipos de ordenamientos como los que se exponen a continuación:

- **Turbostrática o Regular:** Se encuentra en una matriz arcillosa continua y compacta, presenta una estructura densa sin orientación alguna. Se encuentra comúnmente en sedimentos marinos sobreconsolidados.
- **Laminar u Orientada:** Se halla generalmente en una matriz homogénea conformada por láminas de arcillas con una orientación determinada, son compactas y anisotrópicas.
- **Panal de Abeja:** Son estructuras abiertas, conformadas en su mayoría por flóculos de arcillas unidas mediante fuertes enlaces de atracción, presentan poros intercomunicados, son comunes en medios salinos.
- **Esqueletal:** Este tipo de estructuras tiene origen debido a la gran cantidad de conectores entre sus redes minerales, uniendo mayores distancias al de los demás grupos, presenta mayor cantidad de poros que otros y es propia de suelos meteorizados y colapsables.
- **Oolítica o Nodular:** Este tipo de ordenamiento presenta nódulos, que forma una distribución densa, propia de medios continentales con altos contenidos de hierro.



### 2.2.2.7. Propiedades Geotécnicas en Función a la Microfábrica de Arcillas

Según Vallejo (2002, p.97) las propiedades geotécnicas de los suelos están relacionadas con su estructura, producto de los diferentes procesos geológicos y ambientales que han actuado durante toda su historia y formación geológica, tal es el caso de la permeabilidad, anisotropía, resistencia, deformabilidad y expansividad. Estas propiedades están influenciadas por el reordenamiento de partículas y cambios de orientación por medios naturales o antrópicos.

Los fenómenos conocidos como Colapsibilidad y Susceptibilidad, siempre van a tener que ser considerados al tener que tratar con suelos arcillosos, siendo el primero el cambio brusco de volumen que se produce al inundar las regiones donde se ubican estos materiales, y el segundo la disminución de resistencia cuando es sometida a fuerzas de corte sin drenaje tanto en estado alterado como inalterado. La relación entre estos dos valores ( $St$ ) ofrece otra clasificación de arcillas, las cuales son: No Susceptibles ( $St$  entre 0-1), Algo Susceptibles ( $St$  entre 1-2), Moderadamente Susceptibles ( $St$  entre 2-4), Muy Susceptibles ( $St$  entre 4-8) y Arcillas Rápidas ( $St$  mayor a 8).

Tabla 6 Propiedades Geotécnicas en función de la Microfábrica de Arcillas.

Tipo de fábrica	Porosidad	Resistencia	Colapsibilidad	Susceptibilidad	Implicaciones geotécnicas
Turbostrática o regular	Baja	Muy alta	No	No	— Característica de arcillas sobreconsolidadas. — Planos de discontinuidad en profundidad.
Laminar u orientada	Muy baja	Dependiente de la orientación	No	No	— Planos de rotura según orientaciones preferentes. — Presencia de discontinuidades profundas.
Panal de abeja	Alta	Alta en estado inalterado. Muy baja en estado remoldeado	Posible	Muy alta	— Suelos inestables con formación de deslizamientos tipo flujo. — Arcillas rápidas.
Esqueletal	Muy alta	Baja	Posible	Alta	— Suelos meteorizados y residuales. — Rápida alteración en taludes. — Suelos inestables.
Oolítica o nodular	Baja	Alta	Baja	Alta	— Anomalías en los resultados de los ensayos de identificación y en otras propiedades de los suelos tropicales.

Fuente: Vallejo (2002, p.99)



Las arcillas rápidas por ejemplo al estar en contacto con el agua pueden llegar a experimentar el fenómeno de lixiviación del material cementante reduciendo de esta forma su resistencia ya sea por la estructura abierta, inestabilidad o a la conformación de suelos residuales. Sin embargo, hasta en suelos con estructuras laminares o turbostráticas, la presencia de microfisuras y discontinuidades hace que tengamos bajas resistencias.

En base a lo mencionado anteriormente Vallejo sugiere que las alteraciones ya sean naturales o antrópicas deben tenerse en cuenta para la modificación de algunas propiedades ya sea por el cambio de composición química del agua, cargas externas, remoldeo, compactación, mezclado, o adición de agentes cementantes que en su mayoría vienen a ser los carbonatos y sulfatos que incrementan las fuerzas de cohesión influyendo directamente sobre la resistencia de los suelos y otras propiedades.

#### **2.2.2.8. Propiedades Hidráulicas de las Arcillas**

Para explicar las propiedades hidráulicas de los suelos arcillosos, previamente tenemos que definir las fuerzas superficiales de Cohesión y Adhesión, esta última es el tipo de fuerza de atracción que se presenta entre dos moléculas de diferentes sustancias, mientras que la primera es aquella que mantiene unidas a las moléculas de una misma sustancia, generando fuerzas de atracción en diferentes direcciones.

La tensión superficial por otra parte hace que la superficie libre de una determinada sustancia se comporte como una fina membrana elástica, mediante la agrupación de moléculas externas por fuerzas de cohesión dirigidas al interior, separando de tal forma de otros medios dispersos como el aire, ofreciendo de tal forma, cierta resistencia a la deformación, debido a ello que está directamente relacionada con la intensidad de las fuerzas de cohesión internas.

La capilaridad, sin embargo, también es una propiedad importante dentro de las arcillas ya que es una cualidad con la que el agua generalmente se mueve a través de espacios diminutos incluso en contra de la gravedad, formando de tal forma ángulos de contacto que dependen de las fuerzas internas de cohesión y adhesión.

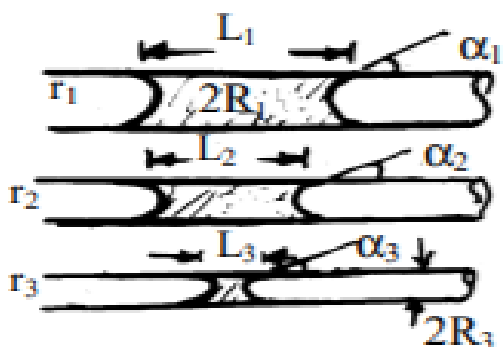


Estos ángulos de contacto forman meniscos que pueden ser cóncavos o convexos según el tipo de fuerzas que primen en el interior de los capilares. Estas fuerzas también se presentan durante la Adsorción entre las partículas activas de un suelo arcilloso (Adherencia) y las fuerzas de osmosis en el medio disperso (Tensión Superficial), sustentado por la concentración de iones.

De igual forma se manifiestan durante la contracción y expansión de las arcillas, ya que tanto la cohesión como el ángulo de contacto cambia en función de la pérdida de agua, generando de tal forma fisuras y vacíos dentro de las muestras analizadas.

Al tener pérdidas en el contenido de agua, los radios de los capilares decrecen, haciendo que el ángulo del menisco tienda a  $0^\circ$ , lo que significaría que los esfuerzos efectivos del suelo aumentan, haciendo que el suelo arcilloso se contraiga, formando grietas y fisuras.

Figura 20 Contracción de los Suelos Finos



*Fuente: Google Imágenes*



### 2.2.2.9. Diferencia entre Arcillas y Arenas

Para los autores Duque & Escobar (2016, p. 22), estas son las principales diferencias que existen entre los grupos de suelos correspondiente a las arcillas y las arenas:

Tabla 7 Diferencias entre Arcillas y Arenas.

Arenas	Arcillas
Volumen de los poros hasta 50% máximo.	Volumen de los poros hasta 98% máximo.
No es plástica.	Es plástica.
No se retrae al secarse.	Se retrae al secarse.
Poco compresible.	Muy compresible.
Se comprime rápidamente.	Por carga aplicada se comprime lentamente.
La humedad la afecta poco.	Su consistencia depende de la humedad.
Tamaño de las partículas mayores a 0.075mm.	Tamaño menor de 0.002mm.
No presenta cohesión.	Presenta cohesión.

*Fuente: Duque & Escobar (2016, p.22)*

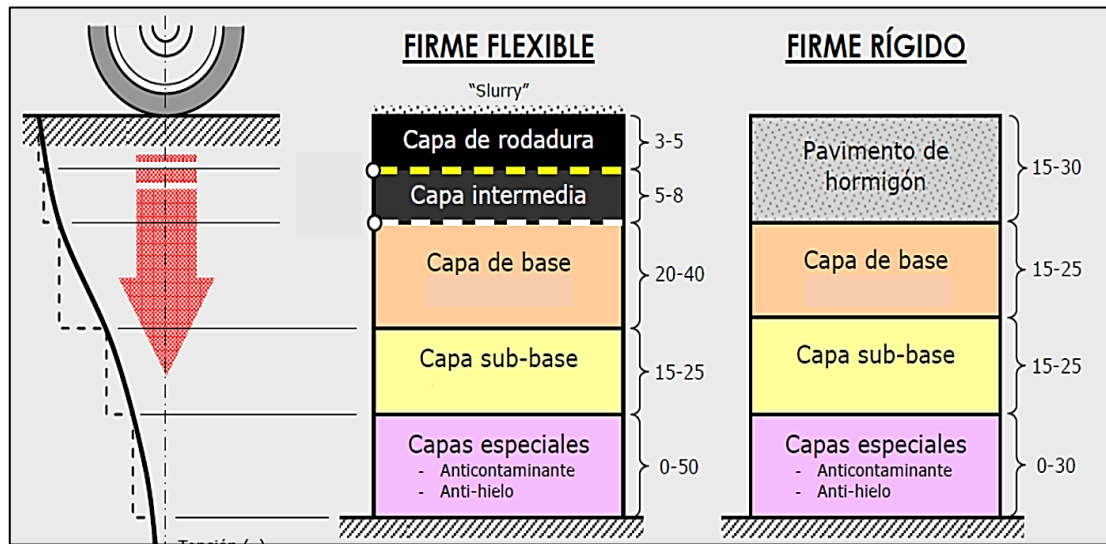
### 2.2.3. Pavimento

#### 2.2.3.1. Definición

Según el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2013, p. 21), del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, el pavimento está definido como una estructura de muchas capas los cuales se encuentran distribuidos, proyectados y contruidos sobre la subrasante del camino para poder resistir y distribuir los esfuerzos que son originados por los vehículos, tratando de tal forma de buscar una mejora para las condiciones de comodidad, seguridad y serviciabilidad en general para el tránsito.

Por su parte el autor Tapia (2015, p. 08), el pavimento es un sistema que está caracterizado por las propiedades, espesores y acomodo de los distintos materiales que conforman un conjunto de capas colocadas y apoyadas una sobre otra, denominada “subrasante”, con el propósito de que estas reciban en forma directa las cargas del tránsito y trasmitirlas a los estratos inferiores en forma disipada y distribuyéndolas con uniformidad.

Figura 21 Capas de los Pavimentos



Fuente: Luis Bañón (2000, p.8, c.19)

### 2.2.3.2. Tipos de Pavimentos

Según el autor Tapia (2015, p.09), básicamente pueden clasificarse en: rígidos y flexibles, mixtos o compuestos. Veremos en qué consiste cada uno de ellos:

#### 2.2.3.2.1. Pavimentos Flexibles

Según Tapia (2015, p.09), esta clase de pavimentos cuentan con una capa de rodamiento conformada por una mezcla asfáltica, por lo que se les conocen como pavimentos asfálticos. Poseen la misma distribución de capas sobre la subrasante, aunque la conformación de cada una de estas, estará determinada de acuerdo al medio y tráfico al cual será ajustado, tratando de cumplir con las especificaciones vigentes que en el marco normativo de nuestro país se señalan. En comparación con los otros tipos, estos resultan más económicos en su construcción inicial, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con el tiempo de vida útil proyectado.

#### 2.2.3.2.2. Pavimentos Rígidos

Según el autor Tapia (2015, p. 09), en los pavimentos rígidos, la superficie de rodamiento está dada por losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones estas presentan un armado de acero liso.

Por ser estas de mayor rigidez distribuyen las cargas vehiculares hacia las capas inferiores a través de toda la superficie de la losa y de las losas adyacentes, las cuales trabajan en conjunto. Los mantenimientos de estos pavimentos son mínimos y comúnmente se dan solamente entre las juntas de las losas.

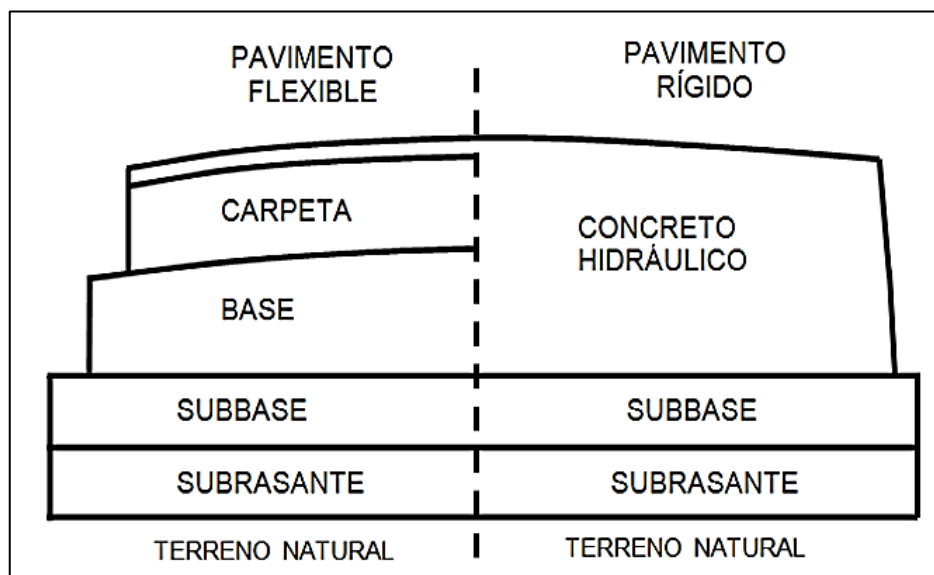
### 2.2.3.2.3. Pavimentos Mixtos o Semirrígidos

Según Tapia (2015, p. 10), los pavimentos mixtos o semirrígidos, están conformados por una capa de concreto hidráulico, cubierta por una carpeta asfáltica. Su posición impide efectuar excavaciones a mayor profundidad para alojar una estructura del pavimento flexible convencional. Así mismo, estos pavimentos pueden tener una mayor capacidad estructural y por consiguiente un mejor desempeño.

### 2.2.3.3. Estructura del Pavimento

Según Tapia (2015, p. 11), los pavimentos están constituidos por varias capas denominadas de abajo hacia arriba: subbase, base y la carpeta, toda esta estructura del pavimento se encuentra apoyada sobre otra capa, denomina subrasante, tal y como se puede observar en la siguiente figura.

Figura 22 Estructura de los Pavimentos



Fuente: Asociación Mexicana de Asfalto A.C. 2013



#### **2.2.3.3.1. Carpeta**

Según Tapia (2015, p. 11), esta es la parte que está en contacto y soporta directamente las solicitaciones del tránsito, aporta las características funcionales y estructuralmente absorbe los esfuerzos horizontales y parte de los esfuerzos verticales, de igual forma también comunica las tensiones a las capas subsecuentes. Puede llegar a alcanzar espesores considerables en condiciones de alta intensidad del tránsito.

Esta carpeta se construye con concretos hidráulicos o con mezclas asfálticas en frío o en caliente, pudiendo contener algún agente modificador para mejorar alguna de sus características. En los pavimentos rígidos, las losas pueden llegar a tener espesores hasta de 40cm., específicamente en aeropistas.

#### **2.2.3.3.2. Base**

Según Tapia (2015, p. 11), esta capa está situada por debajo de la Carpeta, y su función es principalmente resistente, esta absorbe la mayor parte de los esfuerzos verticales y la resistencia a la deformación bajo las cargas repetidas del tránsito debido a la intensidad del tránsito pesado.

Para un tránsito medio y ligero se emplean generalmente bases granulares, pero para tránsito pesado se emplean materiales granulares tratados con un material cementante, denominadas bases asfálticas o bases de grava-cemento.

#### **2.2.3.3.3. Subbase**

Según Tapia (2015, p. 12), esta capa que va por debajo de la base y a su vez se construye sobre la capa subrasante. Esta capa puede ser necesaria o no, si la subrasante es de elevada capacidad de soporte. Su función es dar a la base un cimiento uniforme y constituir una adecuada plataforma de trabajo para su colocación y compactación. Esta necesariamente tiene una función drenante, para ello es imprescindible que los materiales utilizados carezcan de finos, este suele ser una capa de transición necesaria. Se emplean normalmente subbases granulares constituidas por materiales cribados o de trituración parcial, suelos estabilizados con cemento, etc.





#### 2.2.3.3.4. Subrasante

Según el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC (2013, p. 20), la sub rasante es la superficie concluida de la carretera a nivel de movimiento de tierras ya sea corte y relleno, en el cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado, la cual soportara la estructura del pavimento, y está conformada por suelos seleccionados y compactados por capas para constituir un cuerpo estable en óptimo estado, de modo que no se vea afectada por la carga de diseño del tránsito.

Para la etapa constructiva, los últimos 0.30m de suelo por debajo del nivel superior de la subrasante, deberán ser compactados al 95% de la máxima densidad seca obtenida del ensayo Proctor Modificado (Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales – EG 2013 y Manual de Ensayo de materiales del MTC, 2016).

Asimismo, el MTC– Sección Suelos y Pavimentos (2013 Pág. 23), indica que; “Los suelos por debajo del nivel superior de la subrasante, en una profundidad no menor de 0.60 m, deberán ser suelos adecuados y estables con  $CBR \geq 6\%$ . En caso el suelo, este por debajo del nivel superior de la subrasante, teniendo un  $CBR < 6\%$  (subrasante pobre o subrasante inadecuada), corresponde estabilizar los suelos”.

Según Tapia (2015, p. 12), esta capa debe recibir y soportar todas las cargas producidas por el tránsito, que le son transmitidas por el pavimento, dentro de un tiempo determinado, sin que esta sufra deterioros o deformaciones que afecten la integridad del pavimento. Esta capa es considerada como la cimentación de la estructura del pavimento y esta puede estar constituida por el terreno natural, cuando el material en cuestión sea de buena calidad y cumpla con las Especificaciones Técnicas Generales, en caso contrario se cambiará por un material adecuado o tratado.

#### 2.2.3.4. Funciones del Pavimento

Según Tapia (2015, p. 10), los pavimentos presentan diversas funciones como:

- Proporcionar una segura y cómoda superficie de rodamiento, bajo las cargas repetidas del tránsito a lo largo del periodo de diseño considerado.



- Resistir el tránsito previsto para el periodo de diseño y distribuir las presiones verticales producidas por las cargas del tránsito, de manera que solo llegue una mínima cantidad de estas cargas a la subrasante, para que esta pueda soportarlas.
- Constituir una estructura que pueda resistir los factores climatológicos de la zona en el que es construido; en especial factores como el agua y la temperatura, siendo estos los que producen los efectos más adversos en el comportamiento de los materiales que conforman el pavimento.

#### **2.2.3.5. Características Funcionales**

Según Tapia (2015, p. 10), respecto a las características funcionales, el pavimento cumple con presentar las siguientes características:

- Resistencia al derrapamiento: Ésta se da través de una adecuada textura en la superficie de rodamiento, esta textura debe estar construida para las velocidades de circulación previstas en el diseño.
- Regularidad transversal y longitudinal en la superficie de rodamiento: Esta característica afecta directamente la comodidad del usuario y en la medida de la severidad de las deformaciones presentes en el pavimento, se podrá o no alcanzar la velocidad considerada.
- Propiedades de reflexión luminosa: para conducción nocturna y diseño de iluminación.
- Drenaje superficial rápido: Esta característica evita que el espesor de la película de agua que escurre sobre la superficie de rodamiento sea considerable.

#### **2.2.4. Exploración de Suelos**

Según el MTC – Sección Suelos y Pavimentos (2013, p. 29), en base a la Norma MTC E101, para la exploración de suelos, primero deberá efectuarse un reconocimiento del terreno y como resultado de ello se tendrá que elaborar un programa de exploración e investigación de campo a lo largo de la vía proyectada o en evaluación, para que de esta manera se pueda identificar los diferentes tipos de suelo que puedan presentarse. El reconocimiento del terreno permitirá identificar los cortes naturales y/o artificiales, definir los principales estratos de suelos superficiales, delimitar las zonas en las cuales los suelos presentan características similares, así como también identificar las zonas con suelos demasiado pobres, riesgosas o poco recomendables para emplazar el trazo de la vía.



El programa de exploración e investigación de campo incluirá la ejecución de calicatas o pozos de exploración, cuyo espaciamiento y distribución general dependerá fundamentalmente de las características de los materiales subyacentes en el trazo de la vía. Generalmente están espaciadas entre rangos de 250 m - 2,000 m, pero pueden estar más próximas dependiendo de características y puntos singulares, como los casos siguientes:

- Cambio en la topografía de la zona en estudio.
- Por la naturaleza de los suelos o cuando los suelos se presentan en forma irregular.
- Delimitar las zonas en que se detecten suelos que se consideren inadecuados.

#### **2.2.4.1. Calicatas y Muestreo de Suelos**

Según Medina & Astete (2015, p. 05), una calicata es una excavación que nos da la información in situ del perfil edáfico (corte vertical del suelo), es decir, la profundidad de raíces, el espesor de cada estrato, la existencia de alguna limitante física en profundidad que presente el suelo, niveles freáticos, grado de compactación, contenido de humedad, composición a nivel de una inspección visual, observación minuciosa y evaluación de sus propiedades mediante propiedades organolépticas, características que resalten a nuestros principales sentidos.

Según el MTC – Sección Suelos y Pavimentos (2013, p. 30), por cada calicata o pozo de exploración deberán obtenerse de cada estrato que se pueda encontrar, muestras representativas en número y cantidades suficientes de suelo, de roca, o ambos, de cada material que sea importante para el diseño y la construcción de las vías.

El tamaño y tipo de la muestra requerida depende de los ensayos que se vayan a efectuar y del porcentaje de partículas gruesas en la muestra, así como también del equipo de ensayo a ser usado. La Norma del MTC E-101 (2016, p. 15), dice que el tamaño de las muestras alteradas, en bruto, puede variar a criterio del responsable de la investigación, pero se sugiere las siguientes cantidades:

- Clasificación visual: 0,50 kg – 50 – 500 g.
- Análisis granulométrico y constantes de suelos no granulares: 0,50 a 2,5 kg.
- Ensayo de compactación y granulometría de suelo-agregado granular: 20 - 40 kg.



- Producción de agregados o ensayo de propiedades de agregados: 50 - 200 kg.
- Entre Otras, definidas según el tipo de Proyecto a Realizar  
(Construcción, Mantenimiento o Mejoramiento)

Tabla 8 Número de Calicatas para la Exploración de Suelos

Tipo de Carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de Calicatas	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li> <li>Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li> <li>Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido</li> </ul>	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li> <li>Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li> <li>Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido</li> </ul>	
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>4 calicatas x km</li> </ul>	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>3 calicatas x km</li> </ul>	
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>2 calicatas x km</li> </ul>	
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA $\leq$ 200 veh/día, de una calzada.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 calicata x km</li> </ul>	

Fuente: MTC - Suelos y Pavimentos (2013, p.31)

## 2.2.5. Ensayos de Laboratorio

### 2.2.5.1. Contenido de Humedad

Según Bowles (1981, p. 11), la determinación de contenido de humedad es un ensayo, el cual es rutinario de laboratorio para determinar la cantidad de agua presente en una cantidad dada de suelo en términos de su peso en seco. Según la Norma del MTC E108 (2016, p. 49), la humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación existente en una muestra, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo entre el peso de las partículas sólidas.



Este ensayo determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a  $110 \pm 5$  °C. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado y evaporación del agua es considerada como el peso correspondiente al componente agua.

### 2.2.5.2. Análisis Granulométrico por Tamizado

Según Bowles (1981, p. 37), el análisis granulométrico sirve para determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de grano presentes en una masa de suelo. Ahora, para obtener un resultado significativo la muestra debe ser estadísticamente representativa de la masa de suelo, por ello que previo a cada ensayo de laboratorio se cuartejan las muestras, de forma tal que los especímenes reducidos representen los materiales a evaluar.

Según la Norma del MTC E107 (2016, p. 44), el análisis granulométrico determina cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de suelo. Este método sirve para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (N° 200).

Se pueden usar los siguientes tamices de malla cuadrada:

Tabla 9 Tamices para el Ensayo de Análisis Granulométrico

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
1 1/2"	38,100
3/4"	19,000
3/8"	9,500
N° 4	4,760
N° 8	2,360
N° 16	1,100
N° 30	0,590
N° 50	0,297
N° 100	0,149
N° 200	0,075

Fuente: MTC E107 (2016, p.44)



- **Interpretación de Resultados**

La curva granulométrica de un tipo de suelo, puede proporcionarnos información de su comportamiento, si es que se evalúa la regularidad y forma de la curva se puede diferenciar dos tipos de granulometrías generales: Las cuales vendrían a ser la gradación Continua y la Discontinua. La primera puede caracterizarse por tener retenido en casi todos los tamices, y su grafica tiene un sesgo continuo y suave, por lo que se interpreta que pertenece a un suelo bien graduado.

Por otra parte, la gradación discontinua presenta picos y tramos alargados rectos, que indican carencia de retenidos en determinadas mallas, demostrando de tal forma la menor variación de tamaños, con ciertas carencias de porcentajes retenidos en algunos de los tamices considerados para el análisis granulométrico, por lo que vendría a ser la curva propia de suelos mal graduados.

Un parámetro importante que deriva de este análisis es el Coeficiente de Curvatura:

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

Dónde:  $D_x$  vendría a ser el tamiz (mm.) por donde pasa el X % de la muestra analizada.

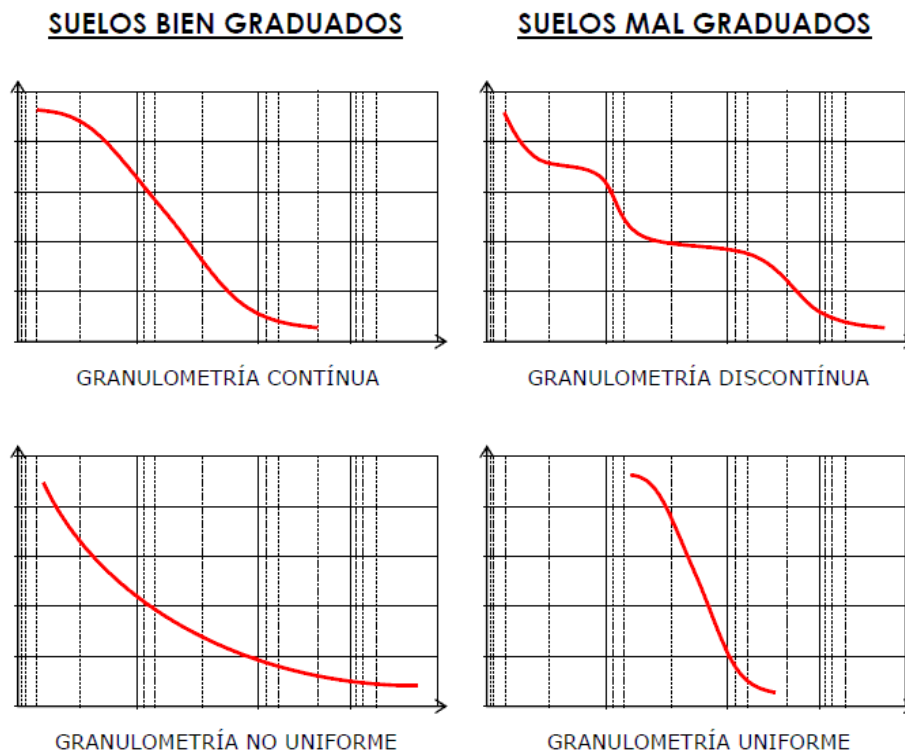
Un suelo bien graduado presenta un Cc entre 1-3, ofreciendo de este modo un porcentaje de vacíos menor, una estabilidad y capacidad portante regular influenciada por la composición mineralógica de sus demás partículas.

Otro parámetro importante que deriva de este análisis es el Coeficiente de Uniformidad:

$$Cc = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

El coeficiente determinado inferior a 02 es propio de suelos muy uniformes, mientras que uno inferior a 05 es propio de suelos uniformes.

Figura 23 Interpretación de la Curvas Granulométricas



Fuente: Luis Bañón (2000, c. 15, p.08)

### 2.2.5.3. Límites de Atterberg

Según Atterberg (ca. 1911), los límites líquido y plástico son sólo dos de los 5 "límites" propuestos por dicho autor científico sueco, dedicado a la agricultura. Estos límites son:

- **Límite de cohesión:** Es el contenido de humedad con el cual las boronas de suelo son capaces de pegarse una a otras.
- **Límite de pegajosidad:** Es el contenido de humedad con el cual el suelo comienza a pegarse a las superficies metálicas tales como la cuchilla de la espátula.
- **Límite de contracción:** Es el contenido de humedad por debajo del cual no se produce reducción adicional de volumen o contracción en el suelo.
- **Límite plástico:** Es el contenido de humedad por debajo del cual se puede considerar el suelo como material no plástico.
- **Límite líquido:** Es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico. A este nivel de contenido de humedad el suelo está en el vértice de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso.





Según Bowles (1981, p. 16), los límites líquido y plástico han sido ampliamente utilizados en todas las regiones del mundo, principalmente con objetivos de identificación y clasificación de suelos. Según Aic (2010), un suelo fino que contenga en su mayor parte partículas compuestas de minerales de arcilla variará de volumen de acuerdo a su contenido de humedad, por lo tanto, a medida que aumente el contenido de humedad también proporcionalmente aumentará su volumen, se muestra la relación entre el contenido de humedad y el volumen del suelo.

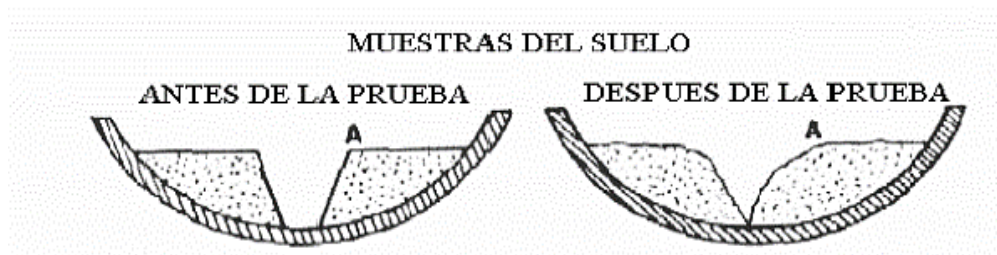
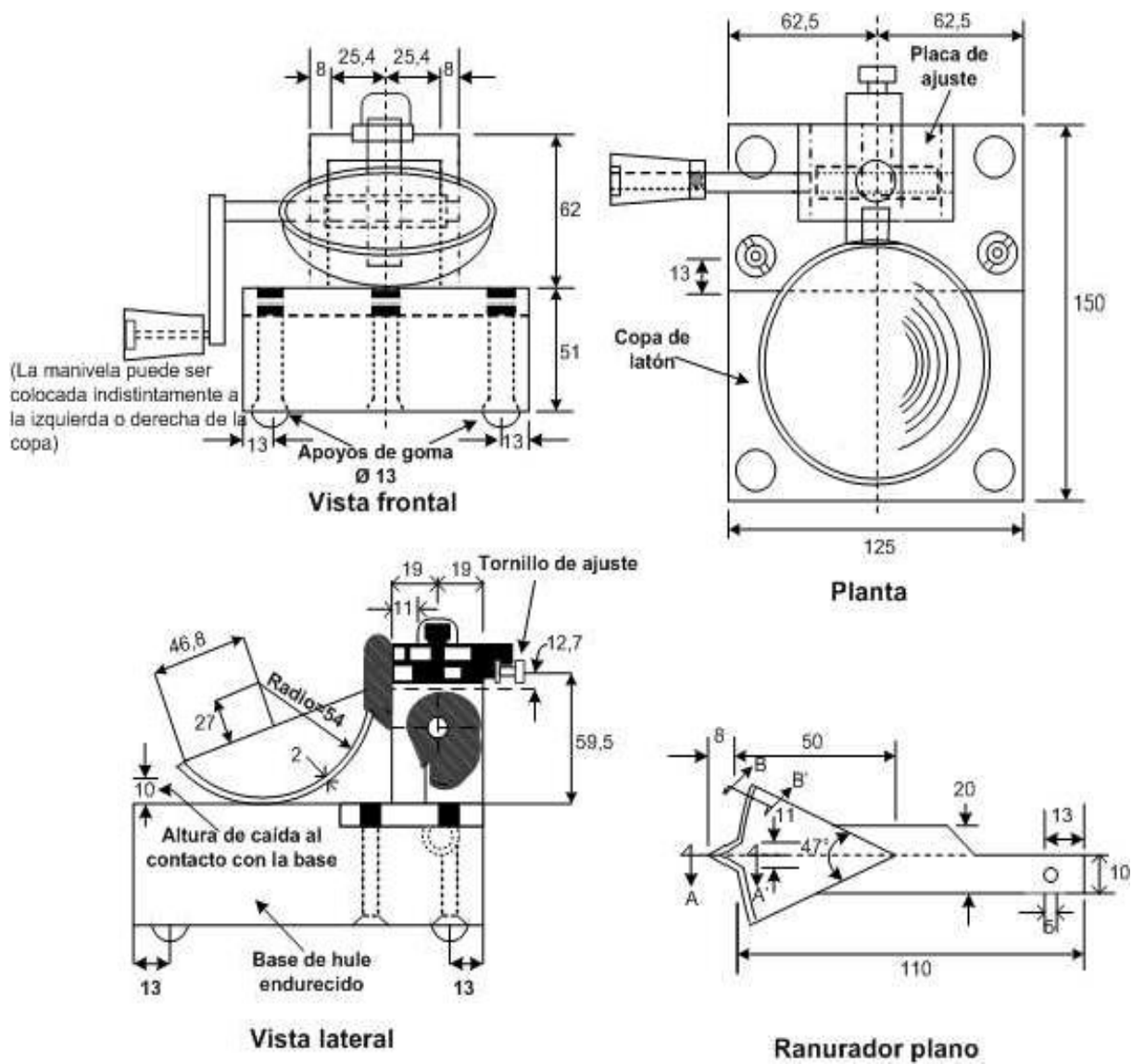
- **Límite líquido:** Según la Norma del MTC E110 (2016, p. 67), el límite líquido (L.L.), es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo, el cual se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo.
- **Límite Plástico:** Según la Norma del MTC E111 (2016, p. 72), denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen. Este método de ensayo es usado como referencia para varios sistemas de clasificación que caracterizan las fracciones de grano fino de suelos (SUCS y AASHTO).
- **Índice de Plasticidad:** Según la Norma del MTC E111 (2016, p. 73), define el índice de plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

$$I.P. = L.L. - L.P.$$

Donde:

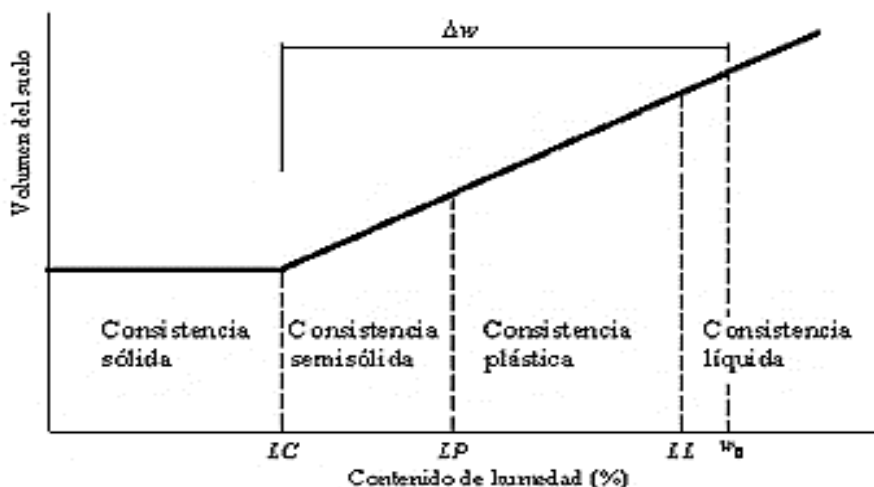
- L.L. = Límite Líquido
- L.P. = Límite Plástico
- L.L. y L.P., son números enteros

Figura 24 Cuchara de Casagrande para el Ensayo de Límite Líquido



Fuente: Norma del MTC E110 (2016, p. 69)

Figura 25 Variación del Volumen de un Suelo con respecto al Contenido de Humedad



Fuente: Google Imágenes

Según el MTC – Sección Suelos y Pavimentos (2013, p. 37), el índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar un suelo.

Un IP grande corresponde a un suelo con alto contenido de arcillas; por el contrario, un IP menor es propio de un suelo con poco contenido de arcillas.

Tabla 10 Valores de los Límites de Atterberg para Minerales de Arcilla

Mineral <sup>a</sup>	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)
Montmorillonita (1)	100-900	50-100
Nontronita (1)(2)	37-72	19-27
Illita (3)	60-120	35-60
Caolinita (3)	30-110	25-40
Halosyta hidratada (1)	50-70	47-60
Halosyta deshidratada (3)	35-55	30-45
Atapulgita (4)	160-230	100-120
Clorita (5)	44-47	36-40

Valores de los límites de Atterberg para minerales de arcilla. J.K. Mitchell [7]

(1) Varias formas iónicas. Valores más altos para monovalentes; más bajos para di y trivalentes.  
 (2) Todas las muestras contienen un 10% de arcilla y un 90% de arena y limo. (3) Varias formas iónicas. Valores más altos para formas di y trivalentes; más bajos para monovalentes. (4) Varias formas iónicas.  
 (5) Algunas cloritas no son plásticas.

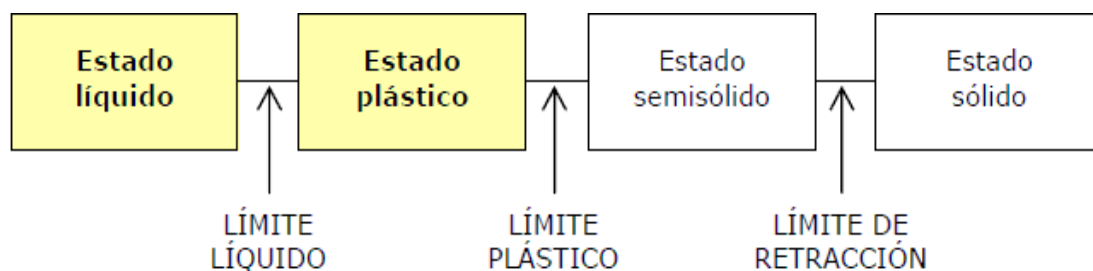
Fuente: J.K. Mitchell

### 2.2.5.3.1. Estados de Consistencia

El comportamiento de un suelo está definido por el contenido de agua que presente, este hecho se demuestra de mejor forma en suelos finos, específicamente hablando en aquellos suelos con un alto contenido de arcillas, ya que los efectos e interacciones producidos se dan a nivel superficial e interlamilar y no como en otros casos que solo influye directamente sobre la masa de cada una de sus componentes, sean estos de Fracción Fina o Gruesa.

Debido a ello el grado de humedad determina los estados de consistencia y los límites que pueda presentar un determinado suelo, siendo estos los siguientes:

Figura 26 Estados de Consistencia de los Suelos



*Fuente: Luis Bañón (2000, c 15, p. 09)*

- Estado Líquido: El alto contenido de agua sobre un suelo, restringe las fuerzas de atracción a nivel de partículas que mantenía unido los elementos del suelo (Cohesión), pasando de tal modo a su estado líquido sin capacidad alguna de buena resistencia.
- Estado Plástico: Si este contenido de humedad es reducido pasamos al estado plástico, donde la muestra de suelo puede experimentar deformaciones ante la presencia de esfuerzos menores sin recuperar su forma inicial, por lo que no es apto para el soporte de cargas.
- Estado Semisólido; En el estado semisólido, el suelo deja de ser moldeable, y pierde volumen en función de la pérdida de humedad.



- Estado Sólido: En el estado sólido el suelo alcanza su estabilidad, ya que el cambio de volumen no está sujeto a las variaciones de humedad por lo que su comportamiento mecánico sería el adecuado.

#### 2.2.5.4. Sistemas de Clasificación de Suelos

Según Braja M. Das (2012, p.17), los sistemas de clasificación de suelos dividen los suelos en grupos y subgrupos con base en propiedades ingenieriles comunes como lo son la distribución granulométrica, el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad, que categorizan cada tipo de suelo.

Los dos sistemas de clasificación principales de uso actual son: El sistema de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y El Sistema unificado de clasificación de suelos Unified Soil Classification System, (USCS o SUCS - ASTM). Ahora, el sistema de la AASHTO se emplea principalmente para la clasificación de las capas del pavimento de una carretera. No se utiliza en la construcción de cimentaciones.

- **Sistema Unificado (SUCS)**

Según Borselli (2019, p.07), se basa en el sistema de clasificación desarrollado por Casagrande durante la Segunda Guerra Mundial, se tuvieron que realizar algunas modificaciones para que fuera aprobado conjuntamente por varias agencias de gobierno de los EE.UU.

Aunque posteriormente en el año de 1952 se realizaron refinamientos adicionales para que actualmente este estandarizado como la norma ASTM D 2487-93.

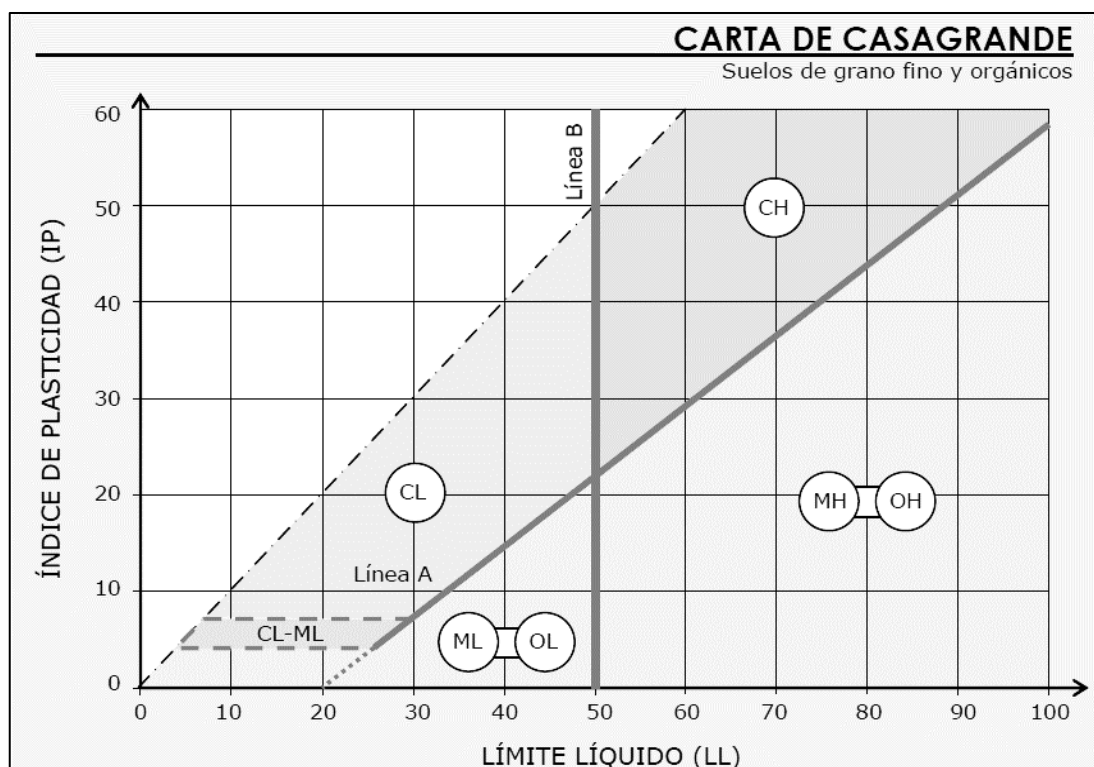
En este sistema unificado los suelos se designaban por un sistema de codificación de dos letras: siendo la primera letra, la que considera el material predominante en el suelo, y la segunda letra, la que describe información relacionada a la constitución parcial del material o características relacionadas a su plasticidad. Actualmente la codificación experimenta una variación que puede llegar a identificar suelos con cuatro dígitos.

Tabla 11 Símbolos de Grupos de Clasificación SUCS

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobrementemente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite líquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Límite líquido bajo (<50)	H

Fuente: Luis Bañón (2000, c.15, p. 21)

Tabla 12 Carta de Casagrande para Clasificación de Suelos Cohesivos



Fuente: Luis Bañón (2000, c.15, p. 22)

Este Sistema de Clasificación inicialmente separa los tipos de suelos en función de los porcentajes retenidos en las mallas N° 04 y N° 200, (4.76 y 0.075 mm.), en base al retenido en el Tamiz N° 200 se dividen en dos las categorías iniciales: Suelos Granulares y Suelos Finos, posteriormente el Tamiz N° 04 separa las arenas de las gravas. En el caso de Suelos Finos los parámetros de identificación son el límite líquido y el índice de plasticidad.





Tabla 13 Criterios para clasificación de Suelos según SUCS

Criterios para la asignación de símbolos de grupo y nombre de grupo con el uso de ensayos de laboratorio		Clasificación de suelos			
		Símbolo de grupo	Nombre del grupo		
Suelos de partículas gruesas mas del 50% es retenido en la malla No. 200	Gravas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Grava bien graduada	
		$Cu < 4$ y $1 > Cc > 3$	GP	Grava mal graduada	
	Gravas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200	$IP < 4$ o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa	
		$IP > 7$ o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava arcillosa	
	Gravas limpias y con finos Entre el 5 y 12% pasa malla No.200	Cumple los criterios para GW y GM	GW-GM	Grava bien graduada con limo	
		Cumple los criterios para GW y GC	GW-GC	Grava bien graduada con arcilla	
		Cumple los criterios para GP y GM	GP-GM	Grava mal graduada con limo	
		Cumple los criterios para GP y GC	GP-GC	Grava mal graduada con arcilla	
	Arenas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena bien graduada	
		$Cu < 6$ y $1 > Cc > 3$	SP	Arena mal graduada	
		Arenas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200	$IP < 4$ o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa
			$IP > 7$ o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC	Arena arcillosa
		Arenas limpias y con finos Entre el 5 y 12% pasa malla No.200	Cumple los criterios para SW y SM	SW-SM	Arena bien graduada con limo
			Cumple los criterios para SW y SC	SW-SC	Arena bien graduada con arcilla
Cumple los criterios para SP y SM	SP-SM		Arena mal graduada con limo		
Cumple los criterios para SP y SC	SP-SC		Arena mal graduada con arcilla		
Suelos de partículas finas El 50% o mas pasa la malla No. 200	Inorgánicos	$IP > 7$ y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad	
		$IP < 4$ y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	ML	Limo de baja plasticidad	
	Orgánicos	Limite liquido - secado al horno ----- $< 0.75$	OL	Arcilla orgánica	
		limite liquido - no secado		Limo orgánico	
	Limos y arcillas Limite Liquido mayor que 50	Inorgánicos	$IP > 7$ y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad
			$IP < 4$ y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH	Limo de alta plasticidad
		Orgánicos	Limite liquido - secado al horno ----- $< 0.75$	OH	Arcilla orgánica
			limite liquido - no secado		Limo orgánica
Suelos altamente orgánicos	Principalmente materia orgánica de color oscuro	PT	Turba		

Fuente: Matus & Blanco (2015, p. 02)





- **Sistema de la AASHTO**

Según Braja (2012, p.18), de acuerdo con la forma presente de este sistema, los suelos se pueden clasificar según ocho grupos principales, A-1 a A-7, con base en su distribución granulométrica, límite líquido e índice de plasticidad. Los suelos listados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales de granulares, y aquellos en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 son materiales de grano fino. La turba, el fango y otros suelos altamente orgánicos se clasifican en el grupo A-8 y son identificados mediante una inspección de sus propiedades a nivel de características que resaltan a nuestros principales sentidos.

Tabla 14 Criterios de clasificación según AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos de la muestra total pasa la malla núm. 200)						
	A-1			A-2			
	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis por mallas (% que pasa)							
Malla núm. 10	50 máx						
Malla núm. 40	30 máx	50 máx	51 mín				
Malla núm. 200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx
Para la fracción que pasa							
Malla núm. 40							
Límite líquido (LL)				40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de plasticidad (IP)	6 máx		No plástico	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Tipo usual de material	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	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)						
	A-4	A-5	A-6	A-7			
Análisis por mallas (% que pasa)							
Malla núm. 10							
Malla núm. 40							
Malla núm. 200	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín			
Para la fracción que pasa							
Malla núm. 40							
Límite líquido (LL)	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín			
Índice de plasticidad (IP)	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín			
Tipo usual de material	Principalmente suelos limosos		Principalmente suelos arcillosos				
Calificación subrasante	Regular a malo						
*Si $IP \leq LL - 30$ , la clasificación es A-7-5.							
*Si $IP > LL - 30$ , la clasificación es A-7-6.							

Fuente: Braja (2012, p.18)

- **Correlación de los Sistemas AASHTO Y SUCS**

Según el MTC – Sección Suelos y Pavimentos (2013, p. 39), a continuación, se presenta una correlación de los sistemas de clasificación principales de uso actual más difundidos, AASHTO y ASTM (SUCS):

Tabla 15 Cuadro de Correlación entre ambos Métodos de Clasificación


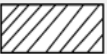


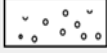

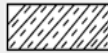
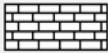







Clasificación de Suelos AASHTO AASHTO M-145	Clasificación de Suelos SUCS ASTM –D-2487
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

Fuente: MTC – Sección Suelos y Pavimentos (2013, p. 39)

#### 2.2.5.4.1. Determinación del Perfil del Suelo

Según la Norma del MTC E101 (2016, p. 17), un perfil detallado de suelos deberá desarrollarse únicamente donde la relación continua entre profundidades y datos de los diferentes tipos de suelo y roca, sea económicamente justificable para el proyecto. Los perfiles del subsuelo deben dibujarse únicamente en base a datos y descripciones de perforaciones que cuenten con registro reales.

Tabla 16 Signos Convencionales para Perfiles según Clasificación AASHTO

Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación
	A-1-a		A-5		A-2-5		MATERIA ORGÁNICA
	A-1-b		A-6		A-2-6		ROCA SANA
	A-3		A-7-5		A-2-7		ROCA DESINTEGRADA
	A-2-4		A-7-6		A-4		

Fuente: MTC – Sección Suelos y Pavimentos (2013, p. 35)

Tabla 17 Signos Convencionales para Perfiles según Clasificación SUCS

	Grava bien graduada mezcla, grava con poco o nada de material fino, variación en tamaños granulares.		Arena mal graduada con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de partículas intermedias.		Limo orgánico y arcilla limosa orgánica, baja plasticidad.
	Grava mal graduada, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino.		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy bajo.		Limos inorgánico, suelo fino gravoso o limoso, micacea o diatometacea, limo elástico.
	Grava limosa, mezcla de grava, arena limosa.		Arenas arcillosas, mezcla de arena-arcillosa.		Arcilla inorgánica de elevada plasticidad, arcilla gravosa.
	Grava arcillosa, mezcla de grava-arena-arcilla; grava con material fino cantidad apreciable de material fino.		Limo orgánico y arena muy fina, polvo de roca, arena fina limosa o arcillosa o limo arcilloso con ligera plasticidad.		Arcillas orgánicas de mediana o elevada plasticidad, limo orgánico.
	Arena bien graduada, arena con grava, poco o nada de material fino. Arena limpia poco o nada de material fino, amplia variación en tamaños granulares y cantidades de partículas en tamaños intermedios.		Limo orgánico de plasticidad baja o mediano, arcilla grava, arcilla arenosa, arena limosa, arcilla magra.		Turba, suelo considerablemente orgánico.

Fuente: MTC – Sección Suelos y Pavimentos (2013, p. 35)

### 2.2.5.5. Ensayos de Compactación

Según Bowles (1981, p. 80), los ensayos de compactación usados actualmente, llamados algunas veces ensayos de Proctor o simplemente "Proctor", son de dos tipos:

- **Proctor Modificado**

Según la Norma del MTC E115 (2016, p. 105), este ensayo permite determinar la relación entre el contenido de agua y la densidad máxima seca de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101,6 ó 152,4 mm (4 ó 6 pulg) de diámetro con un pisón de 44,5 N (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18 pulg), produciendo una energía de compactación de (2700 kN-m/m<sup>3</sup>).



Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% ó menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 19,0 mm ( $\frac{3}{4}$ " pulg).

- **Proctor Estándar**

Según la Norma del MTC E116 (2016, p. 119), este método de ensayo cubre los procedimientos de compactación en el laboratorio que se utilizan para determinar las relaciones entre el contenido de agua y el peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde con un diámetro de 101,6mm. Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% ó menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 19,0 mm ( $\frac{3}{4}$ " pulg). Según Bowles (1981, p. 80), este ensayo consiste en tomar 3 kg de suelo, pasarlos a través del tamiz No. 4, añadir agua, y compactarlos en un molde 944 cm<sup>3</sup>, los cuales están dispuestos en 3 capas con 25 golpes por capa, con un martillo de compactación de 24.5 N con caída de 0.305 m. Luego de compactada de esta manera la muestra, es removida del molde y desbaratada nuevamente hasta obtener grumos de tamaño aproximado del tamiz No. 4, de acuerdo a una prospección visual, de donde se toman muestras para contenido de humedad, se le añade más agua, se mezcla cuidadosamente con el suelo, y se compacta nuevamente el suelo en el molde, esta secuencia se repite hasta obtener datos que nos permitan dibujar una curva de densidad seca vs. contenido de humedad. La ordenada máxima de este diagrama se conoce como la densidad máxima, y el contenido de humedad de esta densidad se denomina contenido de humedad óptimo (CHO).

- **Diferencias entre el Ensayo de Proctor Modificado y Normal**

La gran diferencia prima en la energía de compactación empleada para cada ensayo, ya que en el Ensayo de Compactación de Proctor Modificado las variaciones existentes tanto en la formula y el método de trabajo se basa en la lógica de evolución del Ensayo Normal, a causa de la necesidad de emplear maquinaria de compactación de características cada vez más sofisticadas y pesadas, para proporcionar una conformación de plataformas estables según los requerimientos de cada vía, dado que las cargas experimentadas por las capas estructurales en cada uno de sus ejes no es mucho mayor que en tiempos pasados, por ello también la necesidad de proyectar los niveles de tráfico sobre una vía.

Tabla 18 Métodos para el Ensayo de Proctor Modificado

PROCTOR MODIFICADO			
MÉTODO	A	B	C
MOLDE	4" de diámetro (101,6mm)	4" de diámetro (101,6mm)	6"(152,4mm) de diámetro
PESO DEL PISÓN	44.5 N	44.5 N	44.5 N
ALTURA DE CAÍDA	45.72 cm	45.72 cm	45.72 cm
MATERIAL	El que pasa por el tamiz N° 4 (4,75 mm).	El que pasa por el tamiz de 3/8" (9,5 mm).	El que pasa por el tamiz 3/4" (19,0 mm).
CANTIDAD DE MATERIAL	2.5 kg	2.5 kg	5.9 kg
CAPAS	5	5	5
GOLPES POR CAPA	25	25	56
USO	Cuando el 20% ó menos del peso del material es retenido en el tamiz N° 4 (4,75 mm).	Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz N° 4 (4,75mm) y 20% ó menos de peso del material es retenido en el tamiz 3/8"(9,5 mm).	Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 3/8" (9,53 mm) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 3/4" (19,0 mm)
OTROS USOS	Si el método no es especificado; los materiales que cumplen estos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método B o C.	Si el método no es especificado, y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método C.	

*Fuente: Adaptación Propia según la Norma del MTC E-115 (2016, p.p. 105-106)*

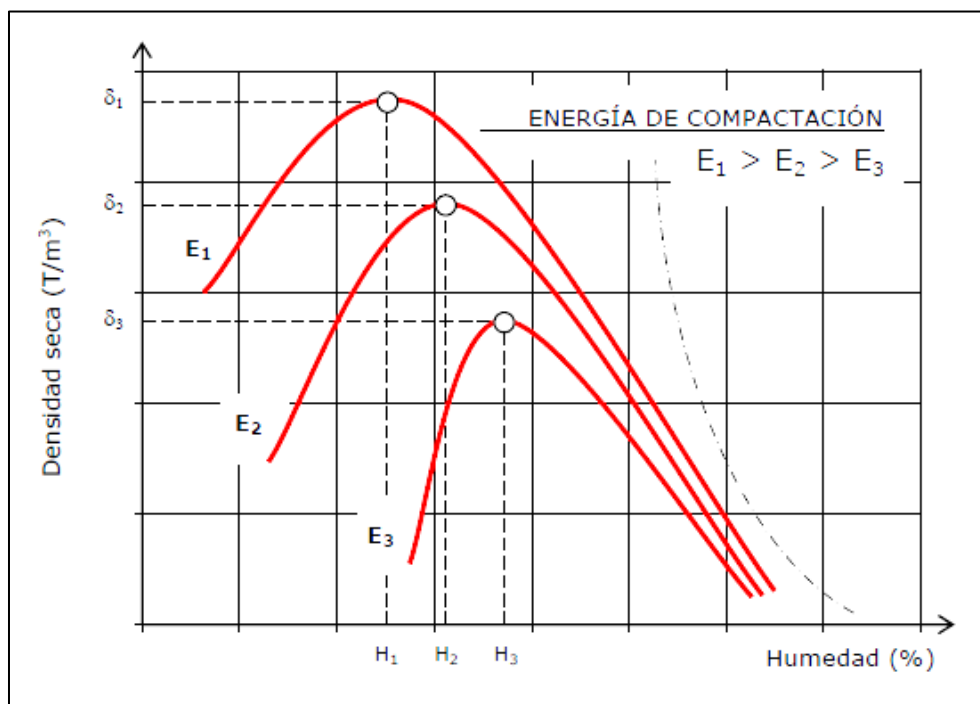


Tabla 19 Métodos para el Ensayo de Proctor Estándar

PROCTOR ESTÁNDAR			
MÉTODO	A	B	C
MOLDE	4" de diámetro (101,6mm)	4" de diámetro (101,6mm)	6"(152,4mm) de diámetro
PESO DEL PISÓN	24.4 N	24.4 N	24.4 N
ALTURA DE CAÍDA	30.48 cm	30.48 cm	30.48 cm
MATERIAL	El que pasa por el tamiz N° 4 (4,75 mm).	El que pasa por el tamiz de 3/8" (9,5 mm).	El que pasa por el tamiz 3/4" (19,0 mm).
CANTIDAD DE MATERIAL	2.5 kg	2.5 kg	5.9 kg
CAPAS	3	3	3
GOLPES POR CAPA	25	25	56
USO	Cuando el 20% ó menos del peso del material es retenido en el tamiz N° 4 (4,75 mm).	Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz N° 4 (4,75mm) y 20% ó menos de peso del material es retenido en el tamiz 3/8"(9,5 mm).	Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 3/8" (9,53 mm) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 3/4" (19,0 mm)
OTROS USOS	Si el método no es especificado; los materiales que cumplen estos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método B o C.	Si el método no es especificado, y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método C.	

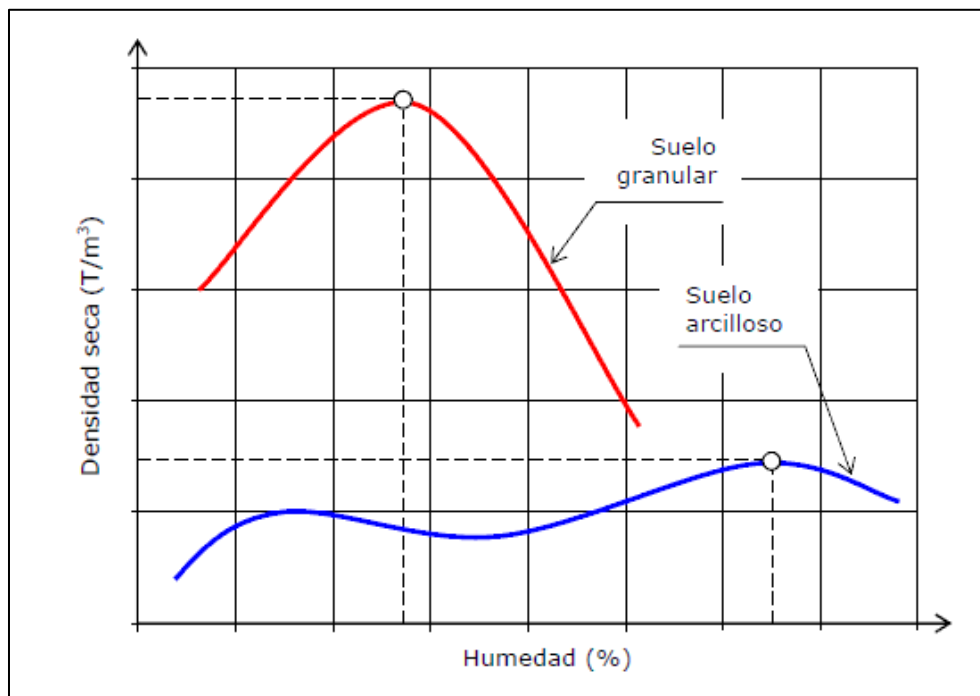
*Fuente: Adaptación Propia según la Norma del MTC E-116 (2016, p.p. 119-120)*

Figura 27 Influencia y Evolución de la Energía de Compactación



Fuente: Luis Bañón116 (2000, c. 15, p.14)

Figura 28 Curva de Compactación según el tipo de Suelo



Fuente: Luis Bañón116 (2000, c. 15, p.15)





#### 2.2.5.6. Relación de Soporte de California (CBR)

Según la Norma del MTC E132 (2016, p. 248), este ensayo es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio). Este ensayo es usado para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, subbase y de afirmado considerados para una carretera. Según Bowles (1981, p. 190), este ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de densidad y humedad controladas.

El número CBR se obtiene como la relación de la carga unitaria del ensayo (lbs/pulg<sup>2</sup> o Kg/cm<sup>2</sup>) del pistón de penetración, necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración (19.4 cm<sup>2</sup>) en una muestra compactada de suelo a una densidad y contenido de humedad establecidas con respecto a la carga unitaria patrón requerido para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado. El número CBR está representada mediante la siguiente ecuación:

$$CBR = \frac{\text{Carga unitaria del ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} \times 100\%$$

Se puede ver que el número CBR es un porcentaje de la carga unitaria patrón. En la práctica, el símbolo de porcentaje no se considerará y la relación se presenta simplemente por un número entero.

Asimismo, Bowles (1981, p. 190), señala que; Generalmente se compactan dos moldes de suelo – el primero para una penetración inmediata y segundo para una penetración después de que la muestra este saturada por un período de 4 días (96 horas). La segunda muestra estará con una sobrecarga aproximadamente igual al peso del pavimento que se usará en campo, en ningún caso el peso de la sobrecarga será menor de 4.5 kg. Durante este período es necesario tomar registros de expansión para los instantes escogidos arbitrariamente.

Para obtener el valor de CBR al final del período de saturación se hace la penetración en condición de saturación completa. Para determinar los valores de CBR en ambos ensayos de penetración se coloca una sobrecarga sobre la muestra de la misma magnitud de la que se utilizó durante el ensayo de expansión.



El ensayo en la muestra saturada cumple dos finalidades: proporciona información sobre la expansión esperada en el suelo bajo la estructura de pavimento cuando el suelo este saturado y da una indicación sobre la pérdida de resistencia debida a la saturación en campo.

Para dibujar la curvatura de presión con respecto a la penetración, se debe de tomar registros pares de valores de presión y penetración, sin embargo, el par de valores más importante que se toma para este tipo de ensayos y resultados es el que corresponde a los 2.54 mm. y 5.08 mm. que se comparan con los de la muestra patrón en los mismos puntos registrados correspondientes a la deformación. El índice CBR del suelo analizado, será aquel que de mayor resultado.

En caso se busquen métodos alternos para calcular el valor de CBR, existen fórmulas empíricas en base a parámetros relativos de las propiedades de los suelos, tal es el caso de la fórmula que plantean Trocchi y Peltier exclusivamente para suelos plásticos o arenas limpias, que es la siguiente:

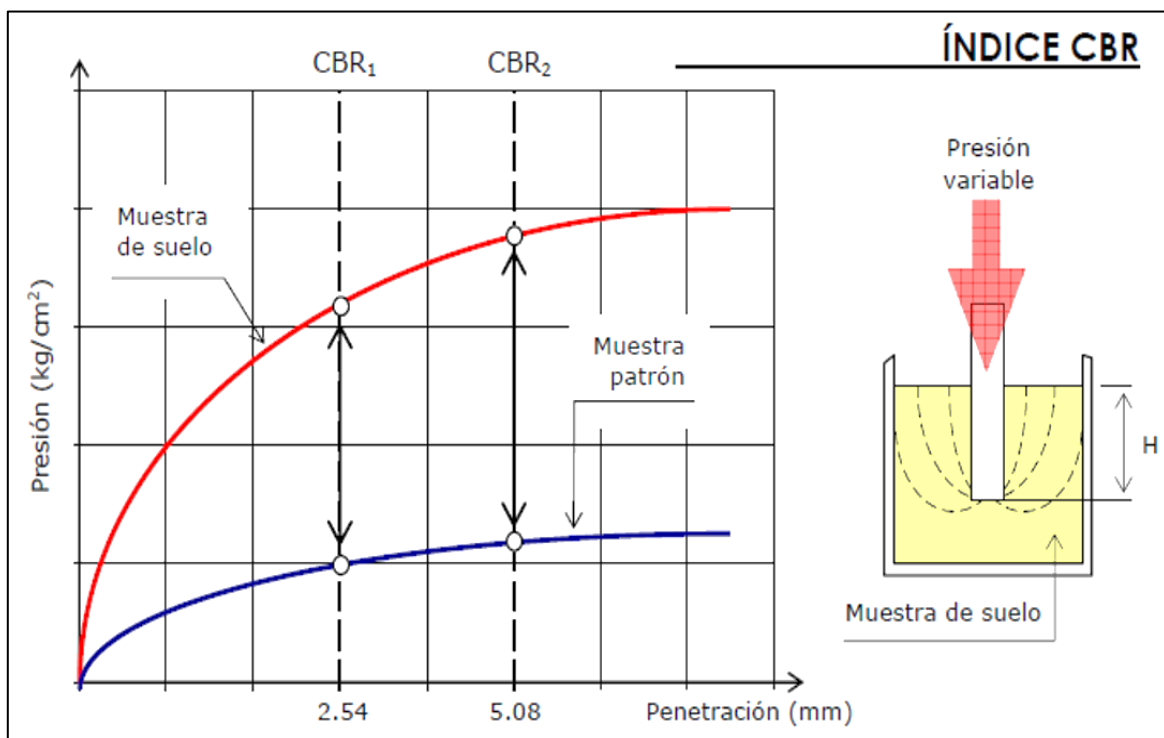
$$CBR = \frac{(22 - IG) \cdot \frac{D}{1.454250}}{1 - \frac{LL \cdot IP}{750}}$$

$$CBR = \frac{4250}{LL \cdot IP}$$

Donde:

- LL: Límite Líquido
- IP: Índice de Plasticidad
- D: Densidad Máxima Seca obtenida mediante el Ensayo de Proctor
- IG: Índice de Grupo del Suelo (Según AASHTO)

Figura 29 Determinación del índice de CBR



Fuente: Luis Bañón (2000, c. 15, p. 18)

Según el MTC – Sección Suelos y Pavimentos (2013, p. 107), se considerarán como materiales aptos para las capas de la subrasante suelos con  $CBR \geq 6\%$ .

Tabla 20 Clasificación de Subrasante según el Valor de CBR

Categorías de Subrasante	CBR
S <sub>0</sub> : Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S <sub>1</sub> : Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S <sub>2</sub> : Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S <sub>3</sub> : Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S <sub>4</sub> : Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S <sub>5</sub> : Subrasante Excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: MTC – Sección Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2013, p. 40)



### 2.2.5.7. Módulo de Resiliencia

Según el MTC en el Manual de Carreteras en la Sección: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, define el Módulo Resiliente ( $M_r$ ) como una medida de la rigidez del suelo de subrasante, parámetro el cual hasta la fecha se sigue calculando por medio de ecuaciones proporcionadas por varios trabajos de investigación. Sin embargo, Gutiérrez Lázares W. menciona que el  $M_r$ , se define como la proporción entre el esfuerzo axial desviador dinámico y la deformación axial recuperable (Elástica). La razón primordial que hasta el día de hoy se utilicen fórmulas de cálculo, para la determinación de este parámetro radica en que la gran mayoría de los laboratorios no cuentan con el equipo necesario para realizar este tipo de ensayos, por lo que la falta de correspondencia entre los ensayos y la realidad representa una gran problemática, para la determinación de la estructura de un pavimento. Sin embargo, tanto el Manual de Carreteras del MTC, como Gutiérrez Lázares W. ofrecen fórmulas de cálculo, ajustadas a nuestro medio, las cuales vendrían a ser la del MPEDG (Mechanistic Empirical Pavement Design Guide), la del Instituto de Aeronáutica de Brasil, que se basa en determinar el  $M_r$  en función del CBR para el material de Subrasante, contando con la ventaja de que esta fórmula trabaja con valores de CBR entre 4 y 48, considerando suelos de subrasante de características tropicales y condiciones similares al de algunas regiones del territorio nacional. Otra de las fórmulas que se considera para efectos de cálculo de esta presente tesis de investigación es la que propone el modelo de Shell, que es de uso mundial e inclusive lo integra el Instituto de Asfalto en su metodología de trabajo y diseño.

Tabla 21 Modelos matemáticos para determinar el Módulo Resiliente

MODELO	AUTOR	CORRELACIÓN
MEPDG	Mechanistic Empirical Pavement Design Guide	$M_r = 2555 (CBR)^{0.64}$
Instituto de Aeronáutica de Brasil	Cardoso	$CBR = 0.0624 (M_r)^{1.176}$ ( $M_r$ en Mpa)
Shell	Heukelon - Foster Heukelon - Klomp	$M_r = 10 (CBR)$ $M_r = 1500 (CBR_{sumergido})$
Shell (Reanalizado)	Hopkins	$17.914 (CBR)^{0.874}$

Fuente: Gutiérrez Lázares W. (2016, p. 66, p. 67)



### 2.2.6. Resinación de Pino

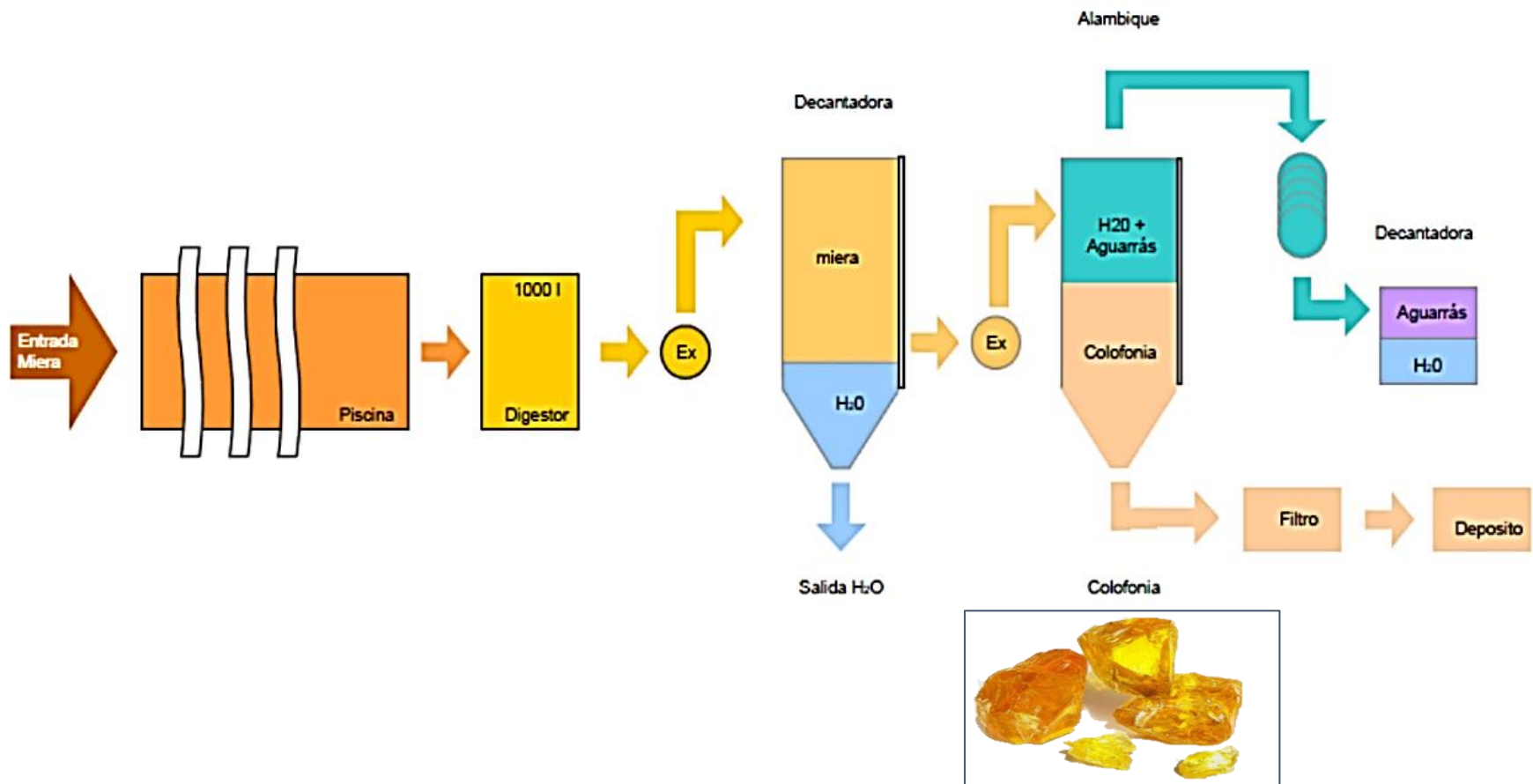
Las Resinas son sustancias que presentan consistencia viscosa, glutinosa y translúcida, estas tienden a cristalizarse cuando entran en contacto con el ambiente exterior, y conforme se vaya aumentando la temperatura del medio pueden dilatarse o suavizarse, pueden ser disueltas en alcohol o éter, no obstante, presentan resistencia para ser disueltos en agua, la producción y obtención de estas puede realizarse por medio de formas naturales o artificiales (Extracción directa de Plantaciones o Reacciones de Polimerización). Según el origen y tratamiento de esta sustancia tenemos:

- **Resinas Sintéticas:** Son fabricadas mediante procesos de Polimerización, creando reacciones entre sustancias y catalizadores que doten de mejores características a los productos sintéticos resultantes.
- **Resinas Naturales:** Son las secreciones recolectadas mediante la exudación provocada a las especies de árboles coníferas, esta sustancia cumple una función de reserva y cicatrización dentro del organismo de las plantas.

Para la extracción de Resinas, la forma más común que han desarrollado algunas de las industrias ligadas a este medio es mediante la realización de tajos a los troncos de especies coníferas, para que posteriormente mediante los procesos de exudación que el tronco cumple, la resina sea segregada al exterior mediante los conductos o canales expuestos que lo depositan en contenedores que luego serán llevados a las plantas de tratamiento. Una vez picados y tallados los troncos principales de producción, cada tajo deberá de ser controlado para una continua producción de resinas, en periodos de tiempo no superiores a los siete días. Las incisiones efectuadas al tronco del árbol de pino serán realizadas desde la parte baja de este a la parte superior, cambiando las caras de corte cada cinco años. En las plantas resineras en donde se realizará el proceso de destilación, fase en la cual se separa la trementina y la colofonia; los porcentajes de cada uno de estos variaran según la especie de la planta, aunque generalmente la parte residual sólida compuesta por diversos ácidos (Ácidos abiéticos y pimáricos) supera aquella parte líquida compuesta por la trementina.



Figura 30 Esquema Básico de una Planta de Tratamiento de Resinas



Fuente: Villar Carbajosa, Gonzalo (2014, p. 6)



Debe de mencionarse que el porcentaje de estos ácidos dentro de la Trementina y la Colofonia, también varía según el método de destilación considerado, los tiempos y temperatura empleados para la separación de estas sustancias.

Figura 31 Obtención de la Colofonia de Pino, por Corte en la Corteza del Tronco



*Fuente: Google Imágenes*

Las herramientas para la extracción de la Colofonia de Pino son las siguientes:

- Hacha plana
- Espátula
- Comba
- Media luna
- Viseras o laminillas
- Recipientes colectores
- Cilindros de 55 galones

En la medida en que se ha ido descubriendo los derivados de la resina de pino, los múltiples usos que se le ha ido dando en las diferentes industrias ha vuelto a sus principales componentes (Colofonia y Trementina) en materias versátiles ligadas a áreas como la medicina, agricultura, utilería, higiene, control de organismos y otras que transforman sintéticamente estos recursos.

#### **2.2.6.1. Características de la Resina de Pino**

La miera extraída de las plantaciones de los árboles de pino, presentan consistencia densa, viscosa, muy glutinosa, de coloración ámbar opaca con ciertas manchas blancas. Químicamente tiene un contenido de ácidos superior al 50%, los cuales tienden a conformar las colofonias luego del proceso de destilación.



Tabla 22 Indicadores de Calidad de la Resina de Pino

Indicadores de calidad	Muestra de Resina
Índice de acidez	134.39-140
Índice de saponificación	136.20 - 138.0
Materia insaponificable	22.33
Impurezas %	0.43 - 1.13
Humedad %	3.23 - 4.07

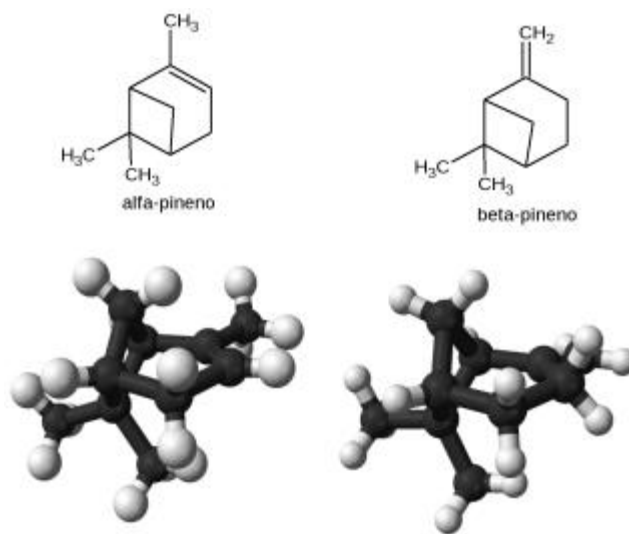
Fuente: *Journal de Ciencia e Ingeniería* (2013, Vol 05, p. 90)

## 2.2.6.2. Componentes de la Resina de Pino

### 2.2.6.2.1. Trementina

La trementina es una sustancia ligera producida por la destilación de las colofonias de pino, es transparente, inflamable, y presenta un olor muy fuerte, es inmisible en el agua, éter y alcohol absoluto. Posee un punto de ebullición por encima de los 150 °C y presenta una densidad realtiva entre 0.85 – 0.88 gr/cm<sup>3</sup>. Esta sustancia se encuentra conformada por componentes terpénicos (Compuesto Orgánico con unidades de Hidrocarburos de 5 átomos de Carbono). Está constituida por 25% - 30% de beta pineno y 50% - 60% de alfa pineno.

Figura 32 Composición Química de Trementina



Fuente: *Variación de las Propiedades Estructurales, Térmicas y Mecánicas del Poli por medio del empleo de aditivos derivados de la Resina de Pino*

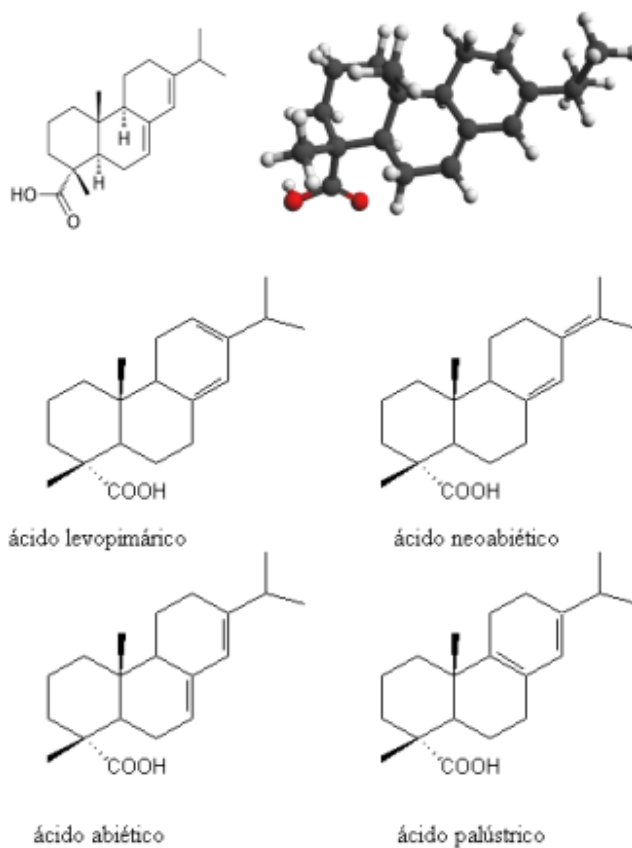


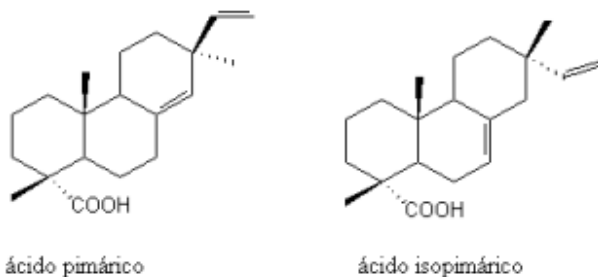
### 2.2.6.2.2. Colofonia de Pino

La colofonia es uno de los recursos extraídos de la destilación de la colofonia de pino, deriva de los residuos no volátiles al finalizar el proceso de destilación y refinación. Presenta la forma de un sólido vidrioso, cristalino y ligero, por lo que se encuentran constituida en su mayoría por una mezcla de ácidos (90.0 %) con pequeñas cantidades de compuestos neutros.

La composición de la colofonia generalmente presenta la siguiente distribución de ácidos en su estructura química interna: 15.0-20.0% de ácido abiético, 15.0-20.0% de ácido neoabiético, 30.0-35.0% de ácido levopimárico y otro 15.0-20.0% de ácido pimárico, los porcentajes restantes lo cubren ácidos y componentes neutros.

Figura 33 Composición Química de la Colofonia de Pino





*Fuente: Variación de las Propiedades Estructurales, Térmicas y Mecánicas del Poli por medio del empleo de aditivos derivados de la Resina de Pino*

### 2.2.6.3. Indicadores de Calidad de los Componentes de la Resina

Los resultados obtenidos y publicados en algunas revistas científicas, indican los siguientes parámetros para las siguientes propiedades de estos elementos que componen las Resinas de Pino.

Tabla 23 Indicadores de Calidad de la Trementina

Indicadores de calidad	Muestra Trementina
Índice de acidez	0.40-0.46
Índice de esterificación	0.30-0.33
Índice de Refracción	1.484
Punto de Fusión	77.4-78 °C
Densidad g/mL	0.857

*Fuente: Journal de Ciencia e Ingeniería (2013, Vol 05, p. 90)*

Tabla 24 Indicadores de Calidad de la Colofonia

Indicadores de calidad	Muestra de Colofonia
Índice de acidez	155-158
Índice de saponificación	153.7-160
Materia insaponificable	4.8-7.6
Punto de Fusión	76.7-78 °C
Humedad %	0.89-1.15
Color	M

*Fuente: Journal de Ciencia e Ingeniería (2013, Vol 05, p. 90)*



#### 2.2.6.4. Usos de la Colofonia de Pino

La presencia del grupo ácido carboxílico en la estructura fenantrénica de los ácidos resínicos, le confiere características de compatibilidad y solubilidad, idóneos a la hora de la formulación de productos de manufactura. Es por tal motivo que la colofonia es muy utilizada como agente de enlace en las siguientes actividades y producciones de:

Tabla 25 Actividades y Productos que contienen Colofonia de Pino

ACTIVIDADES	PRODUCTOS QUE CONTIENEN COLOFONIA	ACTIVIDADES	PRODUCTOS QUE CONTIENEN COLOFONIA
<b>Medicina</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pañales para niños y adultos y productos de higiene, esparadrapos, vendajes, steristrips</li> <li>• Matrices de medicamentos</li> <li>• Productos dentarios</li> <li>• Líquidos antiverrugas</li> <li>• Linimentos</li> <li>• Bolsas de colostomía</li> <li>• Vestidos quirúrgicos de papel</li> <li>• Productos veterinarios: conservantes de medicamentos y repelentes para perros</li> </ul>	<b>Industria en general</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tintas de imprenta</li> <li>• Colas y adhesivos para embalajes, sellados de cajas, etiquetados, masillas, calafateadores y selladores en general</li> <li>• Papeles</li> <li>• Fundentes de soldadura. Vapores de soldadura al estaño de mezcla blanda</li> <li>• Lacas, barnices, pinturas</li> <li>• Aceites de corte (emulsificante)</li> <li>• Ceras, betunes y encáusticos (para coches, cuero, muebles, suelos)</li> <li>• Revestimientos de superficies, linóleo</li> <li>• Aislantes eléctricos y térmicos, aislantes en la industria electrónica</li> <li>• Aditivos en la fabricación de cauchos sintéticos y plásticos</li> <li>• Productos de limpieza</li> <li>• Velas perfumadas</li> <li>• Ambientadores</li> </ul>
<b>Cosmética</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ceras para depilación</li> <li>• Máscaras y sombras para párpados</li> <li>• Laca de uñas</li> <li>• Pintura de labios</li> <li>• Productos capilares, brillantina</li> <li>• Jabones para la limpieza corporal</li> </ul>		
<b>Agricultura</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forestal: pinos, abetos y otras coníferas</li> <li>• Productos para el tratamiento de bosques y lacas para la madera</li> <li>• Serrín de madera de pino, abetos y otras coníferas</li> </ul>	<b>Actividades artísticas y deportivas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cubos de colofonia para frotar los arcos de violín</li> <li>• Polvos antiderrapantes para bailarines y distintos deportes</li> </ul>

*Fuente: Colofonia: Riesgos asociados a su Utilización*

*Notas Técnicas de Prevención (Berenguer J. & Alonso R. - 2007)*

#### 2.2.6.5. Propiedades Físicas de la Colofonia de Pino

Luego de la obtención por fusión y purificación de la resina natural de pino, esta se presenta de forma solido vítreo y presenta las siguientes características:

- Aspecto : Sólido cristalino
- Olor : Pino
- Punto de fusión : 66.5 - 93.4 °C
- Punto inicial de ebullición : 265°C



- Punto de inflamación	: 208.1°C
- Inflamabilidad (sólido, gas)	: No inflamable
- Densidad relativa	: 1.034 g/cm <sup>3</sup> (20°C.)
- Solubilidad(es)	: 0.9 mg/L (20°C.)
- Coeficiente de reparto n-octanol/agua	: 0.74 a 6.5 (componentes)
- Temperatura de auto-inflamación	: 335.5°C a >400°C
- Propiedades explosivas	: No explosivo
- Propiedades comburentes	: No comburente
- Cristalización	: Más de 1,5 horas
- I.A (Índice de acidez)	: 165.4 mg KOH/g
- Viscosidad	: 858.71 cps

#### 2.2.6.6. Modificaciones Químicas en la Colofonia de Pino

Debido a la carencia de enlaces de hidrogeno que hacen que la Colofonia de Pino tenga baja estabilidad, es que se presentan casos donde se realizan configuraciones a ese recurso. Siendo los más generales la Esterificación, Hidrogenación y Dimerización, o alguna combinación posible entre estas modificaciones. Los procedimientos de modificación separan los compuestos ácidos de los ácidos abiéticos, dando lugar a sustancias neutras, mejorando de esta forma la resistencia a la oxidación, cristalización y estabilidad térmica.

- **Esterificación:** Se producen reacciones químicas entre los ácidos de la colofonia con alcohol, para obtener éster, donde en función del peso molecular del alcohol y la funcionalidad de este, se altera el punto de reblandecimiento, alterando de tal forma propiedades como, cohesión, adhesión, viscosidad y grado de aglutinamiento entre partículas.
- **Hidrogenación:** Es el proceso de agregación de moléculas de hidrogeno a los dobles enlaces de la Colofonia de Pino, esta modificación incrementa la resistencia a la oxidación, haciendo que las moléculas tengan mayor adhesión. Por otra parte, las sustancias sujetas a esta modificación tienden a aclararse.



- **Dimerización:** Esta modificación une moléculas iguales con el objetivo principal de formar moléculas de mayor estabilidad y peso molecular, con puntos de reblandecimiento más altos. Ya que de este modo se reducen la cantidad de enlaces dobles en la colofonia.

#### 2.2.6.7. Situación actual de los Bosques de Pino en el Perú

La situación actual de los bosques viene como resultado de varios procesos e iniciativas de proyectos que se dieron a nivel nacional, desde los años 60', en los que se promovía la ley forestal por medio de créditos que se otorgaban a la población interesada.

Estos proyectos fueron llevados de la mano junto con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), y los principales mercados que se iban desarrollando eran dentro de los sectores mineros y ferroviarios. Las experiencias recogidas en esta época remarcan la poca capacidad de manejo de plantaciones forestales que se tenía en aquel entonces, y la poca noción que se contaba para realizar monitoreos.

Ya para los años 70' se iniciaron proyectos de plantaciones forestales en pequeñas comunidades con la ayuda de diversas cooperativas, tal es el caso de la Región de Cajamarca, que para el año del 2017 logro desarrollar un total de 11 000 hectáreas de plantaciones forestales de las cuales, actualmente se manufacturan muebles. Sin embargo, a pesar del apoyo económico que se le brinda por medio del financiamiento del Estado no se ha logrado hasta la fecha los niveles de producción esperados. Debe de señalarse que muchos de los avances que se han dado en relación a estas plantaciones han sido a causa de instrumentos impulsores como lo son la Ley Forestal y de Fauna Silvestre y los planes concebidos para el Desarrollo del Sub-Sector Forestal, así como el Plan del Sector Agrario, que han logrado capitalizar y convertir pequeños lotes de producción en grandes sectores regionales de producción. Posteriormente en los años 80' se fueron creando entidades como el Instituto Nacional Forestal y de Fauna como organismo descentralizado encargado de la investigación y realización de varios proyectos a lo largo de toda la extensión de nuestro país, ya sean estos para plantaciones a grandes escalas, para la innovación de nuevas técnicas y formas de trabajos, para el procesamiento de los recursos



o para el acondicionamiento de nuevas especies a los diversos entornos del Perú. Entre los años 80' y 90' este organismo comenzó también a realizar actividades ligadas a la parte legal para regular, normar, supervisar actos de conservación y aprovechamiento racional de los recursos forestales, así como el procesamiento de estos. En general tenía a su responsabilidad funciones de promoción y fomento del aprovechamiento de los recursos forestales y de la misma fauna en ciertos casos.

A partir de la década de los 90' se experimentaron ciertos déficits en relación al mantenimiento y manejo de las plantaciones, que llegaron a convertir algunas áreas en plantaciones en zonas de protección, por lo que para evitar dificultades y agilizar los procesos para la promoción y fomentar la inversión en este sector durante años posteriores se fueron depurando ciertos procesos burocráticos, a fin de obtener más inversiones.

En relación al contexto regional de Cusco, se realizaron pruebas para la introducción de diversas especies durante el año de 1979, siendo en su mayoría especies de eucalipto, no obstante, a partir de los 80' se empezaron las plantaciones de pino en menor proporción. Durante el transcurso de los años nuestra región se ha caracterizado por tener grandes plantaciones forestales, años en los que ha sido participe de los diferentes programas que incentivaban las actividades de plantaciones forestales, sin embargo, a partir del año de 2010 hay registros que indican la poca producción de madera aserrada y manufacturada, debido principalmente al costo de venta que representaban las especies comercializadas en ese entonces que era el eucalipto y a los efectos que esta especie causaba sobre los suelos en los cuales se plantaba, llegando en ciertos casos hasta empobrecerlo, por otra parte también paulatinamente las plantaciones se han ido recuperando en la medida que se han ido asentándose dentro del mercado de la región empresas que trabajan en este sector ligados a la explotación industrial de madera, estas plantaciones se ubicaron inicialmente en su mayoría en las provincias de Anta, Paucartambo, Quispicanchis y Cusco, aunque ahora último se han posicionado y extendido en algunos sectores como Ancahuasi, Anta, Cachimayo, Chinchaypujio, Chinchero, Huarcondo, Huayllabamba, Paucartambo, Pucyura, Urcos, Urubamba y Zurite.





### 2.2.6.1. El Árbol de Pino en la Región del Cusco

El Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) llevo a cabo por vez primera, un inventario de plantaciones forestales en la Región del Cusco con la finalidad de conocer el potencial maderable, la capacidad productiva y el manejo de las plantaciones en el departamento. De acuerdo al inventario realizado en las plantaciones de los predios privados y comunidades campesinas, las cuales están registradas en las Administraciones Técnicas Forestales y de Fauna Silvestre (ATFFS) del Cusco, encontró dos especies de mayor abundancia: las cuales son el Pino (*Pinus patula*) y el eucalipto (*Eucalyptus globulus*).

Figura 34 Plantaciones de Pino en la Región de Cusco



*Fuente: ANDINA/Difusión (2018)*

## 2.3. Hipótesis

### 2.3.1. Hipótesis General

La influencia de la Colofonia de Pino incrementará las Propiedades Físico – Mecánicas de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco.

### 2.3.2. Sub Hipótesis

#### Sub Hipótesis N° 01

La influencia de la Colofonia de Pino no afectará la Granulometría de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco.



### **Sub Hipótesis N° 02**

La influencia de la Colofonia de Pino disminuirá el Índice de Plasticidad de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco.

### **Sub Hipótesis N° 03**

La influencia de la Colofonia de Pino mejorará el Grado de Compactación de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco.

### **Sub Hipótesis N° 04**

La influencia de la Colofonia de Pino aumentará la Capacidad de Soporte CBR de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco.

### **Sub Hipótesis N° 05**

La influencia de la Colofonia de Pino aumentará el Módulo de Resiliencia de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco.

## **2.4. Variables e Indicadores**

### **2.4.1. Variables Independientes**

- a) Colofonia de Pino
- b) Suelo Arcilloso

#### **2.4.1.1. Descripción de la Variable**

- a) Colofonia de Pino, es el componente residual de la destilación de las resinas naturales de los árboles de Pino. El porcentaje de participación dentro de cada uno de los ensayos y análisis está determinado por su peso en función del peso seco de la muestra de suelo arcilloso.



- b) Suelo Arcilloso, material fino cohesivo con baja capacidad de soporte, conformado por estructuras minerales susceptibles al cambio volumétrico por efectos de la humedad. Según al porcentaje de combinación con la Colofonia de Pino, este complementara las cantidades necesarias para cada Ensayo o Actividad a realizar.

#### **2.4.1.2. Indicadores de Variables Independientes**

- a) Índice 1: % Porcentaje de Colofonia de Pino en función al peso suelo seco:
- 3%
  - 5%
  - 7%
- b) Índice 2: % Porcentaje de Suelo Arcilloso Seco:
- 97%
  - 95%
  - 93%

#### **2.4.2. Variables Dependientes**

- a) Propiedades Físicas
- b) Propiedades Mecánicas

##### **2.4.2.1. Descripción de las Variables**

- a) Propiedades Físicas, son aquellas características propias de los suelos; que ayudan a categorizar cada tipo de suelo en los diferentes grupos que propone cada sistema de clasificación. Estos parámetros están definidos por la Granulometría, que viene a ser la distribución espacial de cada una de las partículas y granos que conforman un tipo de suelo, y los límites de consistencia que vienen a ser los márgenes en los que un determinado tipo de suelo pasa entre sus diferentes estados o fases (Líquido, plástico, semisólido y sólido).
- b) Propiedades Mecánicas, son aquellas propiedades que consideran la capacidad de los materiales o suelos para resistir esfuerzos provenientes del exterior, como el grado de compactación que es la relación entre la densidad máxima que puede alcanzar un tipo de



suelo con una determinada humedad. Otro de estos parámetros viene a ser la capacidad de soporte CBR que mide la resistencia al esfuerzo para penetrar 0.1” y 0.2” en función de la densidad máxima de una muestra compactada, este parámetro puede ser determinado bajo condiciones normales y críticas, que corresponde a penetrar las muestras moldeadas en condición seca y sumergida. En el caso del módulo de resiliencia, este parámetro sirve para definir el esfuerzo máximo permisible que puede soportar un tipo de suelo, sin que se produzcan deformaciones permanentes.

#### **2.4.2.2. Indicadores de Variables Dependientes**

Para propiedades Físicas:

- a) Índice 1: Granulometría (adimensional)
- b) Índice 2: Limite Plástico (%)
- c) Índice 3: Limite Liquido (%)

Para propiedades Mecánicas:

- a) Índice 1: Densidad Máxima Seca ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
- b) Índice 2: Contenido de Humedad Optimo (%)
- c) Índice 3: Índice de CBR (%)
- d) Índice 4: Índice de Absorción (%)
- e) Índice 5: Índice de Expansión (%)
- f) Índice 6: Modulo de Resiliencia (psi)



### 2.4.3. Cuadro de Operacionalización de Variables

Tabla 26 Cuadro de Operacionalización de Variables

TIPO DE VARIABLE	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	NIVEL	INDICADORES	UND. DEL INDICADOR
VARIABLES INDEPENDIENTES	Colofonia de Pino	Es el componente residual de la destilación de las resinas naturales de los árboles de Pino. El porcentaje de participación dentro de cada uno de los ensayos y análisis está determinado por su peso en función del peso seco de la muestra de suelo arcilloso.	La Colofonia de Pino se presenta en forma de cristales de color ámbar, por lo que para determinar la influencia en las Propiedades Físico – Mecánicas de los suelos arcillosos tendrán que ser triturados hasta que puedan pasar por el tamiz N° 200.	Colofonia de Pino	- 3% - 5% - 7%	% Porcentaje de Colofonia de Pino en función al peso suelo seco.	(%)
	Suelo Arcilloso	Grupo de Suelos conformado por estructura laminares de minerales submicroscópicas.	Las Muestras de Suelo Arcilloso, son suelos de grano fino, para evaluar sus propiedades deberá manipularse en estado seco.	Suelo Arcilloso Seco	- 97% - 95% - 93%	Peso de Muestra de Suelo Arcilloso Seco	Peso de Muestra Seca (Kg.)
VARIABLES DEPENDIENTES	Propiedades Físicas	Son aquellas características propias de los suelos; que ayudan a categorizar cada tipo de suelo en los diferentes grupos que propone cada sistema de clasificación. Estos parámetros están definidos por la <b>Granulometría</b> , que viene a ser la distribución espacial de cada una de las partículas y granos que conforman un tipo de suelo, y los límites de consistencia que vienen a ser los márgenes en los que un determinado tipo de suelo pasa entre sus diferentes estados o fases (Líquido, plástico, semisólido y sólido).	Las muestras representativas luego de cuartearlos se calculan los porcentajes pasantes en cada tamiz se tiene que zarandear en las mallas normalizadas, se registran los pesos retenidos en cada tamiz y con los resultados obtenidos se calculan los porcentajes retenidos acumulados. El Límite Plástico se definen como el contenido de humedad con el que una tira de material arcilloso formado manualmente empieza a desmenuzarse, luego de alcanzar un diámetro de 3.2 mm. Para el caso del Límite Líquido, este se estima con el contenido de humedad con el que una muestra humectada y separada a 13 mm se junta al recibir 25 golpes en la cuchara de Casagrande.	Granulometría	Gradación -Continua -Discontinua	- Porcentaje Pasante en el Tamiz N° 4 - Porcentaje Pasante en el Tamiz N° 10 - Porcentaje Pasante en el Tamiz N° 40 - Porcentaje Pasante en el Tamiz N° 200 - Coeficiente de Uniformidad y de Curvatura	Porcentaje Pasante (%)
				Índice de Plasticidad	-Poco Plástico -Plástico -Muy Plástico -No Plástico	- Límite Plástico - Límite Líquido	Contenido de Humedad (%)



TIPO DE VARIABLE	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	NIVEL	INDICADORES	UND. DEL INDICADOR
VARIABLES DEPENDIENTES	Propiedades Mecánicas	Son aquellas propiedades que consideran la capacidad de los materiales o suelos para resistir esfuerzos provenientes del exterior, como el <b>Grado de Compactación</b> que es la relación entre la densidad máxima que puede alcanzar un tipo de suelo con una determinada humedad. Otro de estos parámetros viene a ser la <b>Capacidad de Soporte CBR</b> que mide la resistencia al esfuerzo para penetrar 0.1” y 0.2” en función de la densidad máxima de una muestra compactada, este parámetro puede ser determinado bajo condiciones normales y críticas, que corresponde a penetrar las muestras moldeadas en condición seca y sumergida. En el caso del <b>Módulo de Resiliencia</b> , este parámetro sirve para definir el esfuerzo máximo permisible que puede soportar un tipo de suelo, sin que se produzcan deformaciones permanentes.	Estos parámetros también son cuantificados con ensayos metódicos. Tal es el caso del ensayo de Proctor Modificado que determina mediante la compactación de diferentes muestras de suelo con diferentes contenidos de humedad el grado adecuado de compactación, para este ensayo se utilizan martillos que proporcionan una energía de 2700 kN-m/m <sup>3</sup> , que simula la fuerza que aplican las maquinarias consideradas para la conformación de los diferentes componentes de un pavimento. En relación a la capacidad de CBR se moldean muestras con el óptimo contenido de humedad, para que de este modo se logre obtener la máxima densidad seca, para que se sumerja por 4 días y se penetren tanto en condición seca como saturada, se registran los valores de carga necesarios para penetrar 0.1” y 0.2”, para graficar la curva correspondiente a este ensayo, también se registrarán aquellos valores de carga correspondientes a los que recomienda el Manual de Ensayos de Materiales 2016. Finalmente, para la determinación del Módulo de Resiliencia se emplearán fórmulas aprobadas, debido a la carencia de Equipos y Suficiencia de Recursos.	Grado de Compactación	- Suelos Cohesivos - Suelos Granulares	- Densidad Máxima Seca - Contenido de Humedad Óptimo	Relación Peso Volumen (gr/cm <sup>3</sup> ) Contenido de Humedad (%)
				Capacidad de Soporte CBR	- CBR ≥ 6 % según Sección: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos	- Índice de CBR - Índice de Expansión - Índice de Absorción	Valor de CBR (%) Porcentaje de Expansión (%) Porcentaje de Expansión (%)
				Módulo de Resiliencia	- Módulo de Resiliencia	- Índice de CBR	Valor de Modulo de Resiliencia (psi)

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



## Capítulo III: Metodología

### 3.1. Metodología de la Investigación

#### 3.1.1. Enfoque de la Investigación

Según Hernández, Fernández, Baptista (2014, p. 04), el enfoque cuantitativo hace el uso de la recolección de datos para demostrar hipótesis con base en la medición numérica y un análisis estadístico, con la finalidad de establecer modelos de comportamiento y demostrar teorías.

La presente investigación es de un enfoque cuantitativo porque se obtendrán y procesarán datos numéricos de los ensayos: Porcentaje de humedad, Granulometría, Índice de plasticidad, Proctor, Relación de Soporte de California (CBR) y Módulo de Resiliencia del suelo en estudio. Produciéndose resultados que validen las hipótesis formuladas a través de las conclusiones que presenten.

#### 3.1.2. Nivel o Alcance de la Investigación

Según Hernández, Fernández, Baptista (2014, p. 92), los estudios de alcance descriptivo tienen como objetivo describir características y propiedades de cualquier fenómeno objeto de estudio. Esta investigación pretende medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre las variables a las que se refieren.

Debido a ello esta tesis de investigación presenta un alcance descriptivo, debido a que este medirá y describirá las variaciones que puedan producirse en el comportamiento de las propiedades físico – mecánicas del suelo arcilloso con la adición del aditivo mejorador Colofonia de Pino en los porcentajes considerados.

#### 3.1.3. Método de Investigación

Según Landeau (2007), el método hipotético – deductivo, empieza con la teoría, se generan las proposiciones y conceptos que se necesiten, luego se aplicaran de forma experimental a un grupo de datos en el cual se espere confirmar el sistema teórico.





La investigación es hipotética – deductiva porque inicialmente se formularon teorías, y preguntas, posteriormente se hace uso de la lógica o razonamiento deductivo que resultan en expresiones lógicas denominadas hipótesis, que luego serán puestas a prueba para así poder obtener resultados comparables.

### **3.2. Diseño de la Investigación**

#### **3.2.1. Diseño Metodológico**

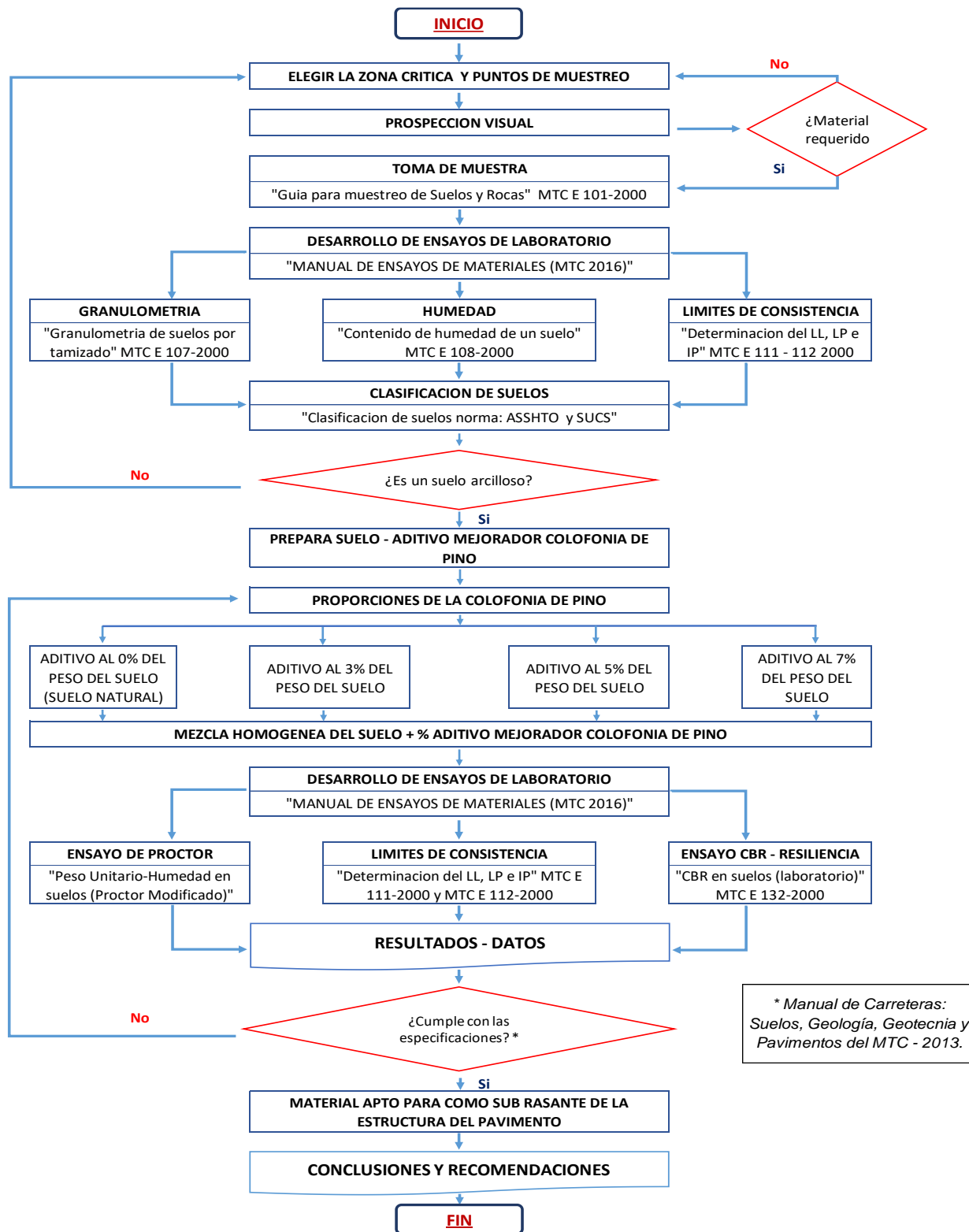
Según Hernández, Fernández, Baptista (2014, p. 130), el diseño experimental conlleva un control en el cual se manipulan, de forma intencionada variables independientes (causas) para estudiar las consecuencias de tal manipulación en las variables dependientes (efectos).

Por lo que la investigación presenta un diseño metodológico experimental, debido a que se vera la influencia del mejorador Colofonia de Pino (causa) en función de porcentajes contralados del 3%, 5%, 7% sobre las propiedades físico – mecánicas de un suelo arcilloso (efecto), considerado para subrasante.



### 3.2.2. Diseño de Ingeniería

Figura 35 Flujograma del Aditivo Mejorador Colofonia de Pino



\* Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC - 2013.

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



### 3.3. Población y Muestra

#### 3.3.1. Población

Según Hernández, Fernández, Baptista (2014, p. 174), la población o universo es el conjunto de todos los datos que presenten determinadas similitudes o concuerdan con una serie de semejanzas.

##### 3.3.1.1. Descripción de la Población

En esta investigación, la población objeto de estudio está comprendida dentro de la Avenida Primavera en la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo - Cusco, con una distancia aproximada de 1 500.00 m., la cual no se encuentra pavimentada. La APV Pillao Matao en este caso presenta suelos arcillosos en ciertos sectores, los cuales serán considerados para los fines de esta presente tesis de investigación.

##### 3.3.1.2. Cuantificación de la Población

En esta investigación, la población es única, la cual está delimitada por el estrato geológico del suelo objeto de la presente investigación, que de acuerdo a los puntos de prospección mediante las calicatas C-01, C-02 y C-03, estas representan según la clasificación SUCS arcillas ligeras de baja plasticidad (CL) y según la clasificación AASHTO pertenecen al grupo A-7-6 (arcillas más plásticas), en la Avenida Primavera en la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo - Cusco.

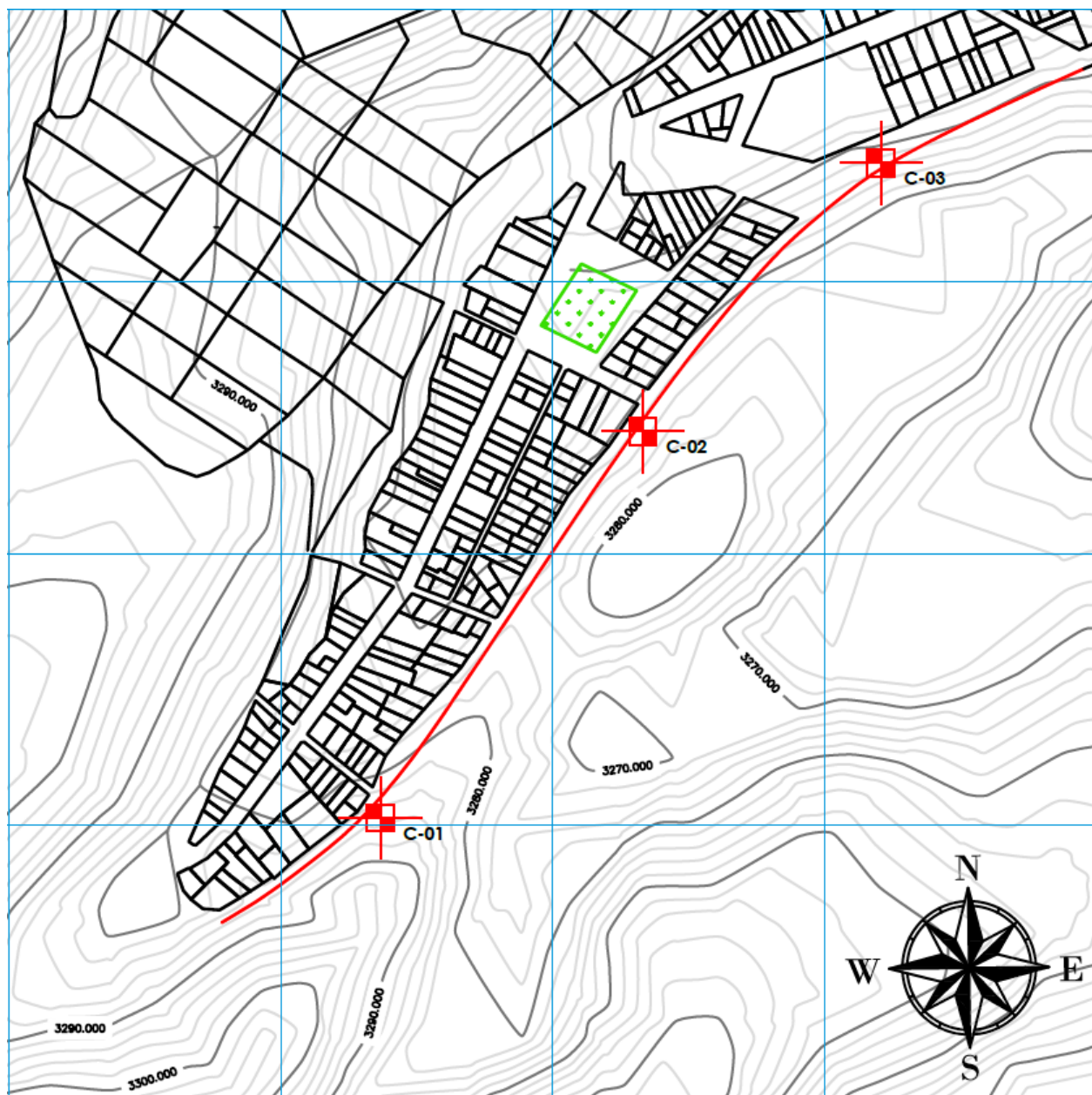
Tabla 27 Coordenadas de las Calicatas en Estudio.

Nº Calicata	Coordenadas
C - 01	185152.57 m E – 8499672.09 m N
C - 02	185570.84 m E – 8500196.33 m N
C - 03	185756.05 m E – 8500394.03 m N

*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*

Las ubicaciones de los puntos de prospección están detalladas de mejor manera en el plano de ubicación de calicatas que se encuentra en el apartado de los Anexos.

Figura 36 Croquis de Ubicación de las Calicatas de Investigación



*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*

### 3.3.2. Muestra

Según Hernández, Fernández, Baptista (2014, p. 175), la muestra es en naturaleza un sub grupo o sub conjunto de elementos que pertenecen a un conjunto definido llamado población. Se pretende que este sub conjunto sea un reflejo fiel de la población, a través de una muestra representativa de ésta.



### 3.3.2.1. Descripción de la Muestra

En base a la cuantificación de la población, nuestra muestra será única y estará delimitada por la estratigrafía in situ del perfil edáfico (corte vertical del suelo), obtenidas a través de las calicatas C-01, C-02 y C-03, según la clasificación SUCS representan grupos de arcillas ligeras de baja plasticidad (CL) y según la clasificación AASHTO pertenecen al grupo A-7-6 (arcillas más plásticas), en la Avenida Primavera en la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo - Cusco.

Se determinó el perfil estratigráfico de los suelos (eje y bordes), debidamente acotado en un espesor no menor a 1.50 m, teniendo como nivel superior la línea de subrasante del diseño geométrico vial. (según Norma MTC E101).

### 3.3.2.2. Cuantificación de la Muestra

Las muestras representativas para la presente investigación, fueron obtenidas de los estratos de fondo para cada una de las calicatas de investigación. Cabe aclarar que los estratos fueron seleccionados mediante una prospección visual según la estratigrafía in situ del perfil edáfico (corte vertical del suelo ver Tablas 46, 47 y 48).

Estas muestras fueron corroboradas mediante su Análisis Granulométrico de suelo por tamizado y la determinación de los límites de consistencia correspondientes, constantes con las cuales se determina que los suelos de las calicatas C-01, C-02 y C-03, según la clasificación SUCS están conformadas por arcillas ligeras de baja plasticidad (CL) y según la clasificación AASHTO pertenecen al grupo A-7-6 (arcillas más plásticas). Lo cual indica que la arcilla tiene mayor predominancia en la fundación de la Avenida Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco.

Dicho esto, con las muestras obtenidas, se procedió a efectuar diversos ensayos en laboratorio de la siguiente forma: muestras de suelo natural arcilloso con porcentajes preestablecidos del agente mejorador Colofonia de Pino, en cantidades de 3%, 5% y 7% para compararlas con una muestra patrón sin adición de Colofonia de Pino de acuerdo a las normativas descritas a continuación:



Tabla 28 Número de Ensayos Realizados

TIPO DE ENSAYO	NORMA	N° DE ENSAYOS A REALIZAR				CANTIDAD SUBTOTAL DE ENSAYOS
		M. PATRÓN	03 % C.P.	05 % C.P.	07 % C.P.	
MUESTREO DE SUELOS	MTC E-101	3	-	-	-	03
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELO POR TAMIZADO	MTC E-107	3	-	-	-	03
LIMITE LIQUIDO DE SUELOS	MTC E-110	3	1	1	1	06
LMITE PLÁSTICO E ÍNDICE PLASTICIDAD	MTC E-111	3	1	1	1	06
RELACIÓN DE HUMEDAD DENSIDAD	MTC E-115	1	1	1	1	04
CAPACIDAD DE SOPORTE CBR	MTC E-132	1	1	1	1	04
<b>CANTIDAD TOTAL DE ENSAYOS REALIZADOS</b>						<b>26</b>

*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*

### 3.3.2.3. Método de muestreo

Según Hernández, Fernández, Baptista (2014, p. 176), la muestra no probabilística o dirigida es un sub grupo de la población, la elección de sus elementos no obedece a la probabilidad (selecciona aleatorio o mecánica), si no a principios relacionados con las características del estudio o finalidad de los investigadores. Para el presente estudio, el método de muestreo seleccionado fue el no probabilístico o dirigido, la ubicación de los puntos fue a criterio de los investigadores, luego de haber realizado las exploraciones visuales y una minuciosa lectura de la geología de la zona de estudio se determinaron zonas críticas, que tengan la presencia de materiales arcillosos, los cuales son objeto de estudio para la presente investigación.



#### 3.3.2.4. Criterios de evaluación de la muestra

Para el presente estudio se evaluó de la Av. Primavera en la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco, las muestras se obtuvieron a través de las calicatas: C-01, C-02 y C-03, con una profundidad entre 2.0 m, 1.60 m y 1.80 m respectivamente.

Según la Norma del MTC E101 (2016, p. 17), estas calicatas o excavaciones para carreteras, deberá ser por lo menos de 1.50 m por debajo del nivel proyectado para la sub rasante. Con las muestras obtenidas en la manera descrita, se efectuarán ensayos en laboratorio de Mecánica de Suelos según el Manual de ensayo de materiales del MTC 2016 del suelo natural con la adición del aditivo mejorador Colofonia de Pino en los porcentajes de 3%, 5% y 7%, posteriormente con los datos obtenidos se pasó a la fase de gabinete, para consignar en forma gráfica y escrita, los resultados obtenidos que fueron analizados según el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC, que establece que los materiales aptos para la sub rasante de un pavimento deben de contar con valores de CBR mayores o iguales al 6% para ser considerados como subrasante regulares.

#### 3.3.3. Criterios de Inclusión

- Para el presente estudio, la zona que se consideró viene a ser la Avenida Primavera en la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco, con una distancia de 1 500.00 m. la cual no se encuentra pavimentada, siendo esta ideal para el objeto de la presente investigación.
- Solo se consideró para la presente tesis de investigación aquellos suelos conformados por material fino arcilloso, que en este caso componen el estrato de fondo de las calicatas estudiadas.
- El aditivo mejorador Colofonia de Pino se obtuvo en la ciudad de Lima, la cual fue añadida al suelo en porcentajes de 3%, 5% y 7%, para lo cual previamente se realizó el proceso de trituración que reduzca las muestras cristalizadas a granos menores que pasen por el Tamiz N° 200 para su posterior utilización en cada una de las pruebas de Laboratorio.





- Los materiales y muestras previamente preparados para su ensayo, fueron acondicionados para que estos se encuentren dentro de los parámetros que estipula el Manual de ensayo de materiales del MTC 2016, por lo que también se obedeció los procedimientos descritos en dicha normativa; no obstante, para la evaluación de los contenidos de humedad se consideró el Punto de Ebullición de las colofonias de pino, hasta obtener pesos constantes.
- Los resultados que determinen las propiedades Físico – Mecánicas de las muestras evaluadas, serán comparados en base al Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC, que establece materiales aptos para la sub rasante de un pavimento aquellos con un valor de CBR mayor o igual al 6%.



### 3.4. Instrumentos


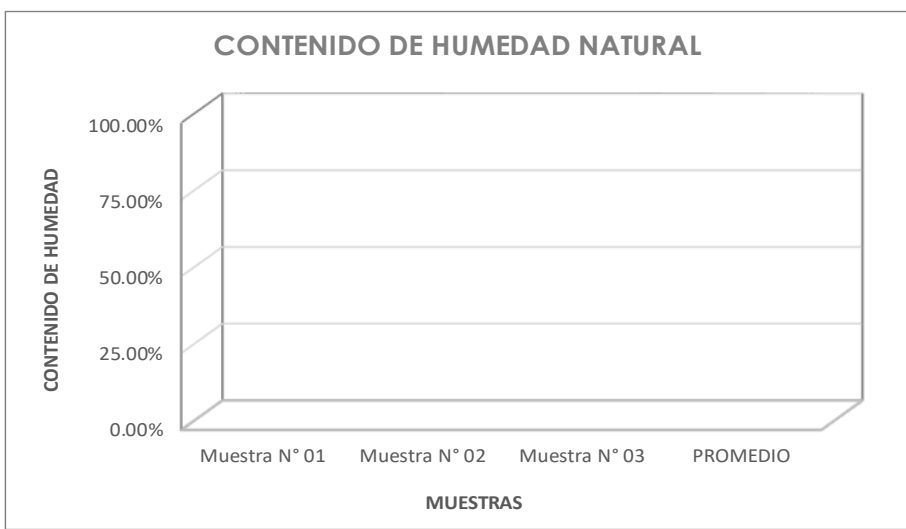
#### 3.4.1. Instrumentos Metodológicos o Instrumentos de Recolección de Datos

##### 3.4.1.1. Recolección de Datos de los Ensayos en Laboratorio

- Fichas para la Recolección de Datos.

##### 3.4.1.2. Determinación para el Contenido de Humedad

Tabla 29 Hoja de Cálculo para determinar el Contenido de Humedad

	<b>Universidad Andina del Cusco</b>	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
		<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
		Determinación del Contenido de Humedad de un Suelo MTC - E 108	
<b>TESIS:</b>			
"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO".			
<b>RESPONSABLES:</b>		<b>UBICACIÓN:</b>	
BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ		AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO	
<b>FECHA:</b>		<b>LABORATORIO:</b>	
ENERO DEL 2022		CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL EN SUELOS</b>			
MTC E 108 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-2216			
<b>Descripción</b>	<b>Muestra N° 01</b>	<b>Muestra N° 02</b>	<b>Muestra N° 03</b>
Peso de Capsula (gr)			
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)			
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)			
Peso del Agua (gr)			
Peso de la Muestra Seca (gr)			
<b>Contenido de Humedad</b>			
			

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



### 3.4.1.3. Determinación del Análisis Granulométrico por Tamizado

Tabla 30 Hoja de Cálculo para Análisis de Ensayo de Granulométrico



Universidad  
Andina  
del Cusco

<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>
<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>
Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado
MTC - E 107

<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".
---------------	--

<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

MTC E 107 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-422 y AASHTO T-88

Peso de la Muestra Seca (Antes de Lavar) =

Peso de la Muestra Seca (Despues de Lavar) =  Cumple Máx. Error 2 %

Cálculo del % de Error en Peso =

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso que pasa (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4"	100					
3"	75					
2"	50					
1½"	37.5					
1"	25					
¾"	19					
3/8"	9.5					
Nº 4	4.75					
Nº 8	2.36					
Nº 16	1.180					
Nº 30	0.600					
Nº 50	0.300					
Nº 100	0.150					
Nº 200	0.075					
Cazuela	-					
Lavado	-					
<b>Total de la muestra retenida =</b>						

*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022).*



Tabla 31 Hoja de Cálculo para Curva Granulométrica



Universidad  
Andina  
del Cusco

<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>
<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>
Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado MTC - E 107

**TESIS:**

"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".

**RESPONSABLES:**

BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR  
JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ

**UBICACIÓN:**

AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO

**FECHA:**

ENERO DEL 2022

**LABORATORIO:**

CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C.  
JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

MTC E 107 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-422 y AASHTO T-88

Tipo de Gradación:		
Tamiz	Lím. Inferior	Lím. Superior
2" (50 mm)		
1½" (37.5 mm)		
1" (25 mm)		
¾" (19 mm)		
3/8" (9.5 mm)		
Nº 4 (4.75 mm)		
Nº 10 (2 mm)		
Nº 40 (0.425 mm)		
Nº 200 (0.075 mm)		

**Detalles de la Granulometría del Suelos**

Tamaño Máximo Nominal =	-
Tamaño Máximo Absoluto =	-
Diámetro Efectivo D60 =	-
Diámetro Efectivo D30 =	-
Diámetro Efectivo D10 =	-
Coefficiente de Curvatura "Cu" =	-
Coefficiente de Uniformidad "Cc" =	-



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



### 3.4.1.4. Determinación del Límite Líquido

Tabla 32 Hoja de Cálculo para determinación de Límite Líquido



Universidad  
Andina  
del Cusco

<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>
<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>
Determinación de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad MTC - E 110 & MTC - E 111

<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".
---------------	--

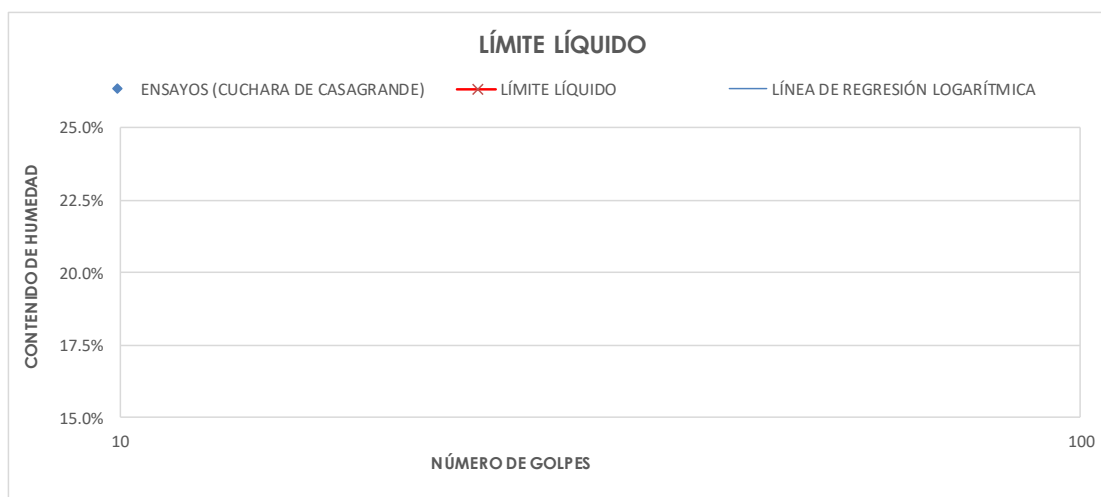
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

#### LÍMITE LÍQUIDO

MTC E 110 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89

Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03	Muestra N° 04
<b>Número de Golpes</b>				
Peso de Capsula (gr)				
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)				
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)				
Peso del Agua (gr)				
Peso de la Muestra Seca (gr)				
<b>Contenido de Humedad</b>				

Límite Líquido =



*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*



### 3.4.1.5. Determinación del Límite Plástico e índice de Plasticidad

Tabla 33 Hoja de Cálculo para determinación de Límite Plástico



Universidad  
Andina  
del Cusco

<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>
<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>
Determinación de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad MTC - E 110 & MTC - E 111

<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".
---------------	--

<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

#### LÍMITE PLÁSTICO

MTC E 111 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90

Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03
Peso de Capsula (gr)			
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)			
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)			
Peso del Agua (gr)			
Peso de la Muestra Seca (gr)			
<b>Contenido de Humedad</b>			

**Límite Plástico =**



*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*



### 3.4.1.6. Determinación de la Clasificación de Suelos SUCS

Tabla 34 Hoja de Cálculo para Clasificación de Suelos SUCS

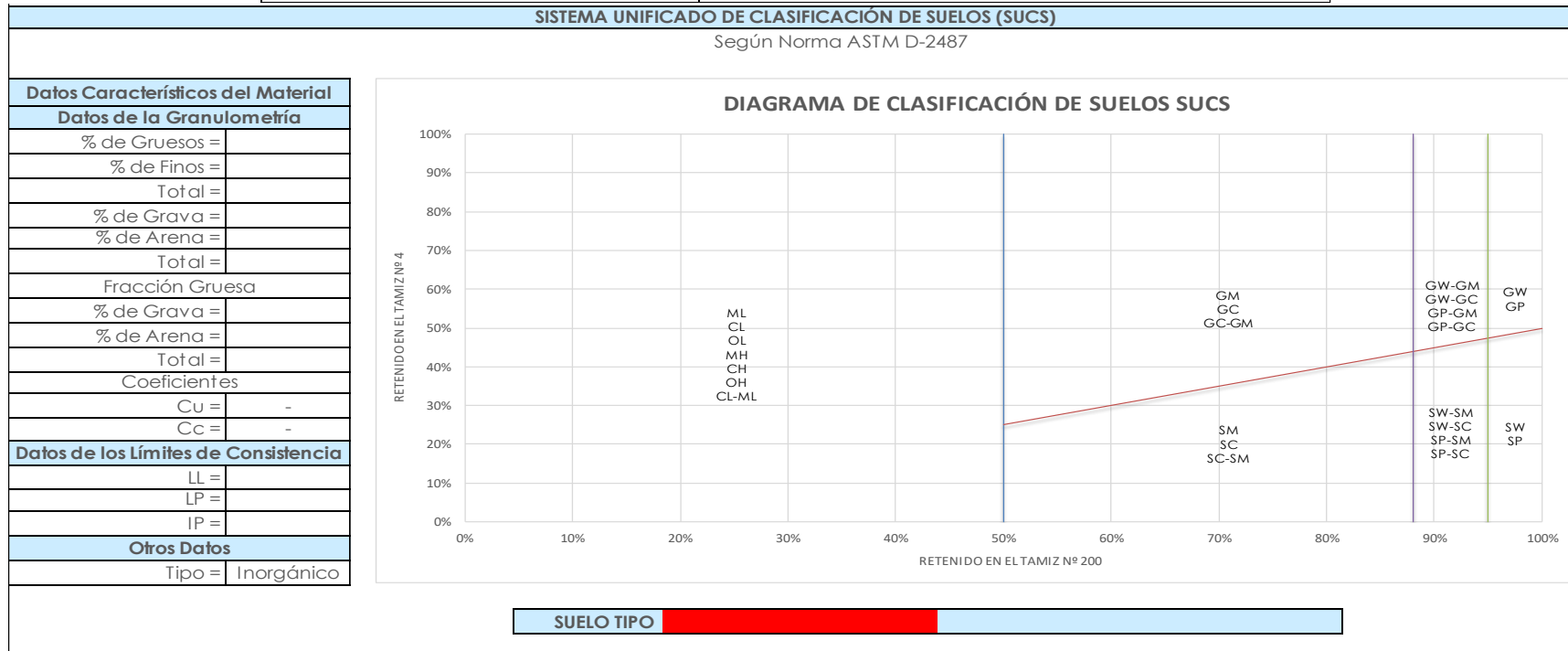


Universidad  
Andina  
del Cusco

<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>
<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>
CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN EL SISTEMA SUCS

<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".
---------------	--

<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

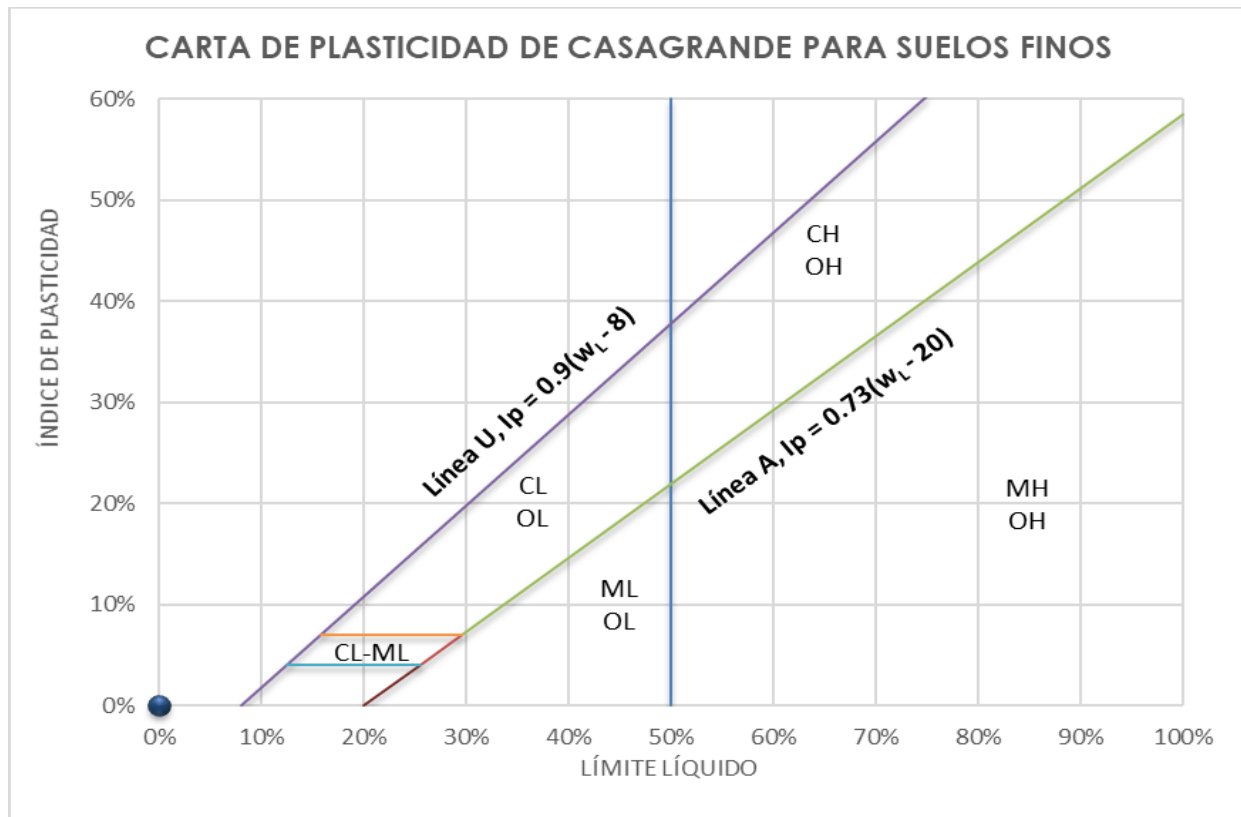
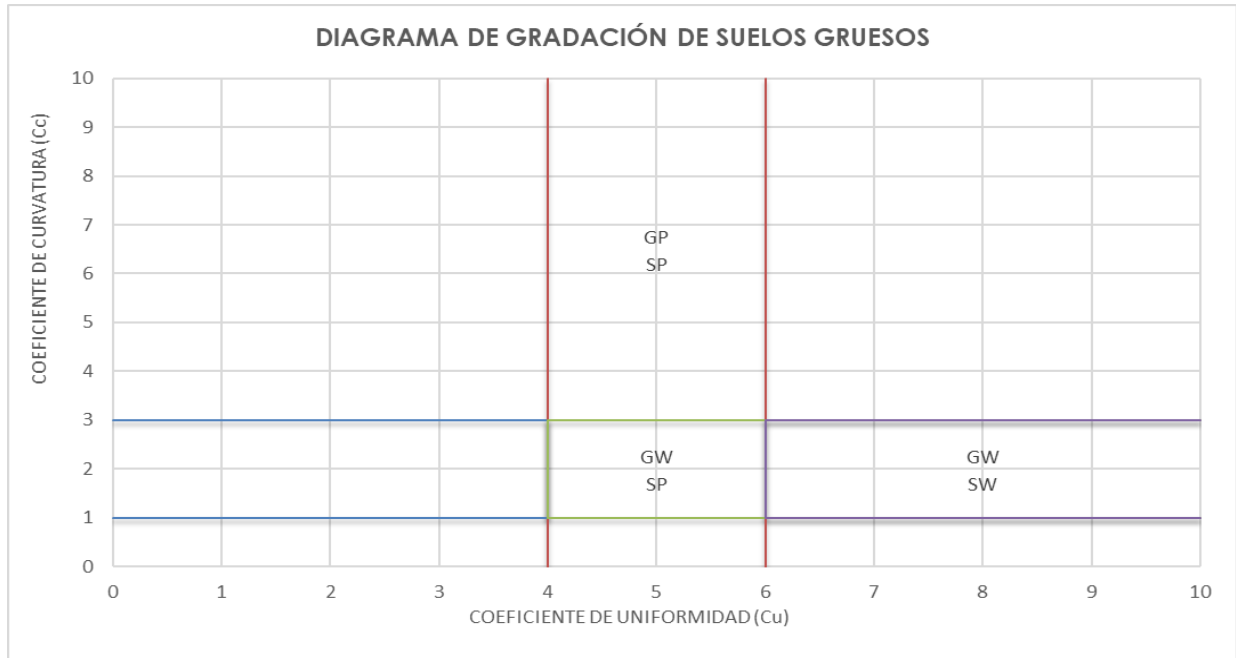


Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)





Tabla 35 Diagramas para Clasificación de Suelos SUCS



Fuente: Fuente: Luis Bañón (2000, c.15, p. 22)



### 3.4.1.7. Determinación de la Clasificación de Suelos AASHTO

Tabla 36 Hoja de Cálculo para Clasificación de Suelos AASHTO



<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b> <b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b> CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN EL SISTEMA AASHTO
--

<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".
---------------	--

<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

#### CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN AASHTO

AASHTO M-145

Datos Característicos del Material	
Datos de la Granulometría	
% que pasa el tamiz N° 10 =	
% que pasa el tamiz N° 40 =	
% que pasa el tamiz N° 200 =	
Datos de los Límites de Consistencia	
Límite Líquido LL =	
Límite Plástico LP =	
Índice de Plasticidad IP =	
Tipo de Suelo =	Inorgánico

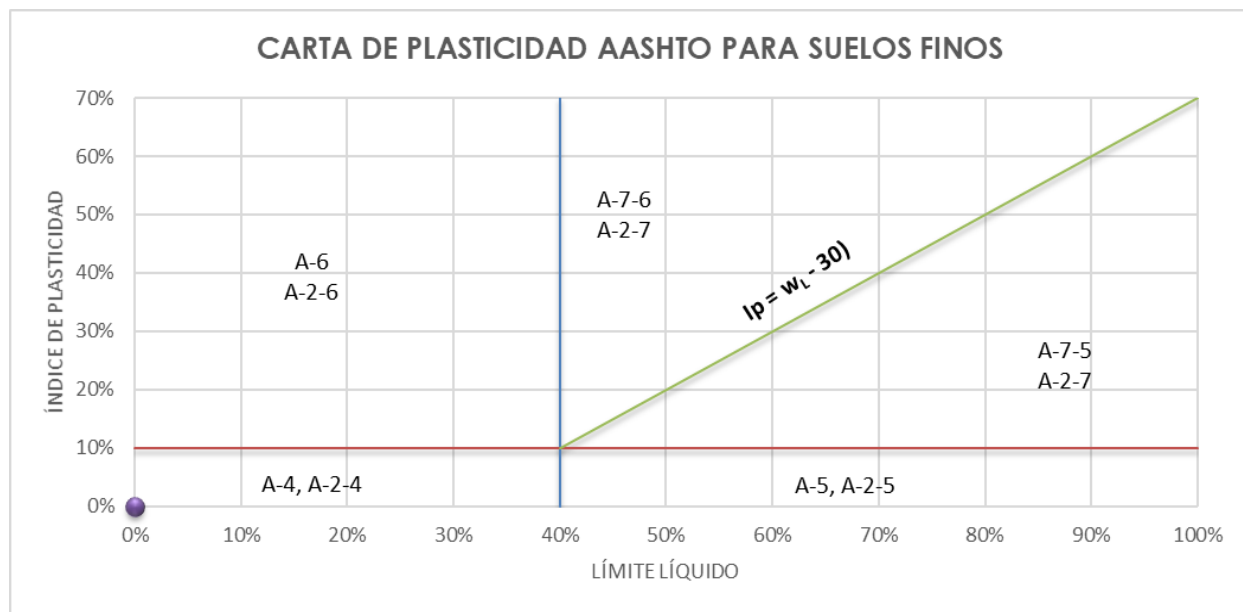
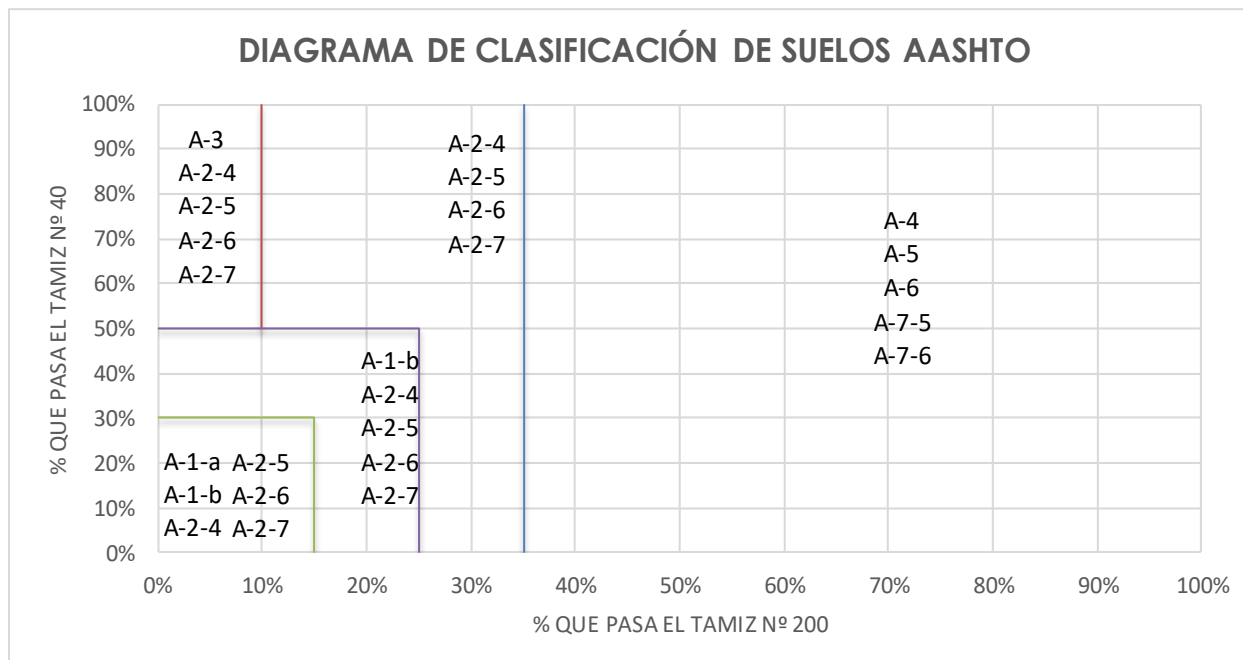
<b>Suelo Tipo</b>	
<b>Índice de Grupo</b>	IG : $IG = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd$

<b>F =</b>	F = Porcentaje de partículas sólidas que pasan el tamiz N° 200		
<b>w<sub>L</sub> =</b>	w <sub>L</sub> = Límite líquido		
<b>Ip =</b>	Ip = Índice de plasticidad		
<b>a = F - 35</b>	<b>a =</b>	→	<b>a =</b>
<b>b = F - 15</b>	<b>b =</b>	→	<b>b =</b>
<b>c = w<sub>L</sub> - 40</b>	<b>c =</b>	→	<b>c =</b>
<b>d = Ip - 10</b>	<b>d =</b>	→	<b>d =</b>

*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*



Tabla 37 Diagramas para Clasificación de Suelos AASHTO



Fuente: Luis Bañón (2000, c.15, p. 22)



### 3.4.1.8. Determinación de la Densidad Máxima Seca y el Contenido de Humedad Óptimo

Tabla 38 Hoja de Cálculo para la Densidad Máxima Seca - Contenido de Humedad Óptimo

<b>Universidad Andina del Cusco</b>	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b> <b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>																						
	COMPACTACIÓN DE SUELOS UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA - ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO MTC - E 115																						
<b>TESIS:</b> "INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO".																							
<b>RESPONSABLES:</b> BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ			<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO																				
<b>FECHA:</b> ENERO DEL 2022			<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO																				
<b>RELACIONES HUMEDAD - DENSIDAD (PROCTOR)</b> MTC E 115 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-1557 y AASHTO T-180																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"><b>Caractrísticas del Ensayo de Compactación</b></td> <td colspan="3" style="text-align: center;"><b>Método:</b></td> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">Número de Capas:</td> <td colspan="2"></td> <td style="width: 50%;">Golpes por Capa =</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Altura de Caída del Martillo =</td> <td colspan="2"></td> <td>Peso del Martillo =</td> <td colspan="2"></td> </tr> </table>						<b>Caractrísticas del Ensayo de Compactación</b>			<b>Método:</b>			Número de Capas:			Golpes por Capa =			Altura de Caída del Martillo =			Peso del Martillo =		
<b>Caractrísticas del Ensayo de Compactación</b>			<b>Método:</b>																				
Número de Capas:			Golpes por Capa =																				
Altura de Caída del Martillo =			Peso del Martillo =																				
<b>Obtención de la Densidad</b>	Punto N° 01	Punto N° 02	Punto N° 03	Punto N° 04	Punto N° 05																		
Molde																							
Diámetro del Molde (cm)																							
Altura del molde (cm)																							
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )																							
Peso del Molde (gr)																							
Peso del Molde + Muestra Compactada																							
Peso de la Muestra Compactada																							
Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )																							
<b>Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>																							
<b>Contenido de Humedad</b>																							
Peso de Capsula (gr)																							
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)																							
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)																							
Peso del Agua (gr)																							
Peso de la Muestra Seca (gr)																							
Contenido de Humedad																							
<b>Contenido de Humedad Promedio</b>																							

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 39 Hoja de Cálculo para la Densidad Máxima Seca - Contenido de Humedad Óptimo

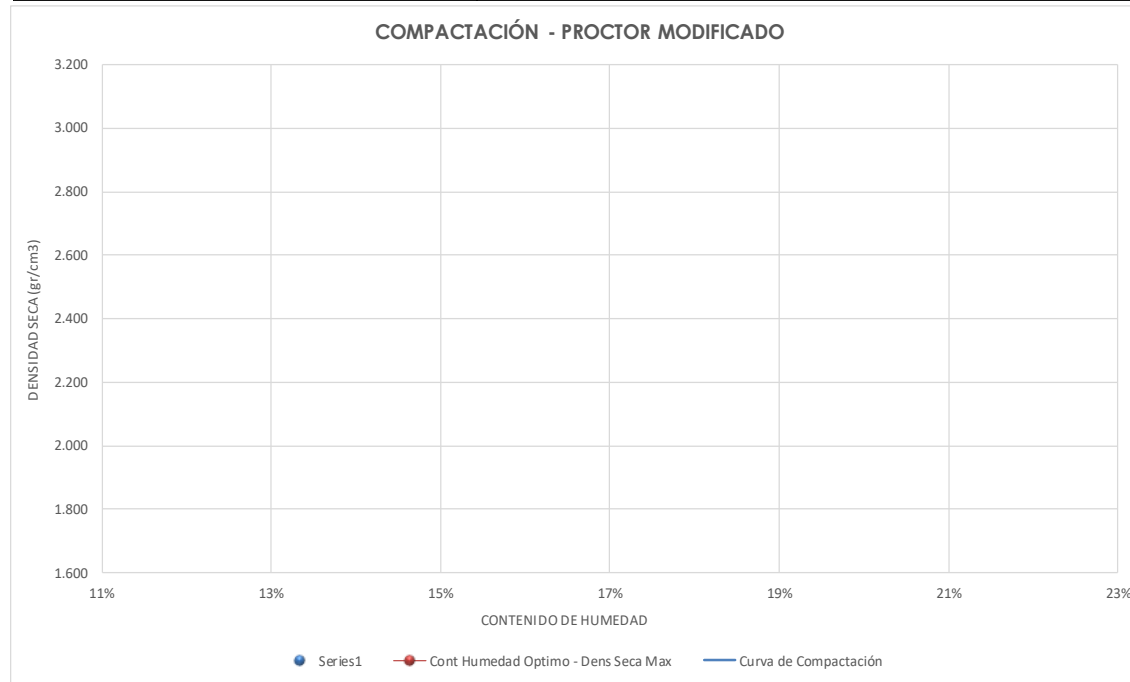


Universidad Andina del Cusco

<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>
<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>
COMPACTACIÓN DE SUELOS UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA - ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO MTC - E 115

<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".
---------------	--

<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO



Densidad Seca Máxima =
Contenido de Humedad Óptimo =

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



### 3.4.1.9. Determinación de la Relación de Soporte - CBR

Tabla 40 Hoja de Cálculo para CBR – Moldeo de Especímenes



Universidad  
Andina  
del Cusco

Facultad de Ingeniería y Arquitectura  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil  
CBR DE SUELOS EN LABORATORIO  
MTC - E 132

**TESIS:**  
"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".

<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

**RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)**

MTC E 132 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193

Datos del Ensayo Proctor Modificado	Datos del Anillo y Pistón de Carga		Datos del Molde CBR
Densidad Seca Máxima =	Constante del Anillo de Carga = $A0 + (A1 \cdot X) + (A2 \cdot X^2) + (A3 \cdot X^3)$		Diámetro =
Humedad Óptimo =	A0 =	A2 =	Altura =
Suelo - SUCS =	A1 =	A3 =	Altura de la Muestra =
Suelo - AASHTO =	Áltura del Pistón =		Altura del Collarín =
	Área del Pistón =		Volumen =

Ensayo de Compactación	Moldeo N° 1			Moldeo N° 2			Moldeo N° 3		
Número de Golpes por Capa	55			26			12		
Peso del Molde (gr)									
Peso del Molde + Muestra Compactada (gr)									
Peso de la Muestra Compactada (gr)									
Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )									
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )									
Contenido de Humedad	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Peso de Capsula (gr)									
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)									
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)									
Peso del Agua (gr)									
Peso de la Muestra Seca (gr)									
Contenido de Humedad									
Contenido de Humedad Promedio									

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 41 Hoja de Cálculo para CBR – Control de Absorción y Deformaciones



Universidad  
Andina  
del Cusco

<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>
<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>
CBR DE SUELOS EN LABORATORIO MTC - E 132

<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".
---------------	--

<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

Ensayo de Absorción		Moldeo N° 4 / 55 Golpes			Moldeo N° 5 / 26 Golpes			Moldeo N° 6 / 12 Golpes		
Peso del Molde (gr)										
Peso del Molde + Muestra Compactada, antes de la inmersión (gr)										
Peso del Molde + Muestra Compactada, después de la inmersión (gr)										
Peso del Agua Absorbida (gr)										
Peso de la Muestra Compactada, antes de la inmersión (gr)										
Peso de la Muestra Compactada, después de la inmersión (gr)										
Peso de la Muestra Seca (gr)										
Porcentaje de Absorción										
Contenido de Humedad después de la Absorción		Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Peso de Capsula (gr)										
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)										
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)										
Peso del Agua (gr)										
Peso de la Muestra Seca (gr)										
Contenido de Humedad										
Contenido de Humedad Promedio										
Porcentaje de Absorción										
Porcentaje de Absorción Promedio										

Ensayo de Expansión			Moldeo N° 4 / 55 Golpes			Moldeo N° 5 / 26 Golpes			Moldeo N° 6 / 12 Golpes		
Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido	Dial	Deform	% de	Dial	Deform	% de	Dial	Deform	% de
		Horas	0.01 mm	mm	Expans.	0.01 mm	mm	Expans.	0.01 mm	mm	Expans.

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)





Tabla 42 Hoja de Cálculo para CBR – Control de Penetraciones



<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b> <b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b> CBR DE SUELOS EN LABORATORIO MTC - E 132
---

<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".
---------------	--

<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

Ensayo de Penetración			Moldeo N° 4 / 55 Golpes				Moldeo N° 5 / 26 Golpes				Moldeo N° 6 / 12 Golpes			
Carga Unitaria Patrón	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%
	0	0.000												
	25	0.635												
	50	1.270												
	75	1.905												
70.31	100	2.540												
	125	3.175												
	150	3.810												
105.46	200	5.080												
	300	7.620												
	400	10.160												
	500	12.700												

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 43 Hoja de Cálculo para CBR – Gráfico

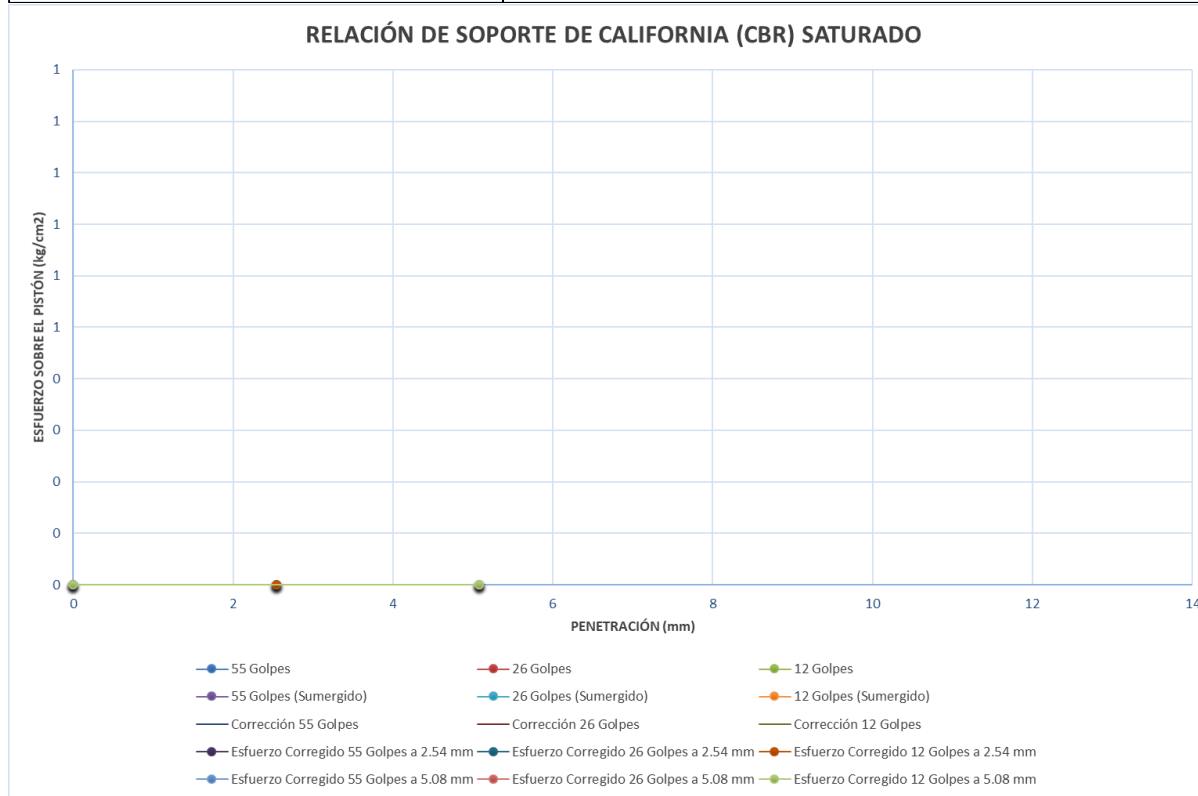


Universidad Andina del Cusco

Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Escuela Profesional de Ingeniería Civil
CBR DE SUELOS EN LABORATORIO MTC - E 132

**TESIS:** "INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".

<b>RESPONSABLES:</b> BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b> ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAQ - CUSCO



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 44 Hoja de Cálculo para CBR – Gráfico

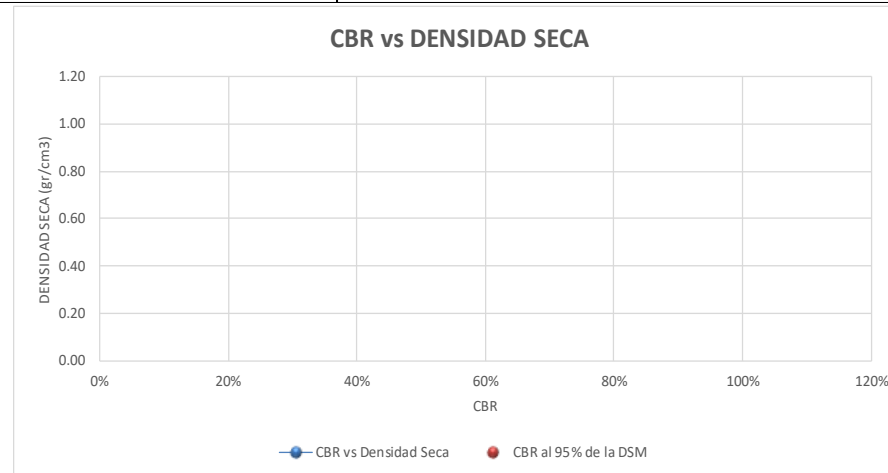


Universidad  
Andina  
del Cusco

<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>
<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>
CBR DE SUELOS EN LABORATORIO
MTC - E 132

<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".
---------------	--

<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO



**RESULTADOS**

Número de Golpes	Expansión	Absorción
55		
26		
12		

Número de Golpes	CBR	Densidad Seca
55		
26		
12		

Datos de la Compactación	Resultado
Densidad Seca Máxima	
95% de la DSM	

Resultados Finales/ CBR condición Húmeda	Resultado
CBR al 100% de la DSM	
CBR al 95% de la DSM	

**CBR:**

*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*



### 3.4.2. Instrumentos de Ingeniería

#### 3.4.2.1. Instrumentos de Campo

- Cámara Fotográfica o dispositivo teléfono móvil con cámara integrada.
- Equipos de Protección Personal (Casco, guantes, lentes de seguridad, chaleco con cintas reflectivas y zapatos con punta de acero).
- Conos, cintas o mallas de señalización vial.
- Libreta de Registro

#### 3.4.2.2. Instrumentos de Gabinete y Laboratorio

##### Documentos y Normativas

Para llevar a cabo el presente trabajo de investigación, muchos de los procedimientos realizados fueron en base a los manuales y especificaciones que se encuentra dentro del marco normativo de nuestro país, siendo estos los siguientes:

- Manual de Carreteras sección: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2013)
- Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013)
- Manual de Ensayos de Materiales (2016)

En el caso de la fase de experimentación en laboratorio, también se siguieron los procedimientos que en el Manual de Ensayos de Materiales (2016) se mencionan para cada uno de los diferentes ensayos y actividades a realizar, sean estos previos a la preparación de las muestras o durante la ejecución de las pruebas, considerando cada uno de los equipos y herramientas que en este se mencionan, así como los parámetros que en este manual se indican.

##### Procesamiento de Datos

No obstante, para la fase de procesamiento de datos se usaron los registros efectuados en campo, las fichas de recolección de datos de laboratorio, y las hojas de cálculo correspondientes a cada uno de los ensayos; cabe señalar que para ello se requiere del conocimiento y dominio de programas computarizados como lo son los que se mencionan a continuación:



- Microsoft Word
- Microsoft Excel
- AutoCAD Civil 3D

### 3.5. Procedimientos de Recolección de Datos

#### 3.5.1. Muestreo de Suelos (MTC E-101)

- **Equipos, Materiales e Insumos:**

- Herramientas manuales (Picos y palas)
- Herramientas de medición (Flexómetro)
- Equipos de Protección Personal (Casco, guantes, lentes de seguridad, zapatos punta de acero y chalecos con cintas reflectivas)
- Bolsas con cierre hermético y sacos de lona
- Cuchara metálica

- **Procedimiento**

Según la Tabla 8 las exploraciones deberían realizarse cada 01 Km. sin embargo, debido a que se quería elaborar un registro más detallado y referenciado se hicieron 03 calicatas, estas fueron distribuidas aleatoriamente entre distancias menores a los 750 metros. Se realizaron los registros correspondientes de las inspecciones visuales, describiendo cada una de las características de los estratos encontrados y su composición general. Para la recolección de muestras se siguieron las indicaciones de cantidad en peso de lo mencionado en el ítem 5.4.2. y 5.4.4. del Manual EM-2016 (50.0 Kg aproximadamente). En relación a su transporte, ya que este tipo de muestras corresponde al Grupo B, se recogieron en bolsas plásticas con cierre hermético y se almacenaron en sacos grandes para su fácil transporte.

Tabla 45 Ubicación de las Calicatas en Estudio

Nº Calicata	Coordenadas
<b>C - 01</b>	185152.57 m E – 8499672.09 m N
<b>C - 02</b>	185570.84 m E – 8500196.33 m N
<b>C - 03</b>	185756.05 m E – 8500394.03 m N

*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*

Figura 37 Excavación de Calicatas



Figura 38 Recolección de Muestras



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)

• Representación de los Datos Obtenidos

Tabla 46 Perfil Estratigráfico de la Calicata C-01.

<p>TESIS: "INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO</p>						
PROFUNDIDAD: 2.0 metros de profundidad		PROGRESIVA: 1 + 250 Km.			C - 01	
COORDENADAS: 185152.57 m E - 8499672.09 m N		NIVEL FREÁTICO: No Presenta				
Profundidad	Descripción	Símbolo	Color	Clasificación SUCS	Estrato	Observación
0.10	Material de Relleno, en Matriz de Limo y Arena			ML Relleno	E3	El material es relleno conformado por desechos plásticos, restos de construcción, raíces y entre otros, envueltos en una matriz de suelo limoso arenoso clasificado como ML de coloración marrón claro.
0.20						
0.30						
0.40						
0.50						
0.60	Limo de Baja Plasticidad Arenoso			ML	E2	Material Fino limoso con presencia de arena, se encontró en estado semihúmedo y compacto. Existen algunos pequeños clastos redondeados dispersos en su matriz. Posee coloración marrón medio naranja.
0.70						
0.80						
0.90						
1.00						
1.10						
1.20						
1.30						
1.40						
1.50						
1.60						
1.70						
1.80						
1.90	Arcilla Ligera de Baja Plasticidad			CL	E1	Material fino arcilloso, húmedo y semicompacto. Presenta coloración marrón medio rojizo.
2.00						

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 47 Perfil Estratigráfico de la Calicata C-02.

<b>TESIS:</b> "INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO						
<b>PROFUNDIDAD:</b> 1.60 metros de profundidad				<b>PROGRESIVA:</b> 0 + 850 Km.		<b>C - 02</b>
<b>COORDENADAS:</b> 185570.84 m E - 8500196.33 m N				<b>NIVEL FREÁTICO:</b> No Presenta		
Profundidad	Descripción	Símbolo	Color	Clasificación SUCS	Estrato	Observación
0.10	Arcilla Ligera de Baja Plasticidad Arenosa			CL	E3	Material fino arcilloso compacto y semihúmedo. Presenta raíces y algunos clastos redondeados dentro de su matriz arcillosa. Posee coloración marrón medio rojiza.
0.20						
0.30						
0.40						
0.50						
0.60	Arena Arcillosa			SC	E2	Material Fino arenoso semicompacto y semihúmedo. Posee algunos pequeños clastos subredondeados. Presenta coloración marrón claro con algunas vetas de color gris.
0.70						
0.80						
0.90						
1.00						
1.10						
1.20	Arcilla Ligera de Baja Plasticidad			CL	E1	Material fino arcilloso, semihúmedo y compacto, sin presencia de clastos de ningún tipo. Posee coloración marrón medio rojizo.
1.10						
1.20						
1.30						
1.40						
1.50						
1.60						

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 48 Perfil Estratigráfico de la Calicata C-03.

<b>TESIS:</b> “INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO.”						
<b>PROFUNDIDAD:</b> 1.80 metros de profundidad			<b>PROGRESIVA:</b> 0 + 300 Km.		<b>C - 03</b>	
<b>COORDENADAS:</b> 185756.05 m E - 8500394.03 m N <b>NIVEL FREÁTICO:</b> No Presenta						
Profundidad	Descripción	Simbolo	Color	Clasificación SUCS	Estrato	Observación
0.10	Arcilla Ligera de Baja Plasticidad			CL	E2	Material fino conformado por arcillas de baja plasticidad. El estrato se hallaba en estado semicompacto y semihúmedo, habia presencia de raíces y restos de materiales de construcción. Este estrato posee una coloración marrón claro con vetas amarillas.
0.20						
0.30						
0.40						
0.50						
0.60						
0.70	Arcilla Ligera de Baja Plasticidad			CL	E1	Suelo arcilloso en estado compacto y húmedo. Este estrato presenta una coloración marrón rojizo.
0.80						
0.90						
1.00						
1.10						
1.20						
1.30						
1.40						
1.50						
1.60						
1.70						
1.80						

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)

Se determinó el perfil estratigráfico de los suelos (eje y bordes), debidamente acotado en un espesor no menor a 1.50 m, teniendo como nivel superior la línea de subrasante del diseño geométrico vial. (según Norma MTC E101).



### 3.5.2. Trituración de Colofonia de Pino

- **Equipos, Materiales e Insumos:**

- Martillos de Goma
- Mortero
- Bolsas Herméticas
- Tamiz N° 200
- Cazuela
- Recipientes Contenedores
- Cepillo Metálico
- Brochas

- **Procedimiento**

Para el mezclado de las muestras a mejorar con los porcentajes requeridos se decidió optar por triturar los cristales de Colofonias de Pino en su estado residual, debido a que se quería lograr una distribución uniforme con las partículas finas de arcilla que pasan por el tamiz N° 200, dicha decisión requirió del uso de martillos y morteros para su molienda y posterior tamizaje por la malla seleccionada. Luego para el resguardo y almacenaje de las muestras trituradas se emplearon brochas y cepillos para limpiar los recipientes utilizados, y verter el contenido residual en bolsas herméticas.

Figura 39 Trituración de Colofonia de Pino



*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*

### 3.5.3. Preparación en Seco de Muestras para el Análisis Granulométrico y determinación de las constantes del Suelo (MTC E- 106)

- **Equipos, Materiales e Insumos:**

- Martillos de Goma
- Morteros
- Espátulas
- Cucharas Metálicas
- Bandejas Metálicas
- Bolsas Herméticas
- Tamiz N° 04, N° 10 y N° 40

- **Procedimiento**

Para la preparación de las muestras se debe de seguir las recomendaciones de la norma MTC E-106, que indica que los materiales deben ser secados al aire o a una temperatura no mayor a los 60° C previo a cada ensayo. Antes de ello si la muestra es demasiado grande o está consolidada debe de darse tratamiento, disgregando las partículas con martillos de goma o con la ayuda de morteros para su posterior cuarteo y tamizado por las mallas N° 04, N° 10 y N° 40. Según el tipo de análisis granulométrico, ensayo o actividad a realizar, las muestras fueron almacenadas en bolsas herméticas o en bandejas que no alteren considerablemente el Contenido de Humedad.

Figura 40 Trituración de Arcilla

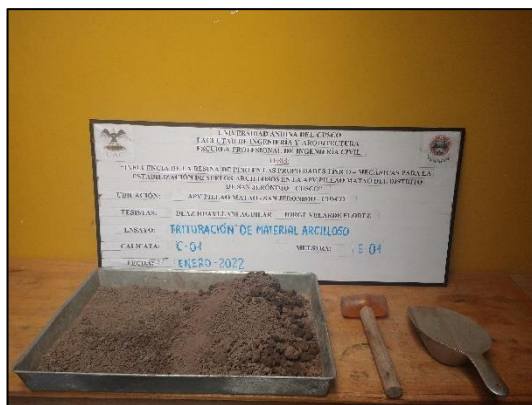


Figura 41 Preparación de Muestras



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



### 3.5.4. Determinación del Contenido de Humedad (MTC E-108)

- **Equipos, Materiales e Insumos:**

- Horno de Secado
- Balanza de 0.01 g de precisión
- Recipientes
- Guantes de Cuero

- **Procedimiento**

De acuerdo al ítem 5.2 de la MTC E-108, tan pronto como llegaron las muestras a las instalaciones de laboratorio se extrajeron muestras en cantidades suficientes a las mínimas representativas que se establecen en esta norma para determinar su contenido de humedad. Se procedió a tarar y registrar los pesos correspondientes tanto de los recipientes como de las muestras solamente de aquellos estratos de interés.


Figura 42 Determinación del Contenido de Humedad.



*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*




Tabla 49 Registro de Datos para Determinar Contenido de Humedad del Estrato E – 01 de C – 01

	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>		
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>		
Determinación del Contenido de Humedad de un Suelo MTC - E 108			
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".		
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO
<b>UBICACIÓN:</b> APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco		<b>PROGRESIVA:</b>	1 + 250 Km.
		<b>CALICATA:</b>	C - 01
		<b>ESTRATO:</b>	E - 01
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL EN SUELOS</b>			
MTC E 108 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-2216			
	<b>Descripción</b>	<b>Muestra N° 01</b>	<b>Muestra N° 02</b>
	Peso de Capsula (gr)	18.35	17.51
	Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	74.45	100.94
	Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	65.35	87.29
	Peso del Agua (gr)	-	-
	Peso de la Muestra Seca (gr)	-	-
	<b>Contenido de Humedad</b>	-	-

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)


Tabla 50 Registro de Datos para Determinar Contenido de Humedad del Estrato E – 01 de C – 02

	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>		
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>		
Determinación del Contenido de Humedad de un Suelo MTC - E 108			
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".		
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO
<b>UBICACIÓN:</b> APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco		<b>PROGRESIVA:</b>	0 + 850 Km.
		<b>CALICATA:</b>	C - 02
		<b>ESTRATO:</b>	E - 01
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL EN SUELOS</b>			
MTC E 108 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-2216			
	<b>Descripción</b>	<b>Muestra N° 01</b>	<b>Muestra N° 02</b>
	Peso de Capsula (gr)	17.89	19.88
	Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	76.10	99.57
	Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	67.33	87.62
	Peso del Agua (gr)	-	-
	Peso de la Muestra Seca (gr)	-	-
	<b>Contenido de Humedad</b>	-	-

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 51 Registro de Datos para Determinar Contenido de Humedad del Estrato E – 01 de C – 03

	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>		
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>		
Determinación del Contenido de Humedad de un Suelo MTC - E 108			
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".		
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO
<b>UBICACIÓN:</b> APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco		<b>PROGRESIVA:</b>	0 + 300 Km.
		<b>CALICATA:</b>	C - 03
		<b>ESTRATO:</b>	E - 01
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL EN SUELOS</b>			
MTC E 108 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-2216			
<b>Descripción</b>	<b>Muestra N° 01</b>	<b>Muestra N° 02</b>	<b>Muestra N° 03</b>
Peso de Capsula (gr)	17.87	18.65	20.83
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	108.78	104.08	109.13
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	91.46	87.69	92.36
Peso del Agua (gr)	-	-	-
Peso de la Muestra Seca (gr)	-	-	-
<b>Contenido de Humedad</b>	-	-	-

*Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*

### 3.5.5. Análisis Granulométrico de suelos por Tamizado (MTC E-107)

- **Equipos, Materiales e Insumos:**

- Estufa
- Balanza de 0.1 g de precisión
- Recipientes
- Juego de tamices de la Tabla 9
- Cepillos
- Guantes Multiusos

- **Procedimiento**

Para determinar la distribución granulométrica de un suelo, previamente se tiene que evaluar si requiere de ser secado, luego será separado por el tamiz N° 04, para posteriormente realizar el lavado correspondiente y finalmente luego de secarlo se realizará el tamizado por cada una de las mallas descritas. Cabe destacar que este método empleado separa al material en dos fracciones, fina y gruesa.



Figura 43 Secado de Muestras



Figura 44 Equipo para el Análisis Granulométrico



Figura 45 Tamizado de Muestras




*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*





Tabla 52 Registro de Datos para Análisis Granulométrico del Estrato E – 01 de C – 01


	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado MTC - E 107		
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".	
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

<b>UBICACIÓN:</b>	APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco	<b>PROGRESIVA:</b>	1 + 250 Km.			
<b>MUESTRA:</b>	Alterada	<b>CALICATA:</b>	C - 01			
		<b>ESTRATO:</b>	E - 01			
		<b>% COLOFONIA:</b>	-			
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO</b>						
MTC E 107 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-422 y AASHTO T-88						
Peso de la Muestra Seca (Antes de Lavar) =		1500.00 gr	Cumple Máx. Error 2 %			
Peso de la Muestra Seca (Después de Lavar) =		42.50 gr				
Cálculo del % de Error en Peso =		100.00%				
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso que pasa (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4"	100	0.00				
3"	75	0.00				
2"	50	0.00				
1½"	37.5	0.00				
1"	25	0.00				
¾"	19	0.00				
3/8"	9.5	0.22				
Nº 4	4.75	0.00				
Nº 10	2	0.83				
Nº 20	0.850	0.84				
Nº 40	0.425	0.73				
Nº 60	0.250	2.08				
Nº 100	0.150	22.51				
Nº 200	0.075	14.61				
Cazuela	-	0.65				
Lavado	-	1457.50				
<b>Total de la muestra retenida =</b>						

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 53 Registro de Datos para Análisis Granulométrico del Estrato E – 01 de C – 02

	<b>Universidad Andina del Cusco</b>		<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
			<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
		Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado MTC - E 107		
<b>TESIS:</b> "INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".				
<b>RESPONSABLES:</b> BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ		<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO		
<b>FECHA:</b> ENERO DEL 2022		<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO		


<b>UBICACIÓN:</b> APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco	<b>PROGRESIVA:</b> 0 + 850 Km.					
<b>MUESTRA:</b> Alterada	<b>CALICATA:</b> C - 02					
	<b>ESTRATO:</b> E - 01					
	<b>% COLOFONIA</b> -					
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO</b>						
MTC E 107 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-422 y AASHTO T-88						
Peso de la Muestra Seca (Antes de Lavar) = 1500.00 gr Peso de la Muestra Seca (Después de Lavar) = 102.61 gr Cálculo del % de Error en Peso = 100.00%						
Cumple Máx. Error 2 %						
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso que pasa (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4"	100	0.00				
3"	75	0.00				
2"	50	0.00				
1½"	37.5	0.00				
1"	25	0.00				
¾"	19	0.24				
3/8"	9.5	0.68				
Nº 4	4.75	1.83				
Nº 10	2	3.41				
Nº 20	0.850	4.60				
Nº 40	0.425	14.99				
Nº 60	0.250	17.12				
Nº 100	0.150	39.15				
Nº 200	0.075	19.24				
Cazuela	-	0.50				
Lavado	-	1397.39				
<b>Total de la muestra retenida =</b>						

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)





Tabla 54 Registro de Datos para Análisis Granulométrico del Estrato E – 01 de C – 03

	<b>Universidad Andina del Cusco</b>		<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
			<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
		Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado MTC - E 107		
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".			
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO	
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO	

<b>UBICACIÓN:</b>	APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco	<b>PROGRESIVA:</b>	0 + 300 Km.			
<b>MUESTRA:</b>	Alterada	<b>CALICATA:</b>	C - 03			
		<b>ESTRATO:</b>	E - 01			
		<b>% COLOFONIA</b>	-			
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO</b>						
MTC E 107 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-422 y AASHTO T-88						
Peso de la Muestra Seca (Antes de Lavar) =		1500.00 gr	Cumple Máx. Error 2 %			
Peso de la Muestra Seca (Después de Lavar) =		73.02 gr				
Cálculo del % de Error en Peso =		100.00%				
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso que pasa (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4"	100	0.00				
3"	75	0.00				
2"	50	0.00				
1½"	37.5	0.00				
1"	25	0.00				
¾"	19	0.00				
3/8"	9.5	0.00				
Nº 4	4.75	2.16				
Nº 10	2	1.27				
Nº 20	0.850	0.93				
Nº 40	0.425	0.81				
Nº 60	0.250	5.03				
Nº 100	0.150	32.68				
Nº 200	0.075	28.09				
Cazuela	-	1.43				
Lavado	-	1426.98				
<b>Total de la muestra retenida =</b>						

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



### 3.5.6. Determinación del Límite Líquido (MTC E-110)

- **Equipos, Materiales e Insumos:**

- Recipientes contenedores
- Aparato de Casagrande
- Ranurador
- Balanza de 0.01 g.
- Espátula
- Agua destilada
- Muestra de suelo separada por el Tamiz N°40

- **Procedimiento**

Para calcular este parámetro, el ensayo consiste en preparar muestras de suelo que pasen por el tamiz N° 40, posteriormente se humedecieron cada una de las porciones preparadas y se comenzo a homogeneizar con ayuda del mortero, se puede utilizar la siguiente tabla para tener un mejor control de los pesos y contenidos de humedad a considerar.

Tabla 55 Cantidades para la determinación de Constantes de Suelos

Ensayo	Cantidad en gramos
Límite Líquido	100
Límite Plástico	15
Límite de Contracción	30
Ensayos de Verificación	65

*Fuente: MTC E-106*

En el caso se vaya a utilizar el método de multipunto, el ensayo se tendrá que realizar un mínimo de tres veces y en relación a las muestras con Colofonia de Pino estas fueron mezcladas previamente a la ejecución del ensayo.

El procedimiento consiste en esparcir la muestra humectada sobre la cuchara del aparato de Casagrande, formando una superficie homogénea, tratando de quitar vacíos mediante la aplicación de presión; ya formada la superficie se le pasa el ranurador tratando de conseguir una línea continua que separe en dos mitades la muestra a evaluar. Seguidamente se giró la manivela del aparato para ejecutar los golpes sobre la plataforma, la velocidad en que este proceso fue realizado, está comprendida a una razón entre 1.9 – 2.1 golpes por segundo.

Cuando las dos mitades se juntaron se procedió a determinar el contenido de humedad de la muestra ensayada para determinar el Límite Líquido de la muestra evaluada.

Figura 46 Equipos y Herramientas para Ensayo de Límite Líquido



Figura 47 Determinación del Límite Líquido



Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)

Tabla 56 Registro de Datos para Ensayo de Límite Líquido del Estrato E – 01 de C – 01

	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b> <b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b> Determinación del Límite Líquido de los Suelos MTC - E 110			
	TESIS: "INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA AV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".			
RESPONSABLES: BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	UBICACIÓN: AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO			
FECHA: ENERO DEL 2022	LABORATORIO: CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO			
UBICACIÓN: APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco	PROGRESIVA: 1 + 250 Km. CALICATA: C - 01 ESTRATO: E - 01			
MUESTRA: Alterada				
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>				
MTC E 110 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89				
Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03	Muestra N° 04
Número de Golpes	38	26	23	12
Peso de Capsula (gr)	9.52	10.75	7.21	9.91
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	23.93	22.50	24.07	25.72
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	19.67	18.97	18.84	20.74
Peso del Agua (gr)	-	-	-	-
Peso de la Muestra Seca (gr)	-	-	-	-
Contenido de Humedad	-	-	-	-

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 57 Registro de Datos para Ensayo de Límite Líquido del Estrato E – 01 de C – 02

	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>			
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>			
Determinación del Límite Líquido de los Suelos MTC - E 110				
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".			
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO	
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO	
<b>UBICACIÓN:</b>	APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco		<b>PROGRESIVA:</b>	0 + 850 Km.
<b>MUESTRA:</b>	Alterada		<b>CALICATA:</b>	C - 02
			<b>ESTRATO:</b>	E - 01
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>				
MTC E 110 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89				
<b>Descripción</b>	<b>Muestra N° 01</b>	<b>Muestra N° 02</b>	<b>Muestra N° 03</b>	<b>Muestra N° 04</b>
<b>Número de Golpes</b>	34	30	20	15
Peso de Capsula (gr)	10.45	7.09	11.79	11.57
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	24.44	25.69	20.24	21.32
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	20.44	20.28	17.70	18.34
Peso del Agua (gr)	-	-	-	-
Peso de la Muestra Seca (gr)	-	-	-	-
<b>Contenido de Humedad</b>	-	-	-	-

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)

Tabla 58 Registro de Datos para Ensayo de Límite Líquido del Estrato E – 01 de C – 03

	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>			
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>			
Determinación del Límite Líquido de los Suelos MTC - E 110				
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".			
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO	
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO	
<b>UBICACIÓN:</b>	APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco		<b>PROGRESIVA:</b>	0 + 300 Km.
<b>MUESTRA:</b>	Alterada		<b>CALICATA:</b>	C - 03
			<b>ESTRATO:</b>	E - 01
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>				
MTC E 110 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89				
<b>Descripción</b>	<b>Muestra N° 01</b>	<b>Muestra N° 02</b>	<b>Muestra N° 03</b>	<b>Muestra N° 04</b>
<b>Número de Golpes</b>	39	31	23	14
Peso de Capsula (gr)	10.37	11.02	7.46	7.37
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	20.33	20.24	22.41	21.88
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	17.51	17.58	17.95	17.48
Peso del Agua (gr)	-	-	-	-
Peso de la Muestra Seca (gr)	-	-	-	-
<b>Contenido de Humedad</b>	-	-	-	-

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 59 Registro de Datos para Ensayo de Límite Líquido de Muestra de Suelo Arcilloso con 3% de Colofonia de Pino

	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
Determinación del Límite Líquido de los Suelos MTC - E 110		
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".	
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO
<b>UBICACIÓN:</b> APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco		<b>MUESTRA:</b> Alterada <b>% DE COLOFONIA:</b> 3.00%

**LÍMITE LÍQUIDO**

MTC E 110 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89

Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03	Muestra N° 04
<b>Número de Golpes</b>	33	26	23	14
Peso de Capsula (gr)	9.18	9.77	10.06	8.23
Peso de Capsula + Muestra Húmeda	21.66	20.65	21.22	26.92
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	18.13	17.52	17.90	21.26
Peso del Agua (gr)	-	-	-	-
Peso de la Muestra Seca (gr)	-	-	-	-
<b>Contenido de Humedad</b>	-	-	-	-

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)

Tabla 60 Registro de Datos para Ensayo de Límite Líquido de Muestra de Suelo Arcilloso con 5% de Colofonia de Pino

	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
Determinación del Límite Líquido de los Suelos MTC - E 110		
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".	
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO
<b>UBICACIÓN:</b> APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco		<b>MUESTRA:</b> Alterada <b>% DE COLOFONIA:</b> 5.00%

**LÍMITE LÍQUIDO**

MTC E 110 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89

Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03	Muestra N° 04
<b>Número de Golpes</b>	33	28	20	13
Peso de Capsula (gr)	9.66	8.87	11.92	7.31
Peso de Capsula + Muestra Húmeda	20.93	26.71	21.62	21.25
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	17.79	21.65	18.77	17.09
Peso del Agua (gr)	-	-	-	-
Peso de la Muestra Seca (gr)	-	-	-	-
<b>Contenido de Humedad</b>	-	-	-	-

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 61 Registro de Datos para Ensayo de Límite Líquido de Muestra de Suelo Arcilloso con 7% de Colofonia de Pino

	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
Determinación del Límite Líquido de los Suelos MTC - E 110		
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".	
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO
<b>UBICACIÓN:</b> APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco		<b>MUESTRA:</b> Alterada <b>% DE COLOFONIA:</b> 7.00%

LÍMITE LÍQUIDO
MTC E 110 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89

Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03	Muestra N° 04
Número de Golpes	34	29	18	14
Peso de Capsula (gr)	8.46	10.02	10.27	9.46
Peso de Capsula + Muestra Húmeda	23.46	20.24	26.57	20.44
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	19.35	17.39	21.85	17.21
Peso del Agua (gr)	-	-	-	-
Peso de la Muestra Seca (gr)	-	-	-	-
Contenido de Humedad	-	-	-	-

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)

### 3.5.7. Determinación del Límite Plástico de los Suelos e Índice de Plasticidad (MTC E-111)

- Equipos, Materiales e Insumos:**

- Recipientes contenedores
- Placa de vidrio esmerilado
- Horno
- Balanza de 0.01 g.
- Espátula
- Muestra de suelo separada por el Tamiz N°40

- Procedimiento**

Para calcular este parámetro, se preparó las muestras a evaluar del mismo modo que indica para la determinación del Límite Líquido, acto seguido se tomó una porción aproximada de 15 g. y se comenzó a humedecer las muestras, para posteriormente formar elipsoides que serán sujetos a variaciones de humedad por medio de la formación de trozos tubulares que comenzaron a agrietarse al llegar a un diámetro de 3.20 mm.

Lo cual significa que la muestra alcanzo su Límite Plástico, por lo que se procedió a determinar el contenido de humedad de la muestra ensayada. Por otra parte, el índice de plasticidad, fue calculado por la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

Figura 48 Equipos y Herramientas para Ensayo de Límite Plástico

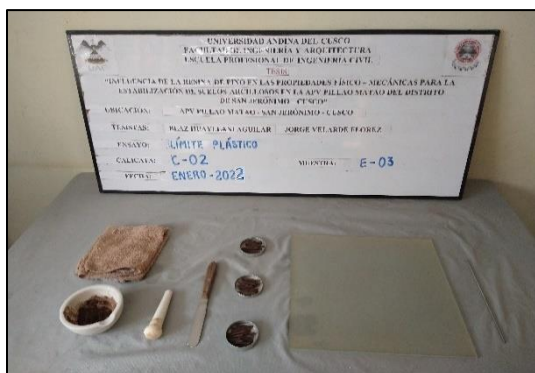



Figura 49 Determinación del Límite Plástico



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)

Tabla 62 Registro de Datos para Ensayo de Límite Plástico del Estrato E – 01 de C – 01

 <b>Universidad Andina del Cusco</b>		<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b> <b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
		Determinación del Límite Plástico de los Suelos e Índice de Plasticidad MTC - E 111	
<b>TESIS:</b> "INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA AV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".			
<b>RESPONSABLES:</b> BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ		<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO	
<b>FECHA:</b> ENERO DEL 2022		<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N-8; URB. PROGRESO - WACHAQ - CUSCO	
<b>UBICACIÓN:</b> APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco		<b>PROGRESIVA:</b> 1 + 250 Km.	
<b>MUESTRA:</b> Alterada		<b>CALICATA:</b> C - 01	
		<b>ESTRATO:</b> E - 01	
LÍMITE PLÁSTICO			
MTC E 111 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90			
Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03
Peso de Capsula (gr)	8.89	9.90	8.50
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	16.94	18.32	16.64
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	15.33	16.64	15.01
Peso del Agua (gr)	-	-	-
Peso de la Muestra Seca (gr)	-	-	-
<b>Contenido de Humedad</b>	-	-	-

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)





Tabla 63 Registro de Datos para Ensayo de Límite Plástico del Estrato E – 01 de C – 02

	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>		
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>		
Determinación del Límite Plástico de los Suelos e Índice de Plasticidad MTC - E 111			
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".		
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO
<b>UBICACIÓN:</b>	APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco		<b>PROGRESIVA:</b> 0 + 850 Km.
<b>MUESTRA:</b>	Alterada		<b>CALICATA:</b> C - 02 <b>ESTRATO:</b> E - 01
<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>			
MTC E 111 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90			
	<b>Descripción</b>	<b>Muestra N° 01</b>	<b>Muestra N° 02</b>
	Peso de Capsula (gr)	8.99	9.88
	Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	11.53	13.54
	Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	11.04	12.83
	Peso del Agua (gr)	-	-
	Peso de la Muestra Seca (gr)	-	-
	<b>Contenido de Humedad</b>	-	-

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)

Tabla 64 Registro de Datos para Ensayo de Límite Plástico del Estrato E – 01 de C – 03


	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>		
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>		
Determinación del Límite Plástico de los Suelos e Índice de Plasticidad MTC - E 111			
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".		
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO
<b>UBICACIÓN:</b>	APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco		<b>PROGRESIVA:</b> 0 + 300 Km.
<b>MUESTRA:</b>	Alterada		<b>CALICATA:</b> C - 03 <b>ESTRATO:</b> E - 01
<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>			
MTC E 111 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90			
	<b>Descripción</b>	<b>Muestra N° 01</b>	<b>Muestra N° 02</b>
	Peso de Capsula (gr)	8.49	9.82
	Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	12.25	11.86
	Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	11.55	11.48
	Peso del Agua (gr)	-	-
	Peso de la Muestra Seca (gr)	-	-
	<b>Contenido de Humedad</b>	-	-

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)





Tabla 65 Registro de Datos para Ensayo de Límite Plástico de Muestra de Suelo Arcilloso con 3% de Colofonia de Pino


	<b>Universidad Andina del Cusco</b>		<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
			<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
Determinación del Límite Plástico de los Suelos e Índice de Plasticidad MTC - E 111				
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".			
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO	
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO	
<b>UBICACIÓN:</b> APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco		<b>MUESTRA:</b>	Alterada	
		<b>% DE COLOFONIA:</b>	3.00%	

LÍMITE PLÁSTICO
MTC E 111 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90

Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03
Peso de Capsula (gr)	8.45	9.60	9.33
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	11.67	13.53	12.19
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	11.06	12.79	11.65
Peso del Agua (gr)	-	-	-
Peso de la Muestra Seca (gr)	-	-	-
<b>Contenido de Humedad</b>	-	-	-

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)

Tabla 66 Registro de Datos para Ensayo de Límite Plástico de Muestra de Suelo Arcilloso con 5% de Colofonia de Pino

	<b>Universidad Andina del Cusco</b>		<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
			<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
Determinación del Límite Plástico de los Suelos e Índice de Plasticidad MTC - E 111				
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".			
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO	
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO	
<b>UBICACIÓN:</b> APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco		<b>MUESTRA:</b>	Alterada	
		<b>% DE COLOFONIA:</b>	5.00%	

LÍMITE PLÁSTICO
MTC E 111 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90

Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03
Peso de Capsula (gr)	9.31	9.51	8.29
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	11.89	13.10	11.99
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	11.41	12.43	11.30
Peso del Agua (gr)	-	-	-
Peso de la Muestra Seca (gr)	-	-	-
<b>Contenido de Humedad</b>	-	-	-

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)

Tabla 67 Registro de Datos para Ensayo de Límite Plástico de Muestra de Suelo Arcilloso con 7% de Colofonia de Pino

	Facultad de Ingeniería y Arquitectura			
	Escuela Profesional de Ingeniería Civil			
Determinación del Límite Plástico de los Suelos e Índice de Plasticidad MTC - E 111				
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".			
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO	
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO	
<b>UBICACIÓN:</b> APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco		<b>MUESTRA:</b>	Alterada	
		<b>% DE COLOFONIA:</b>	7.00%	
<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>				
MTC E 111 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90				
	<b>Descripción</b>	<b>Muestra N° 01</b>	<b>Muestra N° 02</b>	<b>Muestra N° 03</b>
	Peso de Capsula (gr)	8.22	9.36	8.03
	Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	13.40	11.77	12.33
	Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	12.45	11.33	11.54
	Peso del Agua (gr)	-	-	-
	Peso de la Muestra Seca (gr)	-	-	-
	Contenido de Humedad	-	-	-

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)

### 3.5.8. Compactación de Suelos en Laboratorio utilizando una Energía Modificada – Proctor Modificado (MTC E-115)

- **Equipos, Materiales e Insumos:**

- Molde de 04”
- Pisón o martillo
- Horno
- Balanza de 0.01 g.
- Regla
- Herramientas para mezclado
- Muestra de suelo separada por el Tamiz N°4 (16 Kg aproximadamente)

- **Procedimiento**

Para la determinación de la densidad máxima seca y el contenido de humedad óptimo, previamente se realizó el mezclado de las muestras de suelo con los porcentajes de Colofonia de Pino considerados.

Posteriormente se evaluó y seleccionó el método de compactación más adecuado, que para este caso vendría a ser el Método A, compactando 05 capas con 25 golpes cada una de ellas, a una razón de 25 Golpes/minuto, para obtener superficies uniformes. Luego se registró los pesos y volúmenes de los moldes a utilizar en cada punto registrado.

En promedio para este tipo de ensayos el manual recomienda una cantidad mínima de 2.30 Kg por punto, por lo que cada muestra debe de ser adecuadamente homogeneizada y distribuida para 05 capas, después de la colocación de la última capa se retiró cuidadosamente el collarín para su posterior enrasado; los orificios o concavidades provocados por el corte o tajo fueron rellenados mediante la presión de material sobrante con los dedos, luego se volvió a enrasar el espécimen hasta que se obtuvo una superficie uniforme. Al finalizar las actividades que requiere el ensayo, para cada punto y muestreo se registraron y determinaron los pesos y humedades correspondientes.

Figura 50 Preparación de Muestras para el Ensayo de Proctor Modificado



Figura 51 Equipos y Herramientas para el Ensayo de Proctor Modificado



Figura 52 Compactación de Muestras preparadas



Figura 53 Pesaje de Espécimen Compactado



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 68 Registro de Datos para Ensayo de Proctor Modificado de Muestra de Suelo Arcilloso sin Colofonia de Pino



Universidad  
Andina  
del Cusco

<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
COMPACTACIÓN DE SUELOS UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA - ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO MTC - E 115	
<b>TESIS:</b> "INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO".	
<b>RESPONSABLES:</b> BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b> ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVLCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

**UBICACIÓN:** APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

**MUESTRA:** Alterada

**% DE COLOFONIA:** 0.00%

**RELACIONES HUMEDAD - DENSIDAD (PROCTOR)**

MTC E 115 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-1557 y AASHTO T-180

Características del Ensayo de Compactación		Método:	A
Número de Capas:	5	Golpes por Capa =	25
Altura de Caída del Martillo=	45.72 cm	Peso del Martillo =	4.54 Kg

Obtención de la Densidad	Punto N° 01		Punto N° 02		Punto N° 03		Punto N° 04		Punto N° 05	
Molde	M-B		M-B		M-B		M-B		M-B	
Diámetro del Molde (cm)	10.12		10.12		10.12		10.12		10.12	
Altura del molde (cm)	11.64		11.64		11.64		11.64		11.64	
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	-		-		-		-		-	
Peso del Molde (gr)	4000.00		4000.00		4000.00		4000.00		4000.00	
Peso del Molde + Muestra Compactada	5832.00		5916.00		5965.00		6001.00		6014.00	
Peso de la Muestra Compactada	-		-		-		-		-	
Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	-		-		-		-		-	
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	-		-		-		-		-	
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>
Peso de Capsula (gr)	18.25	20.53	15.63	19.18	19.15	15.73	19.49	19.63	19.84	20.25
Peso de Capsula + Muestra Húmeda	103.77	102.63	80.27	75.20	90.34	72.03	108.14	114.77	98.98	104.37
Peso de Capsula + Muestra Seca	94.34	93.45	71.47	67.46	79.23	63.14	92.41	97.77	83.26	87.54
Peso del Agua (gr)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Peso de la Muestra Seca (gr)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Contenido de Humedad	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Contenido de Humedad Promedio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 69 Registro de Datos para Ensayo de Proctor Modificado de Muestra de Suelo Arcilloso con 3% de Colofonia de Pino

	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
COMPACTACIÓN DE SUELOS UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA - ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO MTC - E 115		
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO".	
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

UBICACIÓN: APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

MUESTRA: Alterada

% DE COLOFONIA: 3.00%

RELACIONES HUMEDAD - DENSIDAD (PROCTOR)

MTC E 115 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-1557 y AASHTO T-180


<b>Características del Ensayo de Compactación</b>		<b>Método:</b>	<b>A</b>
<b>Número de Capas:</b>	5	<b>Golpes por Capa =</b>	25
<b>Altura de Caída del Martillo=</b>	45.72 cm	<b>Peso del Martillo =</b>	4.54 Kg

Obtención de la Densidad	Punto N° 01		Punto N° 02		Punto N° 03		Punto N° 04		Punto N° 05	
Molde	M-B		M-B		M-B		M-B		M-B	
Diámetro del Molde (cm)	10.12		10.12		10.12		10.12		10.12	
Altura del molde (cm)	11.64		11.64		11.64		11.64		11.64	
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	-		-		-		-		-	
Peso del Molde (gr)	4000.00		4000.00		4000.00		4000.00		4000.00	
Peso del Molde + Muestra Comp	5747.00		5845.00		5912.00		5935.00		5913.00	
Peso de la Muestra Compactada	-		-		-		-		-	
Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	-		-		-		-		-	
<b>Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	-		-		-		-		-	
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>
Peso de Capsula (gr)	18.00	19.61	15.51	17.81	17.02	15.75	15.17	16.28	17.52	15.21
Peso de Capsula + Muestra Húme	74.59	85.60	89.18	105.08	93.10	106.90	97.38	110.49	113.25	110.90
Peso de Capsula + Muestra Seca	68.60	78.60	79.92	94.16	81.71	93.00	83.28	94.28	94.77	92.32
Peso del Agua (gr)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Peso de la Muestra Seca (gr)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Contenido de Humedad	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Contenido de Humedad Promedi</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 70 Registro de Datos para Ensayo de Proctor Modificado de Muestra de Suelo Arcilloso con 5% de Colofonia de Pino

	<b>Universidad Andina del Cusco</b>		<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
			<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
COMPACTACIÓN DE SUELOS UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA - ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO MTC - E 115				
<b>TESIS:</b> "INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO".				
<b>RESPONSABLES:</b> BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ		<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO		
<b>FECHA:</b> ENERO DEL 2022		<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO		

**UBICACIÓN:** APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

**MUESTRA:** Alterada

**% DE COLOFONIA:** 5.00%

**RELACIONES HUMEDAD - DENSIDAD (PROCTOR)**

MTC E 115 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-1557 y AASHTO T-180


<b>Características del Ensayo de Compactación</b>		<b>Método:</b>	<b>A</b>
<b>Número de Capas:</b>	5	<b>Golpes por Capa =</b>	25
<b>Altura de Caída del Martillo=</b>	45.72 cm	<b>Peso del Martillo =</b>	4.54 Kg

Obtención de la Densidad	Punto N° 01		Punto N° 02		Punto N° 03		Punto N° 04		Punto N° 05	
Molde	M-B		M-B		M-B		M-B		M-B	
Diámetro del Molde (cm)	10.12		10.12		10.12		10.12		10.12	
Altura del molde (cm)	11.64		11.64		11.64		11.64		11.64	
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	-		-		-		-		-	
Peso del Molde (gr)	4000.00		4000.00		4000.00		4000.00		4000.00	
Peso del Molde + Muestra Comp	5676.00		5816.00		5882.00		5898.00		5841.00	
Peso de la Muestra Compactada	-		-		-		-		-	
Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	-		-		-		-		-	
<b>Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	-		-		-		-		-	
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>
Peso de Capsula (gr)	16.79	15.99	19.86	19.68	19.64	17.36	19.56	15.51	17.26	17.15
Peso de Capsula + Muestra Húmeda	101.36	94.11	99.19	91.62	77.06	95.50	78.73	96.97	117.42	83.03
Peso de Capsula + Muestra Seca	92.74	86.03	89.24	82.48	68.82	84.13	68.89	83.27	98.77	70.69
Peso del Agua (gr)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Peso de la Muestra Seca (gr)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Contenido de Humedad	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Contenido de Humedad Promedio</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 71 Registro de Datos para Ensayo de Proctor Modificado de Muestra de Suelo Arcilloso con 7% de Colofonia de Pino

	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
COMPACTACIÓN DE SUELOS UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA - ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO MTC - E 115		
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".	
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

UBICACIÓN: APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

MUESTRA: Alterada

% DE COLOFONIA: 7.00%

RELACIONES HUMEDAD - DENSIDAD (PROCTOR)

MTC E 115 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-1557 y AASHTO T-180

<b>Características del Ensayo de Compactación</b>		<b>Método:</b>	<b>A</b>
<b>Número de Capas:</b>	5	<b>Golpes por Capa =</b>	25
<b>Altura de Caída del Martillo=</b>	45.72 cm	<b>Peso del Martillo =</b>	4.54 Kg

Obtención de la Densidad	Punto N° 01		Punto N° 02		Punto N° 03		Punto N° 04		Punto N° 05	
Molde	M-B		M-B		M-B		M-B		M-B	
Diámetro del Molde (cm)	10.12		10.12		10.12		10.12		10.12	
Altura del molde (cm)	11.64		11.64		11.64		11.64		11.64	
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	-		-		-		-		-	
Peso del Molde (gr)	4000.00		4000.00		4000.00		4000.00		4000.00	
Peso del Molde + Muestra Compactada	5480.00		5733.00		5825.00		5859.00		5731.00	
Peso de la Muestra Compactada	-		-		-		-		-	
Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	-		-		-		-		-	
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	-		-		-		-		-	
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>
Peso de Capsula (gr)	19.13	20.93	19.29	17.38	17.82	20.36	18.50	20.28	17.76	18.60
Peso de Capsula + Muestra Húmeda	77.03	88.05	100.90	78.01	80.43	79.00	112.15	98.02	113.25	82.23
Peso de Capsula + Muestra Seca	72.23	82.28	91.53	70.97	72.11	71.05	96.60	84.98	95.13	70.06
Peso del Agua (gr)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Peso de la Muestra Seca (gr)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Contenido de Humedad	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Contenido de Humedad Promedio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



### 3.5.9. CBR de Suelos (MTC E-132)

- **Equipos, Materiales e Insumos:**

- Molde de CBR
- Prensa de CBR
- Disco Espaciador
- Discos de Sobrecarga
- Trípode y diales de desplazamiento
- Pisón de compactación
- Cilindros para inmersión de moldes
- Estufa y Horno de Secado
- Muestra de suelo separada por el Tamiz N°4 (16 Kg aproximadamente)
- Cronómetro

- **Procedimiento**

Para cada espécimen de CBR, se recomienda la preparación de 05 Kg de material con los porcentajes de Colofonia de Pino considerados, teniendo previamente definidos para cada porcentaje de Colofonia de Pino, un óptimo contenido de humeado. Conociendo estos datos se procedió a moldear los especímenes de CBR, del mismo modo en que se realiza el Ensayo de Proctor, a excepción que en la base se colocan filtros y un disco espaciador.

A diferencia del ensayo de compactación la norma MTC E-132 considera 55, 26 y 12 Golpes para cada uno de los 3 moldes. Posterior al moldeo, se llevó cada espécimen a los contenedores de inmersión, para su correspondiente evaluación de expansiones con el juego de discos colocados por encima, transcurrido los 04 días que dura el ensayo se procedió a drenar el agua remanente del ensayo, luego de ello se procedió a penetrar cada uno de los especímenes, registrando las deformaciones y esfuerzos necesarios para producir 0.05” por cada minuto transcurrido.





Figura 54 Preparación de Especímenes



Figura 55 Compactación de Especímenes



Figura 56 Inmersión de Especímenes



Figura 57 Control de Expansiones



Figura 58 Penetración de Especímenes



Figura 59 Especímenes Penetrados



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 72 Registro de Datos para Ensayo de CBR del Moldeo de Muestra de Suelo Arcilloso sin Colofonia de Pino

	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
	CBR DE SUELOS EN LABORATORIO MTC - E 132	
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO".	
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

**UBICACIÓN:** APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

**MUESTRA:** Alterada  
**% DE COLOFONIA:** 0.00%

**RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)**

MTC E 132 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193

Datos del Ensayo Proctor Modificado	Datos del Anillo y Pistón de Carga	Datos del Molde CBR
Densidad Seca Máxima = 1.77 cm3	Constante del Anillo de Carga = $A0 + (A1 \cdot X) + (A2 \cdot X^2) + (A3 \cdot X^3)$	Diámetro = 15.23 cm
Contenido Humedad Óptimo = 18.00%	A0 = -2.57E-01      A2 = -3.05E-05	Altura = 17.78 cm
Suelo - SUCS = CL	A1 = 6.50E-02      A3 = 1.63E-08	Altura de la Muestra = 11.63 cm
Suelo - AASHTO = A-7-6 (12) :	Áltura del Pistón = 17.10 cm	Altura del Collarín = 11.63 cm
	Área del Pistón = 20.27 cm2	Volumen = 2118.70 cm3

Ensayo de Compactación	Moldeo N° 1			Moldeo N° 2			Moldeo N° 3		
Número de Golpes por Capa	55			26			12		
Peso del Molde (gr)	7310.00			7205.00			7365.00		
Peso del Molde + Muestra Compactada (gr)	11710.00			11490.00			11295.00		
Peso de la Muestra Compactada (gr)									
Densidad Húmeda (gr/cm3)									
Densidad Seca (gr/cm3)									
Contenido de Humedad	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Peso de Capsula (gr)	16.49	19.54	17.07	19.69	19.15	18.69	19.05	18.17	15.14
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	98.35	109.33	84.86	106.82	107.99	86.66	72.41	92.20	96.18
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	85.89	95.60	74.60	93.59	94.44	76.40	64.33	80.93	83.96
Peso del Agua (gr)									
Peso de la Muestra Seca (gr)									
Contenido de Humedad									
Contenido de Humedad Promedio									

*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*



Tabla 73 Registro de Datos para Ensayo de CBR de Absorción y Expansión de Muestra de Suelo Arcilloso sin Colofonia de Pino



Universidad  
Andina  
del Cusco

Facultad de Ingeniería y Arquitectura  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil

CBR DE SUELOS EN LABORATORIO  
MTC - E 132

<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".		
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P.S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

UBICACIÓN: APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

MUESTRA: Alterada

% DE COLOFONIA: 0.00%


Ensayo de Absorción	Moldeo N° 4 / 55 Golpes			Moldeo N° 5 / 26 Golpes			Moldeo N° 6 / 12 Golpes		
Peso del Molde (gr)	7517.50			7059.00			6836.50		
Peso del Molde + Muestra Compactada, antes de la inmersión (gr)	11831.50			11281.00			10694.50		
Peso del Molde + Muestra Compactada, después de la inmersión (gr)	12069.00			11576.50			11162.50		
Peso del Agua Absorbida (gr)									
Peso de la Muestra Compactada, antes de la inmersión (gr)									
Peso de la Muestra Compactada, después de la inmersión (gr)									
Peso de la Muestra Seca (gr)									
Porcentaje de Absorción									
Contenido de Humedad después de la Absorción	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Peso de Capsula (gr)	18.66	25.05	27.35	25.50	28.10	29.80	30.80	28.70	30.95
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	83.24	107.57	95.68	85.85	90.84	111.01	85.58	110.22	116.82
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	70.32	91.10	81.95	73.45	78.00	94.25	72.45	90.70	96.15
Peso del Agua (gr)									
Peso de la Muestra Seca (gr)									
Contenido de Humedad									
Contenido de Humedad Promedio									
Porcentaje de Absorción									
Porcentaje de Absorción Promedio									

Ensayo de Expansión			Moldeo N° 4 / 55 Golpes			Moldeo N° 5 / 26 Golpes			Moldeo N° 6 / 12 Golpes		
Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido	Dial	Deform	% de	Dial	Deform	% de	Dial	Deform	% de
		Horas	0.01 mm	mm	Expans.	0.01 mm	mm	Expans.	0.01 mm	mm	Expans.
9 de Enero de 2022	19:00	0 h 00 min	0			0			0		
10 de Enero de 2022	07:00	12 h 00 min	203			237			340		
10 de Enero de 2022	19:00	24 h 00 min	311			360			454		
11 de Enero de 2022	19:00	48 h 00 min	422			498			592		
13 de Enero de 2022	19:00	96 h 00 min	527			620			765		

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 74 Registro de Datos para Ensayo de CBR de Penetraciones de Suelo Arcilloso sin Colofonia de Pino

	<b>Universidad Andina del Cusco</b>	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
		<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
		CBR DE SUELOS EN LABORATORIO MTC - E 132	
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".		
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

**UBICACIÓN:** APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco


**MUESTRA:** Alterada  
**% DE COLOFONIA:** 0.00%

Ensayo de Penetración			Moldeo N° 4 / 55 Golpes				Moldeo N° 5 / 26 Golpes				Moldeo N° 6 / 12 Golpes			
Carga Unitaria Patrón	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%
	0	0.000	0				0				0			
	25	0.635	5				4				3			
	50	1.270	7				5				4			
	75	1.905	9				6.5				5			
70.31	100	2.540	11				8				6			
	125	3.175	13				9				7			
	150	3.810	14.5				10				8			
105.46	200	5.080	17				12				9			
	300	7.620	21				15				11			
	400	10.160	24				17				12			
	500	12.700	27				19				14			

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 75 Registro de Datos para Ensayo de CBR del Moldeo de Muestra de Suelo Arcilloso con 3% Colofonia de Pino

	<b>Universidad Andina del Cusco</b>		<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
			<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
		CBR DE SUELOS EN LABORATORIO MTC - E 132		
<b>TESIS:</b> "INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".				
<b>RESPONSABLES:</b> BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ		<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO		
<b>FECHA:</b> ENERO DEL 2022		<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO		

UBICACIÓN: APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

MUESTRA: Alterada

% DE COLOFONIA: 3.00%

RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)

MTC E 132 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193

Datos del Ensayo Proctor Modificado	Datos del Anillo y Pistón de Carga	Datos del Molde CBR
Densidad Seca Máxima =	Constante del Anillo de Carga = $A0 + (A1 \cdot X) + (A2 \cdot X^2) + (A3 \cdot X^3)$	Diámetro = 15.23 cm
Contenido Humedad Óptimo =	A0 = -2.57E-01      A2 = -3.05E-05	Altura = 17.78 cm
Suelo - SUCS = CL	A1 = 6.50E-02      A3 = 1.63E-08	Altura de la Muestra = 11.63 cm
Suelo - AASHTO = A-7-6 (12) :	Áltura del Pistón = 17.10 cm	Altura del Collarín = 11.63 cm
	Área del Pistón = 20.27 cm <sup>2</sup>	Volumen = 2118.70 cm <sup>3</sup>

Ensayo de Compactación	Moldeo N° 1			Moldeo N° 2			Moldeo N° 3		
Número de Golpes por Capa	55			26			12		
Peso del Molde (gr)	7370.00			7370.00			7230.00		
Peso del Molde + Muestra Compactada (gr)	11665.00			11555.00			11215.00		
Peso de la Muestra Compactada (gr)									
Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )									
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )									
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>Arriba</b>	<b>Medio</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Medio</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Medio</b>	<b>Abajo</b>
Peso de Capsula (gr)	19.05	18.00	18.11	19.94	15.97	15.73	16.82	18.20	18.84
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	86.14	90.80	109.30	95.09	109.94	76.03	91.91	98.30	100.14
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	76.21	79.96	95.86	83.99	96.00	67.18	80.85	86.44	88.22
Peso del Agua (gr)									
Peso de la Muestra Seca (gr)									
Contenido de Humedad									
Contenido de Humedad Promedio									

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)





Tabla 76 Registro de Datos para Ensayo de CBR de Absorción y Expansión de Muestra de Suelo Arcilloso con 3% Colofonia de Pino

	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
CBR DE SUELOS EN LABORATORIO MTC - E 132		
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA AV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".	
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAQ - CUSCO

UBICACIÓN: APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

MUESTRA: Alterada  
% DE COLOFONIA: 3.00%


Ensayo de Absorción		Moledo N° 4 / 55 Golpes			Moledo N° 5 / 26 Golpes			Moledo N° 6 / 12 Golpes		
Peso del Molde (gr)		8314.00			6837.00			7325.00		
Peso del Molde + Muestra Compactada, antes de la inmersión (gr)		12479.50			10863.00			11195.00		
Peso del Molde + Muestra Compactada, después de la inmersión (gr)		12672.50			11144.50			11580.00		
Peso del Agua Absorbida (gr)										
Peso de la Muestra Compactada, antes de la inmersión (gr)										
Peso de la Muestra Compactada, después de la inmersión (gr)										
Peso de la Muestra Seca (gr)										
Porcentaje de Absorción										
Contenido de Humedad después de la Absorción		Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Peso de Capsula (gr)		20.07	26.90	27.25	25.80	25.75	29.00	25.90	25.40	26.35
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)		115.72	84.45	85.00	90.07	114.22	117.99	95.06	110.39	108.46
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)		97.39	73.50	73.90	77.10	96.40	99.95	79.65	91.50	90.10
Peso del Agua (gr)										
Peso de la Muestra Seca (gr)										
Contenido de Humedad										
Contenido de Humedad Promedio										
Porcentaje de Absorción										
Porcentaje de Absorción Promedio										

Ensayo de Expansión			Moledo N° 4 / 55 Golpes			Moledo N° 5 / 26 Golpes			Moledo N° 6 / 12 Golpes		
Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido	Dial	Deform	% de	Dial	Deform	% de	Dial	Deform	% de
		Horas	0.01 mm	mm	Expans.	0.01 mm	mm	Expans.	0.01 mm	mm	Expans.
9 de Enero de 2022	19:00	0 h 00 min	0			0			0		
10 de Enero de 2022	07:00	12 h 00 min	291			314			365		
10 de Enero de 2022	19:00	24 h 00 min	375			405			492		
11 de Enero de 2022	19:00	48 h 00 min	394			426			541		
13 de Enero de 2022	19:00	96 h 00 min	454			547			643		

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 77 Registro de Datos para Ensayo de CBR de Penetraciones de Suelo Arcilloso con 3% Colofonia de Pino

	<b>Universidad Andina del Cusco</b>	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
		<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
		CBR DE SUELOS EN LABORATORIO MTC - E 132	
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".		
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

**UBICACIÓN:** APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco


**MUESTRA:** Alterada  
**% DE COLOFONIA:** 3.00%

Ensayo de Penetración			Moldeo N° 4 / 55 Golpes				Moldeo N° 5 / 26 Golpes				Moldeo N° 6 / 12 Golpes			
Carga Unitaria Patrón	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%
	0	0.000	0				0				0			
	25	0.635	6				4				3			
	50	1.270	9				6				5			
	75	1.905	12.5				9				7			
70.31	100	2.540	16				12				9			
	125	3.175	19				14				11			
	150	3.810	21.5				16				12			
105.46	200	5.080	26				19				15			
	300	7.620	31				23				18			
	400	10.160	34				25				19			
	500	12.700	36				26				20			

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 78 Registro de Datos para Ensayo de CBR del Moldeo de Muestra de Suelo Arcilloso con 5% Colofonia de Pino

	<b>Universidad Andina del Cusco</b>		<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
			<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
		CBR DE SUELOS EN LABORATORIO		
		MTC - E 132		
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".			
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO	
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO	

UBICACIÓN: APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

MUESTRA: Alterada  
% DE COLOFONIA: 5.00%

RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)

MTC E 132 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193

Datos del Ensayo Proctor Modificado	Datos del Anillo y Pistón de Carga	Datos del Molde CBR
Densidad Seca Máxima =	Constante del Anillo de Carga = $A_0 + (A_1 * X) + (A_2 * X^2) + (A_3 * X^3)$	Diámetro = 15.23 cm
Contenido Humedad Óptimo = #¡VALOR!	A0 = -2.57E-01      A2 = -3.05E-05	Altura = 17.78 cm
Suelo - SUCS = CL	A1 = 6.50E-02      A3 = 1.63E-08	Altura de la Muestra = 11.63 cm
Suelo - AASHTO = A-7-6 (12) :	Altura del Pistón = 17.10 cm	Altura del Collarín = 11.63 cm
	Área del Pistón = 20.27 cm <sup>2</sup>	Volumen = 2118.70 cm <sup>3</sup>


Ensayo de Compactación	Moldeo N° 1			Moldeo N° 2			Moldeo N° 3		
Número de Golpes por Capa	55			26			12		
Peso del Molde (gr)	7335.00			7385.00			7380.00		
Peso del Molde + Muestra Compactada (gr)	11575.00			11455.00			11235.00		
Peso de la Muestra Compactada (gr)									
Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )									
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )									
Contenido de Humedad	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Peso de Capsula (gr)	19.87	20.17	18.85	20.50	15.09	20.37	17.75	15.59	19.22
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	97.55	76.46	73.42	98.07	98.43	77.34	93.69	86.47	93.56
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	86.23	68.20	65.53	86.79	86.25	69.12	82.68	76.13	82.84
Peso del Agua (gr)									
Peso de la Muestra Seca (gr)									
Contenido de Humedad									
Contenido de Humedad Promedio									

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)





Tabla 79 Registro de Datos para Ensayo de CBR de Absorción y Expansión de Muestra de Suelo Arcilloso con 5% Colofonia de Pino

	<b>Universidad Andina del Cusco</b>		<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>		
			<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>		
		CBR DE SUELOS EN LABORATORIO MTC - E 132			
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".				
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO		
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P.S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO		

UBICACIÓN: APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

MUESTRA: Alterada  
% DE COLOFONIA: 5.00%


Ensayo de Absorción	Moldeo N° 4 / 55 Golpes			Moldeo N° 5 / 26 Golpes			Moldeo N° 6 / 12 Golpes		
Peso del Molde (gr)	7265.00			7235.00			7225.00		
Peso del Molde + Muestra Compactada, antes de la inmersión (gr)	11505.00			11225.00			11080.00		
Peso del Molde + Muestra Compactada, después de la inmersión (gr)	11655.00			11475.00			11385.00		
Peso del Agua Absorbida (gr)									
Peso de la Muestra Compactada, antes de la inmersión (gr)									
Peso de la Muestra Compactada, después de la inmersión (gr)									
Peso de la Muestra Seca (gr)									
Porcentaje de Absorción									
Contenido de Humedad después de la Absorción	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Peso de Capsula (gr)	20.29	29.90	25.45	30.15	25.35	29.30	28.10	25.35	30.80
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	110.36	79.11	98.86	107.04	98.62	85.87	113.28	91.41	91.57
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	93.54	70.00	85.10	92.05	84.40	74.80	95.65	77.80	78.95
Peso del Agua (gr)									
Peso de la Muestra Seca (gr)									
Contenido de Humedad									
Contenido de Humedad Promedio									
Porcentaje de Absorción									
Porcentaje de Absorción Promedio									

Ensayo de Expansión			Moldeo N° 4 / 55 Golpes			Moldeo N° 5 / 26 Golpes			Moldeo N° 6 / 12 Golpes		
Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido	Dial	Deform	% de	Dial	Deform	% de	Dial	Deform	% de
		Horas	0.01 mm	mm	Expans.	0.01 mm	mm	Expans.	0.01 mm	mm	Expans.
9 de Enero de 2022	19:00	0 h 00 min	0			0			0		
10 de Enero de 2022	07:00	12 h 00 min	215			342			344		
10 de Enero de 2022	19:00	24 h 00 min	324			430			532		
11 de Enero de 2022	19:00	48 h 00 min	345			455			552		
13 de Enero de 2022	19:00	96 h 00 min	397			512			619		

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 80 Registro de Datos para Ensayo de CBR de Penetraciones de Suelo Arcilloso con 5% Colofonia de Pino

	<b>Universidad Andina del Cusco</b>	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
		<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
		CBR DE SUELOS EN LABORATORIO MTC - E 132	
<b>TESIS:</b> "INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".			
<b>RESPONSABLES:</b> BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ		<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO	
<b>FECHA:</b> ENERO DEL 2022		<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO	

UBICACIÓN: APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco


MUESTRA: Alterada  
% DE COLOFONIA: 5.00%

Ensayo de Penetración			Moldeo N° 4 / 55 Golpes				Moldeo N° 5 / 26 Golpes				Moldeo N° 6 / 12 Golpes			
Carga Unitaria Patrón	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%
	0	0.000	0				0				0			
	25	0.635	6				5				4			
	50	1.270	10				8				6			
	75	1.905	14				11				8			
70.31	100	2.540	18				14				10			
	125	3.175	22				17				12			
	150	3.810	24.5				19				14			
105.46	200	5.080	28.5				23				17			
	300	7.620	35				27				20			
	400	10.160	38				30				22			
	500	12.700	41				31				23			

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 81 Registro de Datos para Ensayo de CBR del Moldeo de Muestra de Suelo Arcilloso con 7% Colofonia de Pino

	<b>Universidad Andina del Cusco</b>		<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
			<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
		CBR DE SUELOS EN LABORATORIO		
		MTC - E 132		
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".			
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO	
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO	

UBICACIÓN: APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

MUESTRA: Alterada

% DE COLOFONIA: 7.00%

RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)

MTC E 132 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193


Datos del Ensayo Proctor Modificado	Datos del Anillo y Pistón de Carga	Datos del Molde CBR
Densidad Seca Máxima =	Constante del Anillo de Carga = $A0 + (A1 \cdot X) + (A2 \cdot X^2) + (A3 \cdot X^3)$	Diámetro = 15.23 cm
Contenido Humedad Óptimo =	A0 = -2.57E-01      A2 = -3.05E-05	Altura = 17.78 cm
Suelo - SUCS = CL	A1 = 6.50E-02      A3 = 1.63E-08	Altura de la Muestra = 11.63 cm
Suelo - AASHTO = A-7-6 (12) :	Áltura del Pistón = 17.10 cm	Altura del Collarín = 11.63 cm
	Área del Pistón = 20.27 cm <sup>2</sup>	Volumen = 2118.70 cm <sup>3</sup>

Ensayo de Compactación	Moldeo N° 1			Moldeo N° 2			Moldeo N° 3		
Número de Golpes por Capa	55			26			12		
Peso del Molde (gr)	7370.00			7285.00			7300.00		
Peso del Molde + Muestra Compactada (gr)	11555.00			11355.00			11185.00		
Peso de la Muestra Compactada (gr)									
Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )									
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )									
Contenido de Humedad	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Peso de Capsula (gr)	20.73	18.09	16.73	19.62	18.07	20.99	15.55	18.57	16.83
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	88.18	85.32	77.90	107.56	99.80	100.64	91.95	107.79	86.05
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	78.51	75.62	69.19	94.99	88.05	89.31	81.05	95.01	76.24
Peso del Agua (gr)									
Peso de la Muestra Seca (gr)									
Contenido de Humedad									
Contenido de Humedad Promedio									

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 82 Registro de Datos para Ensayo de CBR de Absorción y Expansión de Muestra de Suelo Arcilloso con 7% Colofonia de Pino

	<b>Universidad Andina del Cusco</b>		<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>		
			<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>		
		CBR DE SUELOS EN LABORATORIO MTC - E 132			
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".				
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO		
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P.S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO		

UBICACIÓN: APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

MUESTRA: Alterada  
% DE COLOFONIA: 7.00%

Ensayo de Absorción	Moldeo N° 4 / 55 Golpes			Moldeo N° 5 / 26 Golpes			Moldeo N° 6 / 12 Golpes		
Peso del Molde (gr)	7350.00			7400.00			7350.00		
Peso del Molde + Muestra Compactada, antes de la inmersión (gr)	11535.00			11470.00			11235.00		
Peso del Molde + Muestra Compactada, después de la inmersión (gr)	11705.00			11690.00			11480.00		
Peso del Agua Absorbida (gr)									
Peso de la Muestra Compactada, antes de la inmersión (gr)									
Peso de la Muestra Compactada, después de la inmersión (gr)									
Peso de la Muestra Seca (gr)									
Porcentaje de Absorción									
Contenido de Humedad después de la Absorción	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Peso de Capsula (gr)	19.88	29.00	27.40	28.90	27.20	29.15	25.90	30.45	26.80
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	103.56	92.34	81.34	112.70	89.16	92.23	115.15	97.85	101.85
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	88.82	81.25	71.80	97.10	77.70	80.45	97.90	84.90	87.30
Peso del Agua (gr)									
Peso de la Muestra Seca (gr)									
Contenido de Humedad									
Contenido de Humedad Promedio									
Porcentaje de Absorción									
Porcentaje de Absorción Promedio									

Ensayo de Expansión			Moldeo N° 4 / 55 Golpes			Moldeo N° 5 / 26 Golpes			Moldeo N° 6 / 12 Golpes		
Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido	Dial	Deform	% de	Dial	Deform	% de	Dial	Deform	% de
		Horas	0.01 mm	mm	Expans.	0.01 mm	mm	Expans.	0.01 mm	mm	Expans.
9 de Enero de 2022	19:00	0 h 00 min	0			0			0		
10 de Enero de 2022	07:00	12 h 00 min	167			215			301		
10 de Enero de 2022	19:00	24 h 00 min	215			287			407		
11 de Enero de 2022	19:00	48 h 00 min	293			378			506		
13 de Enero de 2022	19:00	96 h 00 min	351			455			561		

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 83 Registro de Datos para Ensayo de CBR de Penetraciones de Suelo Arcilloso con 7% Colofonia de Pino



Universidad  
Andina  
del Cusco

		<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
		<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
		CBR DE SUELOS EN LABORATORIO MTC - E 132	
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".		
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

UBICACIÓN: APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

MUESTRA: Alterada  
% DE COLOFONIA: 7.00%

Ensayo de Penetración			Moldeo N° 4 / 55 Golpes				Moldeo N° 5 / 26 Golpes				Moldeo N° 6 / 12 Golpes			
Carga Unitaria Patrón	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%
	0	0.000	0				0				0			
	25	0.635	8				6				4			
	50	1.270	12				9				6			
	75	1.905	16				12				9			
70.31	100	2.540	20				16				12			
	125	3.175	23				19				15			
	150	3.810	26				21				17			
105.46	200	5.080	31				25				20			
	300	7.620	38				31				24			
	400	10.160	44				35				28			
	500	12.700	49				39				30			

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



### 3.6. Procedimientos de Análisis de Datos

#### 3.6.1. Determinación del Contenido de Humedad (MTC E-108)

- **Procesamiento del Ensayo**

Para la determinación del Contenido de Humedad se aplica la siguiente formula:

$$W (\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_t} * 100 = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Donde:

W : Porcentaje de humedad (%)

W<sub>w</sub> : Peso del agua (gr)

W<sub>s</sub> : Peso de la muestra seca (gr)


W<sub>1</sub> : Peso de la capsula más la muestra húmeda (gr)

W<sub>2</sub> : Peso de la capsula más la muestra seca (gr)

W<sub>t</sub> : Peso de la capsula (gr)

- **Procesamiento de Datos y Gráficas del Ensayo**

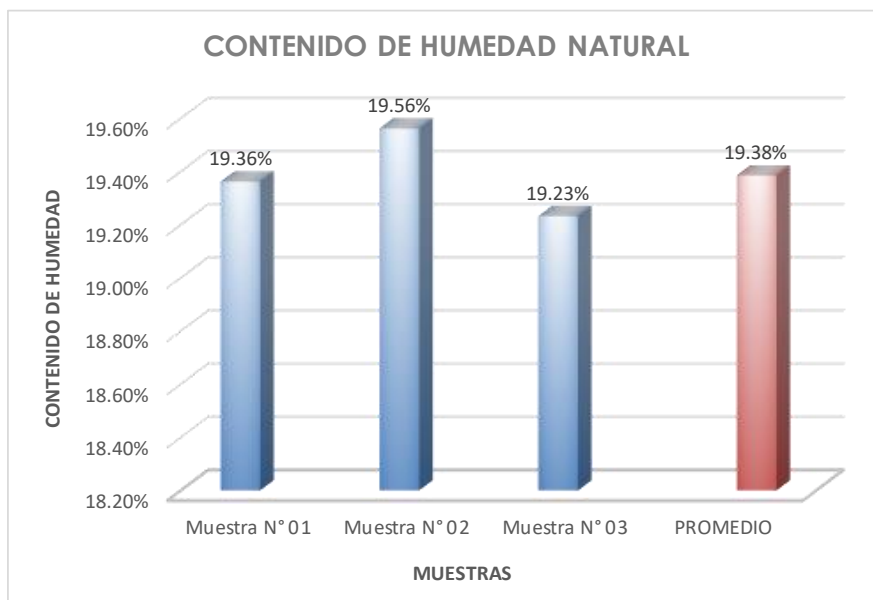
Tabla 84 Contenido de Humedad del Estrato 01 - Calicata 01

	<b>Universidad Andina del Cusco</b>	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
		<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
Determinación del Contenido de Humedad de un Suelo MTC - E 108			
<b>TESIS:</b> "INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO".			
<b>RESPONSABLES:</b> BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ		<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO	
<b>FECHA:</b> ENERO DEL 2022		<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N- 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO	
<b>UBICACIÓN:</b> APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco		<b>PROGRESIVA:</b> 1 + 250 Km. <b>CALICATA:</b> C - 01 <b>ESTRATO:</b> E - 01	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL EN SUELOS</b>			
MTC E 108 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-2216			
<b>Descripción</b>	<b>Muestra N° 01</b>	<b>Muestra N° 02</b>	<b>Muestra N° 03</b>
Peso de Capsula (gr)	18.35	17.51	18.63
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	74.45	100.94	83.48
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	65.35	87.29	73.02
Peso del Agua (gr)	9.10	13.65	10.46
Peso de la Muestra Seca (gr)	47.00	69.78	54.39
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>19.36%</b>	<b>19.56%</b>	<b>19.23%</b>

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 85 Gráfico de Contenido de Humedad del Estrato 01 - Calicata 01



**CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 19.38%**

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)

Tabla 86 Contenido de Humedad del Estrato 01 - Calicata 02



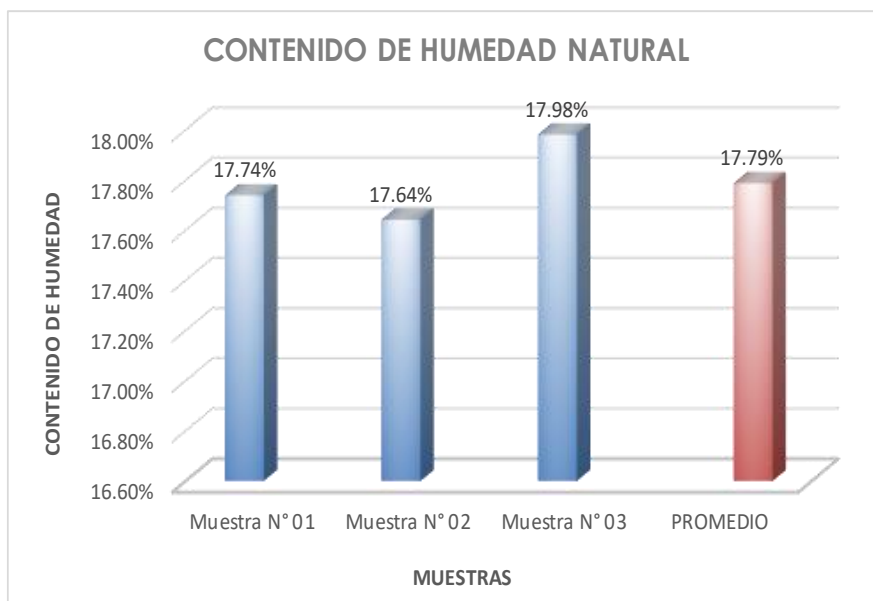
Facultad de Ingeniería y Arquitectura			
Escuela Profesional de Ingeniería Civil			
Determinación del Contenido de Humedad de un Suelo MTC - E 108			
<b>TESIS:</b> "INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".			
<b>RESPONSABLES:</b> BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO		
<b>FECHA:</b> ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO		
<b>UBICACIÓN:</b> APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco	<b>PROGRESIVA:</b> 0 + 850 Km. <b>CALICATA:</b> C - 02 <b>ESTRATO:</b> E - 01		
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL EN SUELOS			
MTC E 108 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-2216			
Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03
Peso de Capsula (gr)	17.89	19.88	19.97
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	76.10	99.57	88.93
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	67.33	87.62	78.42
Peso del Agua (gr)	8.77	11.95	10.51
Peso de la Muestra Seca (gr)	49.44	67.74	58.45
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>17.74%</b>	<b>17.64%</b>	<b>17.98%</b>

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)





Tabla 87 Gráfico de Contenido de Humedad del Estrato 01 - Calicata 02



**CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 17.79%**

*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*

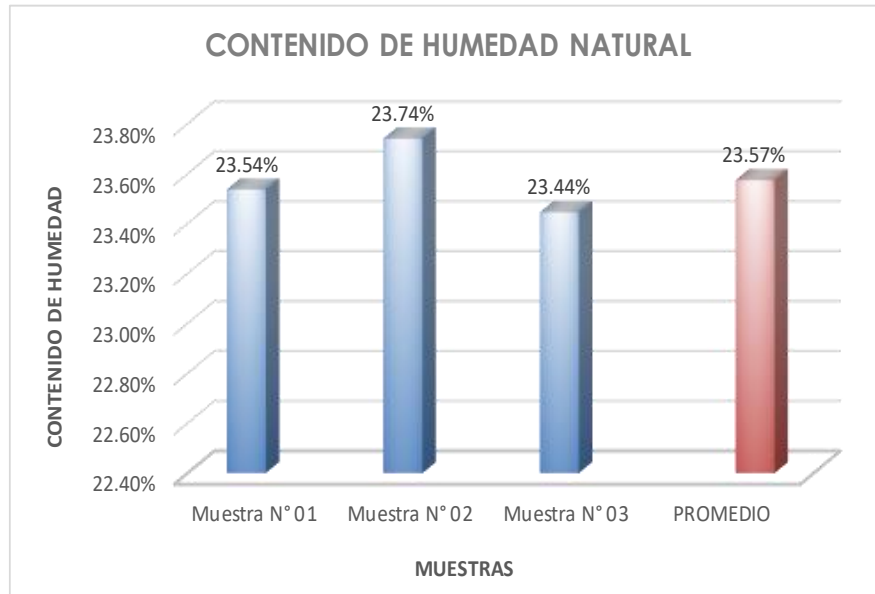
Tabla 88 Contenido de Humedad del Estrato 01 - Calicata 03



Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil			
Determinación del Contenido de Humedad de un Suelo MTC - E 108			
<b>TESIS:</b> "INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".			
<b>RESPONSABLES:</b> BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO		
<b>FECHA:</b> ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO		
<b>UBICACIÓN:</b> APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco	<b>PROGRESIVA:</b> 0 + 300 Km. <b>CALICATA:</b> C - 03 <b>ESTRATO:</b> E - 01		
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL EN SUELOS</b>			
MTC E 108 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-2216			
Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03
Peso de Capsula (gr)	17.87	18.65	20.83
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	108.78	104.08	109.13
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	91.46	87.69	92.36
Peso del Agua (gr)	17.32	16.39	16.77
Peso de la Muestra Seca (gr)	73.59	69.04	71.53
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>23.54%</b>	<b>23.74%</b>	<b>23.44%</b>

*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*

Tabla 89 Gráfico de Contenido de Humedad del Estrato 01 - Calicata 03



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 23.57%

*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*

- **Análisis de la Prueba:**

En base al procedimiento de los datos y su representación mediante sus gráficos se obtuvo un alto contenido de humedad promedio de 23.57% en la Calicata C-03, respecto a las calicatas C-01 y C-02 corresponden valores de 19.38% y 17.79% respectivamente.

Cabe recalcar que se determinaron los contenidos de humedad de los estratos E1 de todas las calicatas las cuales son una Arcilla Ligera de Baja Plasticidad CL, material objeto de estudio de la presente investigación.

### 3.6.2. Análisis Granulométrico de suelos por Tamizado (MTC E-107)

- **Procesamiento del Ensayo**

Luego de realizado el tamizado se determina el porcentaje retenido para cada uno de los tamices, mediante la siguiente formula:

$$\%Retenido = \frac{\text{Peso retenido parcial}}{\text{Peso total}} * 100$$



También se determinó el porcentaje pasante o de finos, porcentaje en masa de todas las partículas (granos) de menor tamaño que la abertura de un determina tamiz. Se determina como la diferencia entre el 100% y el porcentaje acumulado retenido en ese tamiz.

$$\%QuePasa = 100\% - \%Retenido Acumulado$$

Un parámetro importante que deriva de este análisis es el Coeficiente de Curvatura:

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

Dónde:

$D_x$  : Vendría a ser el tamiz (mm.) por donde pasa el X % de la muestra analizada.

Un suelo bien graduado presenta un Cc entre 1-3, ofreciendo de este modo un porcentaje de vacíos menor, una estabilidad y capacidad portante regular influenciada por la composición mineralógica de sus demás partículas. Otro parámetro importante que deriva de este análisis es el Coeficiente de Uniformidad:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$


El coeficiente determinado inferior a 02 es propio de suelos muy uniformes, mientras que uno inferior a 05 es propio de suelos uniformes.

Para los ensayos de las calicatas en estudio la granulometría no tendrá el Cu y Cc, debido a que más del 12% pasa el tamiz N°200.



• **Procesamiento de Datos y Gráficas del Ensayo**

Tabla 90 Análisis Granulométrico del Estrato 01 - Calicata 01

	<b>Universidad Andina del Cusco</b>		<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
			<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado MTC - E 107				
<b>TESIS:</b> "INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA AV. PRIMAVERA DE LA AV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO".				
<b>RESPONSABLES:</b> BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ		<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO		
<b>FECHA:</b> ENERO DEL 2022		<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO		

**UBICACIÓN:** APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

**PROGRESIVA:** 1 + 250 Km.

**CALICATA:** C - 01

**MUESTRA:** Alterada

**ESTRATO:** E - 01

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

MTC E 107 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-422 y AASHTO T-88

Peso de la Muestra Seca (Antes de Lavar) = 1500.00 gr  
 Peso de la Muestra Seca (Después de Lavar) = 42.50 gr  
 Cálculo del % de Error en Peso = 0.07%  
 Cumple Máx. Error 2 %  
 Si

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso que pasa (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4"	100	0.00	1500.00	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	1500.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	1500.00	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0.00	1500.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	0.00	1500.00	0.00%	0.00%	100.00%
¾"	19	0.00	1500.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.5	0.22	1499.78	0.01%	0.01%	99.99%
Nº 4	4.75	0.00	1499.78	0.00%	0.01%	99.99%
Nº 10	2	0.83	1498.95	0.06%	0.07%	99.93%
Nº 20	0.850	0.84	1498.11	0.06%	0.13%	99.87%
Nº 40	0.425	0.73	1497.38	0.05%	0.17%	99.83%
Nº 60	0.250	2.08	1495.30	0.14%	0.31%	99.69%
Nº 100	0.150	22.51	1472.79	1.50%	1.81%	98.19%
Nº 200	0.075	14.61	1458.18	0.97%	2.79%	97.21%
Cazuela	-	0.65	-	0.04%	2.83%	-
Lavado	-	1457.50	-	97.17%	100.00%	-
<b>Total de la muestra retenida =</b>		<b>42.47</b>		<b>100.00%</b>		

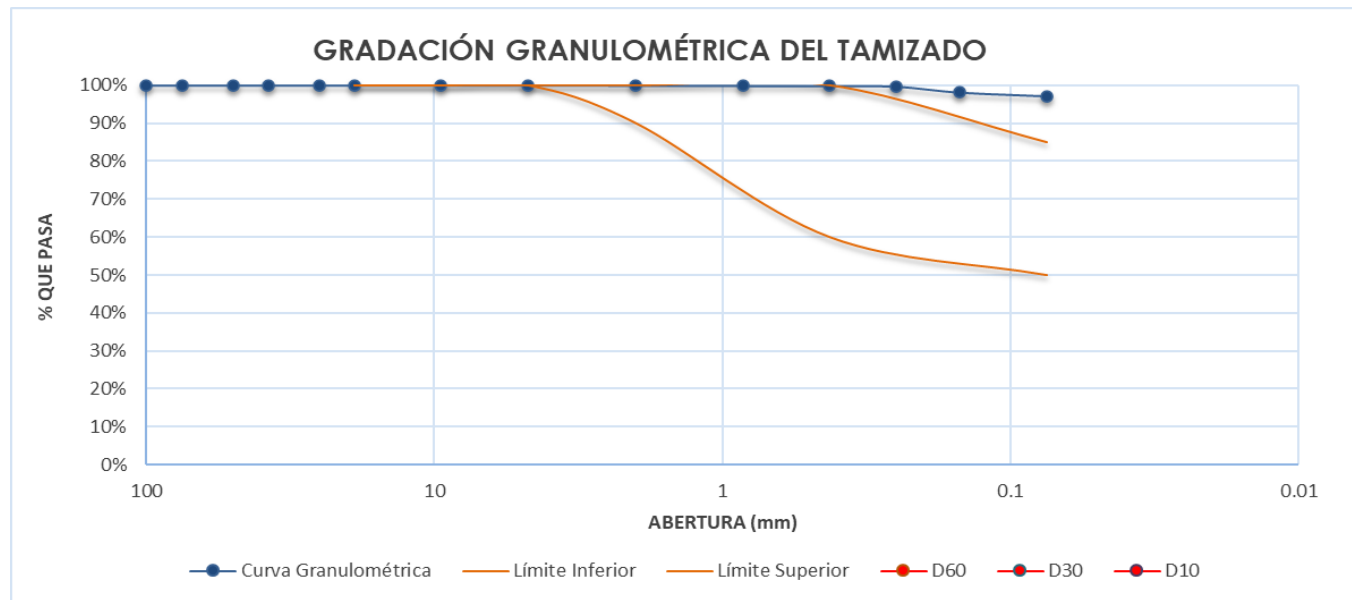
Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 91 Curva Granulométrica del Estrato 01 - Calicata 01

Tipo de Gradación:		
Tamiz	Lím. Inferior	Lím. Superior
2" (50 mm)	100%	100%
1½" (37.5 mm)	100%	100%
1" (25 mm)	100%	100%
¾" (19 mm)	90%	100%
⅜" (9.5 mm)	60%	100%
Nº 4 (4.75 mm)	50%	85%
Nº 10 (2 mm)	40%	70%
Nº 40 (0.425 mm)	25%	45%
Nº 200 (0.075 mm)	8%	15%

Detalles de la Granulometría del Suelos	
Tamaño Máximo Nominal =	-
Tamaño Máximo Absoluto =	¾"
Diámetro Efectivo D60 =	-
Diámetro Efectivo D30 =	-
Diámetro Efectivo D10 =	-
Coefficiente de Curvatura "Cu" =	-
Coefficiente de Uniformidad "Cc" =	-



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 92 Análisis Granulométrico del Estrato 01 - Calicata 02

	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado MTC - E 107		
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO".	
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAQ - CUSCO

**UBICACIÓN:** APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

**PROGRESIVA:** 0 + 850 Km.

**MUESTRA:** Alterada

**CALICATA:** C - 02

**ESTRATO:** E - 01

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

MTC E 107 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-422 y AASHTO T-88

Peso de la Muestra Seca (Antes de Lavar) = 1500.00 gr

Peso de la Muestra Seca (Después de Lavar) = 102.61 gr

Cumple Máx. Error 2 %

Cálculo del % de Error en Peso = 0.83%

Si

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso que pasa (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4"	100	0.00	1500.00	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	1500.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	1500.00	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0.00	1500.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	0.00	1500.00	0.00%	0.00%	100.00%
¾"	19	0.24	1499.76	0.02%	0.02%	99.98%
⅜"	9.5	0.68	1499.08	0.05%	0.06%	99.94%
Nº 4	4.75	1.83	1497.25	0.12%	0.18%	99.82%
Nº 10	2	3.41	1493.84	0.23%	0.41%	99.59%
Nº 20	0.850	4.60	1489.24	0.31%	0.72%	99.28%
Nº 40	0.425	14.99	1474.25	1.00%	1.72%	98.28%
Nº 60	0.250	17.12	1457.13	1.14%	2.86%	97.14%
Nº 100	0.150	39.15	1417.98	2.61%	5.47%	94.53%
Nº 200	0.075	19.24	1398.74	1.28%	6.75%	93.25%
Cazuela	-	0.50	-	0.03%	6.78%	-
Lavado	-	0.78	-	93.22%	100.00%	-
<b>Total de la muestra retenida =</b>		<b>101.76</b>		<b>100.00%</b>		

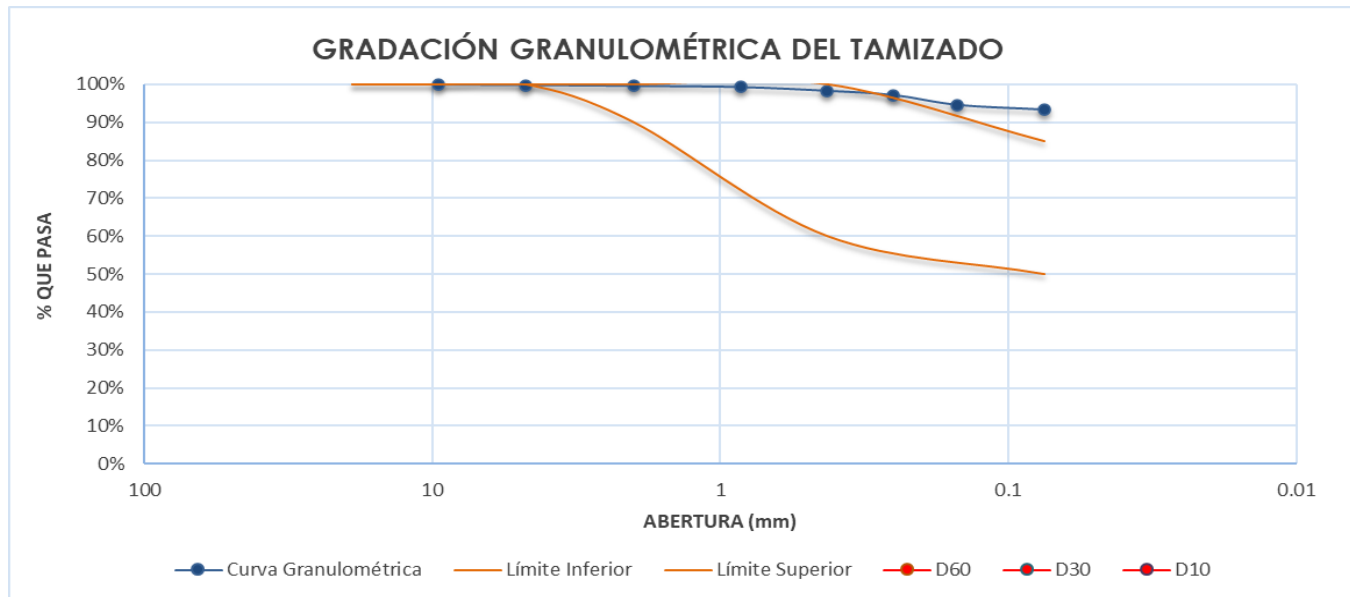
*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*



Tabla 93 Curva Granulométrica del Estrato 01 - Calicata 02

Tipo de Gradación:		D	
Tamiz	Lím. Inferior	Lím. Superior	
2" (50 mm)	100%	100%	
1½" (37.5 mm)	100%	100%	
1" (25 mm)	100%	100%	
¾" (19 mm)	90%	100%	
⅜" (9.5 mm)	60%	100%	
Nº 4 (4.75 mm)	50%	85%	
Nº 10 (2 mm)	40%	70%	
Nº 40 (0.425 mm)	25%	45%	
Nº 200 (0.075 mm)	8%	15%	

Detalles de la Granulometría del Suelos	
Tamaño Máximo Nominal =	-
Tamaño Máximo Absoluto =	1"
Diámetro Efectivo D60 =	-
Diámetro Efectivo D30 =	-
Diámetro Efectivo D10 =	-
Coefficiente de Curvatura "Cu" =	-
Coefficiente de Uniformidad "Cc" =	-



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 94 Análisis Granulométrico del Estrato 01 - Calicata 03



Universidad  
Andina  
del Cusco

Facultad de Ingeniería y Arquitectura  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil

Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado  
MTC - E 107

<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".		
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

**UBICACIÓN:** APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

**PROGRESIVA:** 0 + 300 Km.

**MUESTRA:** Alterada

**CALICATA:** C - 03

**ESTRATO:** E - 01

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

MTC E 107 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-422 y AASHTO T-88

Peso de la Muestra Seca (Antes de Lavar) = 1500.00 gr  
 Peso de la Muestra Seca (Después de Lavar) = 73.02 gr  
 Cálculo del % de Error en Peso = 0.85%  
 Cumple Máx. Error 2 %  
 Si

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso que pasa (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4"	100	0.00	1500.00	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	1500.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	1500.00	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0.00	1500.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	0.00	1500.00	0.00%	0.00%	100.00%
¾"	19	0.00	1500.00	0.00%	0.00%	100.00%
⅜"	9.5	0.00	1500.00	0.00%	0.00%	100.00%
Nº 4	4.75	2.16	1497.84	0.14%	0.14%	99.86%
Nº 10	2	1.27	1496.57	0.08%	0.23%	99.77%
Nº 20	0.850	0.93	1495.64	0.06%	0.29%	99.71%
Nº 40	0.425	0.81	1494.83	0.05%	0.34%	99.66%
Nº 60	0.250	5.03	1489.80	0.34%	0.68%	99.32%
Nº 100	0.150	32.68	1457.12	2.18%	2.86%	97.14%
Nº 200	0.075	28.09	1429.03	1.87%	4.73%	95.27%
Cazuela	-	1.43	-	0.10%	4.83%	-
Lavado	-	1426.98	-	95.17%	100.00%	-
<b>Total de la muestra retenida =</b>		<b>72.40</b>		<b>100.00%</b>		

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)





Tabla 95 Curva Granulométrica del Estrato 01 - Calicata 03

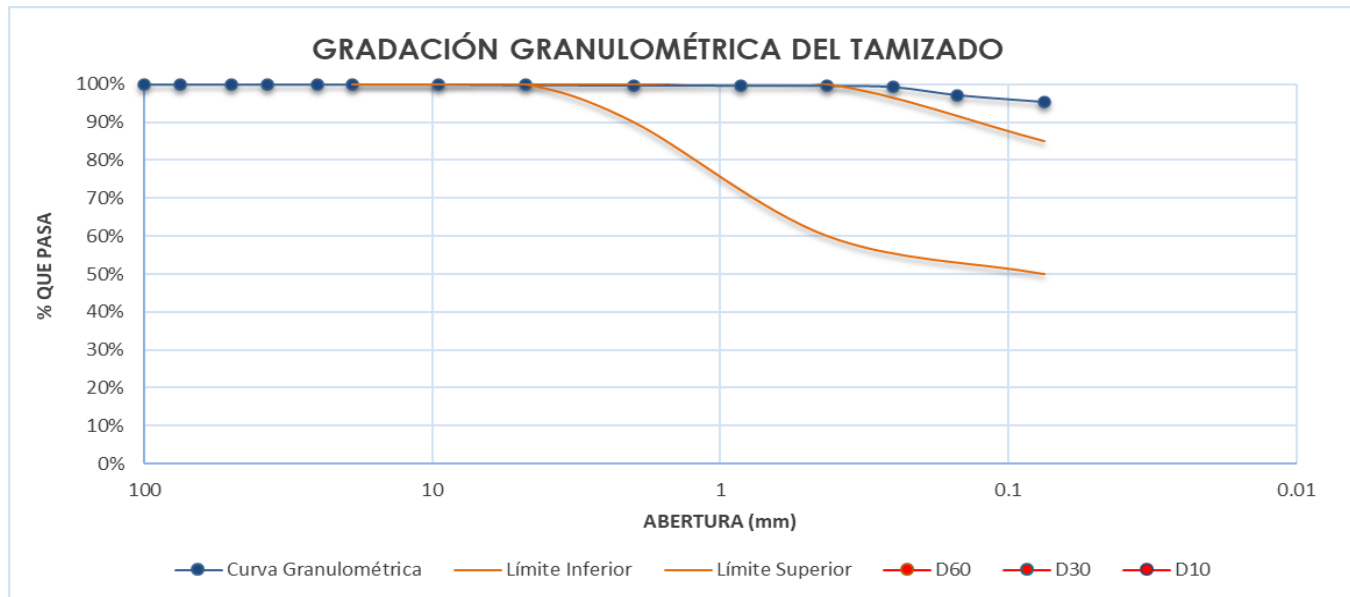
Tipo de Gradación:		D	
Tamiz	Lím. Inferior	Lím. Superior	
2" (50 mm)	100%	100%	
1½" (37.5 mm)	100%	100%	
1" (25 mm)	100%	100%	
¾" (19 mm)	90%	100%	
⅜" (9.5 mm)	60%	100%	
Nº 4 (4.75 mm)	50%	85%	
Nº 10 (2 mm)	40%	70%	
Nº 40 (0.425 mm)	25%	45%	
Nº 200 (0.075 mm)	8%	15%	

Detalles de la Granulometría del Suelos

Tamaño Máximo Nominal =	-
Tamaño Máximo Absoluto =	3/8"

Diámetro Efectivo D60 =	-
Diámetro Efectivo D30 =	-
Diámetro Efectivo D10 =	-

Coefficiente de Curvatura "Cu" =	-
Coefficiente de Uniformidad "Cc" =	-



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



- **Análisis del Ensayo**

En base al procedimiento de los datos y su representación mediante sus gráficos las calicatas C-02 y C-03 poseen una granulometría similar con un porcentaje de finos del 93.25% y 95.27% respectivamente, por su parte la calicata C-01 posee un porcentaje de finos del 97.21% siendo esta la calicata más crítica por su gran presencia de material fino, material idóneo para el objeto de estudio de la presente investigación.

Luego de la adición del material mejorante al 3%, 5% y 7% sobre las muestras de suelo arcilloso no se presentó ninguna variación, debido principalmente a que se trabajó con la Colofonia de Pino triturada en granos muy finos pasantes de la malla N°200.

### 3.6.3. Determinación de los Límites de Consistencia (MTC E-110 y MTC E-111)

- **Procesamiento del Ensayo**

El cálculo del porcentaje de humedad se realizó con la siguiente expresión:

$$W = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo secado al horno}} * 100 \rightarrow W = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} = \frac{M_W}{M_S} * 100$$

Donde:

W : Porcentaje de humedad (%)

M<sub>cws</sub> : Peso de la capsula más muestra húmeda (gr)

M<sub>cs</sub> : Peso de la capsula más la muestra seca (gr)

M<sub>c</sub> : Peso de la capsula (gr)

M<sub>w</sub> : Peso del agua (gr)

M<sub>s</sub> : Peso de la muestra seca (gr)

#### **Límite Líquido**

Luego de obtener los datos en laboratorio se procedió a realizar la gráfica semilogarítmica con los contenidos de humedad como ordenadas sobre la escala aritmética y los números de golpes en las abscisas en escala logarítmica. Para luego trazar la línea recta tendencial que pase por los puntos de la gráfica.



Se consideró el contenido de humedad correspondiente a la intersección en la recta de la abscisa de 25 golpes, el cual representa el límite líquido de la muestra, este deberá ser un número entero.

### **Límite Plástico**

Se calculan los porcentajes de humedad de igual manera que el Ensayo de Contenido de Humedad, para lo cual se determinó un porcentaje de humedad promedio el cual deberá ser un número entero.

### **Índice de Plasticidad**

Luego de obtener el Límite Plástico y el Límite Líquido se podrá obtener el Índice de Plasticidad el cual está determinado por la siguiente fórmula:

$$IP = LL - LP$$


Donde:

- IP : Índice de plasticidad (%)
- LL : Límite líquido (%)
- LP : Límite plástico (%)



• **Procesamiento de Datos y Gráficas del Ensayo**

Tabla 96 Límite Líquido de Estrato 01 - Calicata 01

	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
Determinación del Límite Líquido de los Suelos MTC - E 110		
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO".	
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P.S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

UBICACIÓN: APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

PROGRESIVA: 1 + 250 Km.

CALICATA: C - 01

MUESTRA: Alterada

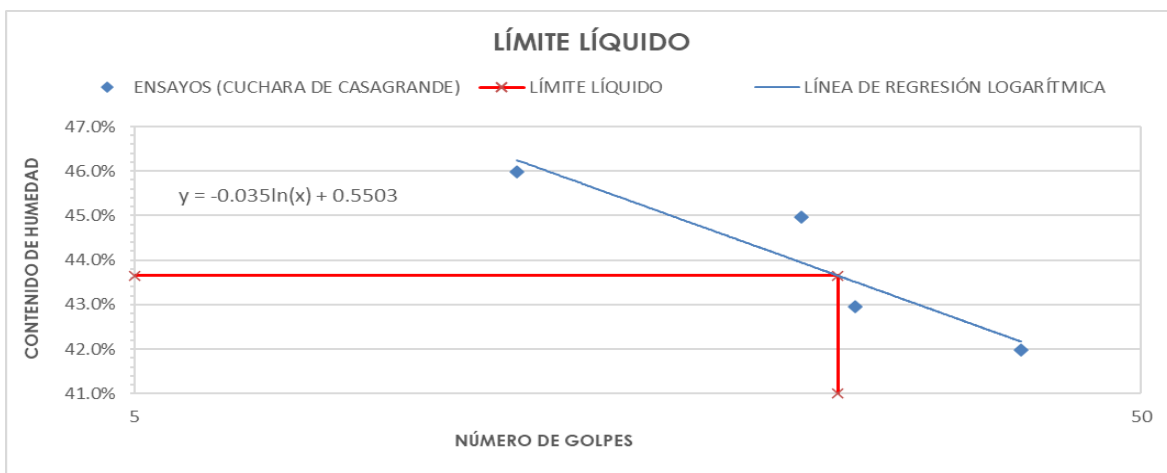
ESTRATO: E - 01

**LÍMITE LÍQUIDO**

MTC E 110 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89

Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03	Muestra N° 04
Número de Golpes	38	26	23	12
Peso de Capsula (gr)	9.52	10.75	7.21	9.91
Peso de Capsula + Muestra Húmeda	23.93	22.50	24.07	25.72
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	19.67	18.97	18.84	20.74
Peso del Agua (gr)	4.26	3.53	5.23	4.98
Peso de la Muestra Seca (gr)	10.15	8.22	11.63	10.83
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>41.97%</b>	<b>42.94%</b>	<b>44.97%</b>	<b>45.98%</b>


Límite Líquido = 43.65%



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 97 Límite Plástico de Estrato 01 - Calicata 01

	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
Determinación del Límite Plástico de los Suelos e Índice de Plasticidad MTC - E 111		
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO".	
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

**LÍMITE PLÁSTICO**

MTC E 111 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90

Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03
Peso de Capsula (gr)	8.89	9.90	8.50
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	16.94	18.32	16.64
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	15.33	16.64	15.01
Peso del Agua (gr)	1.61	1.68	1.63
Peso de la Muestra Seca (gr)	6.44	6.74	6.51
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>25.00%</b>	<b>24.93%</b>	<b>25.04%</b>

**Límite Plástico = 24.99%**



<b>Límite Líquido =</b>	<b>44%</b>
<b>Límite Plástico =</b>	<b>25%</b>
<b>Índice de Plasticidad =</b>	<b>19%</b>

*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*



Tabla 98 Límite Líquido de Estrato 01 - Calicata 02

	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
Determinación del Límite Líquido de los Suelos MTC - E 110		
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO".	
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

**UBICACIÓN:** APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

**PROGRESIVA:** 0 + 850 Km.

**CALICATA:** C - 02

**MUESTRA:** Aterada

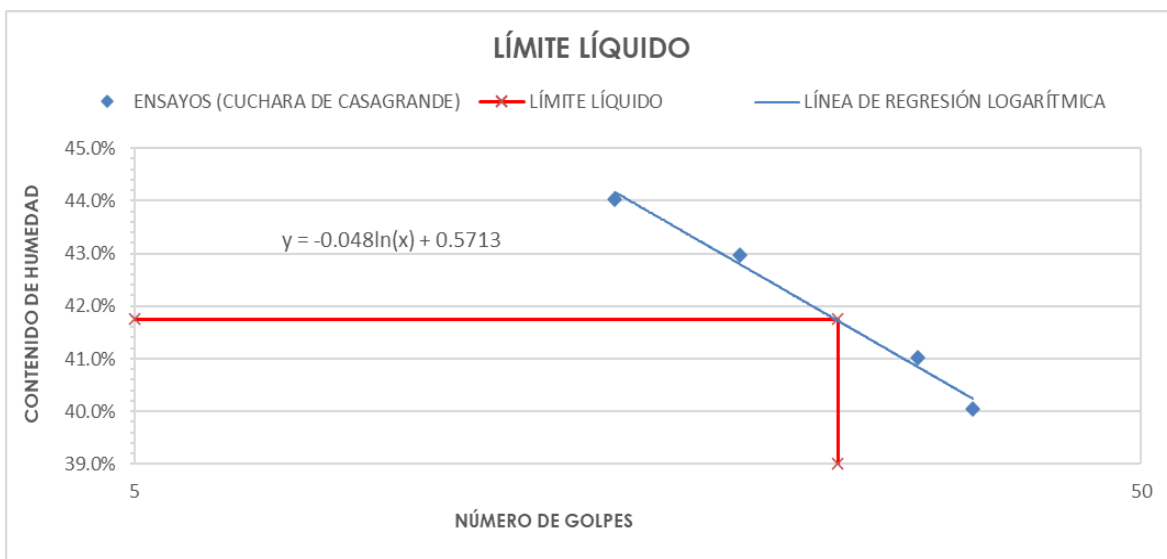
**ESTRATO:** E - 01

**LÍMITE LÍQUIDO**

MTC E 110 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89

Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03	Muestra N° 04
<b>Número de Golpes</b>	<b>34</b>	<b>30</b>	<b>20</b>	<b>15</b>
Peso de Capsula (gr)	10.45	7.09	11.79	11.57
Peso de Capsula + Muestra Húmeda	24.44	25.69	20.24	21.32
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	20.44	20.28	17.70	18.34
Peso del Agua (gr)	4.00	5.41	2.54	2.98
Peso de la Muestra Seca (gr)	9.99	13.19	5.91	6.77
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>40.04%</b>	<b>41.02%</b>	<b>42.98%</b>	<b>44.02%</b>


Límite Líquido = 41.75%



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 99 Límite Plástico de Estrato 01 - Calicata 02

	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
Determinación del Límite Plástico de los Suelos e Índice de Plasticidad MTC - E 111		
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO".	
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

**LÍMITE PLÁSTICO**  
MTC E 111 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90

Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03
Peso de Capsula (gr)	8.99	9.88	9.96
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	11.53	13.54	11.81
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	11.04	12.83	11.45
Peso del Agua (gr)	0.49	0.71	0.36
Peso de la Muestra Seca (gr)	2.05	2.95	1.49
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>23.90%</b>	<b>24.07%</b>	<b>24.16%</b>
<b>Límite Plástico =</b>			<b>24.04%</b>



<b>Límite Líquido =</b>	<b>42%</b>
<b>Límite Plástico =</b>	<b>24%</b>
<b>Índice de Plasticidad =</b>	<b>18%</b>

*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*



Tabla 100 Límite Líquido de Estrato 01 - Calicata 03

	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
Determinación del Límite Líquido de los Suelos MTC - E 110		
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO".	
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

UBICACIÓN: APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

PROGRESIVA: 0 + 300 Km.

CALICATA: C - 03

MUESTRA: Alterada

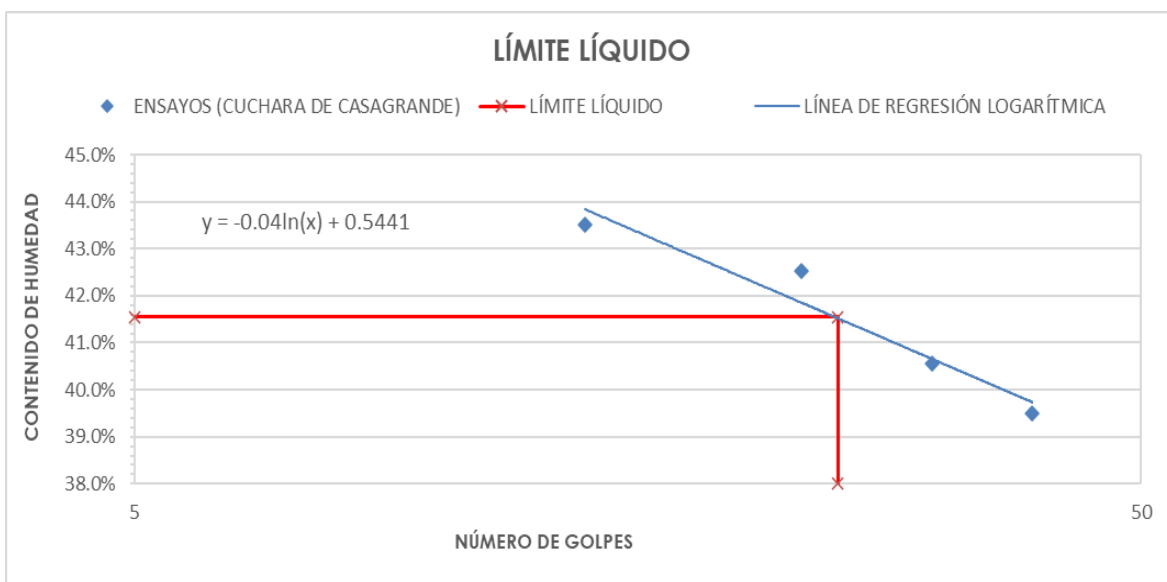
ESTRATO: E - 01

**LÍMITE LÍQUIDO**

MTC E 110 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89

Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03	Muestra N° 04
Número de Golpes	39	31	23	14
Peso de Capsula (gr)	10.37	11.02	7.46	7.37
Peso de Capsula + Muestra Húmeda	20.33	20.24	22.41	21.88
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	17.51	17.58	17.95	17.48
Peso del Agua (gr)	2.82	2.66	4.46	4.40
Peso de la Muestra Seca (gr)	7.14	6.56	10.49	10.11
Contenido de Humedad	39.50%	40.55%	42.52%	43.52%

Límite Líquido = 41.55%




Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)





Tabla 101 Límite Plástico de Estrato 01 - Calicata 03

	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
Determinación del Límite Plástico de los Suelos e Índice de Plasticidad MTC - E 111		
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO".	
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

**LÍMITE PLÁSTICO**

MTC E 111 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90

Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03
Peso de Capsula (gr)	8.49	9.82	9.99
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	12.25	11.86	13.53
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	11.55	11.48	12.87
Peso del Agua (gr)	0.70	0.38	0.66
Peso de la Muestra Seca (gr)	3.06	1.66	2.88
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>22.88%</b>	<b>22.89%</b>	<b>22.92%</b>

**Límite Plástico = 22.89%**



<b>Límite Líquido =</b>	<b>42%</b>
<b>Límite Plástico =</b>	<b>23%</b>
<b>Índice de Plasticidad =</b>	<b>19%</b>

*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*



Tabla 102 Evaluación de los Límites de Consistencia de las Calicatas Evaluadas

	<b>Universidad Andina del Cusco</b>		<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
	<b>Universidad Andina del Cusco</b>		<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
		Determinación del Límite Líquido, Límite Plástico de los Suelos e Índice de Plasticidad MTC - E 110 & MTC - E 111		
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".			
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b>	AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO	
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b>	CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAQ - CUSCO	
<b>UBICACIÓN:</b>		APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco		


**COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ESTRATO EN COMUN DE LAS CALICATAS C-01, C-02 Y C-03**

	Calicata C-01	Calicata C-02	Calicata C-03	Promedio
Nº de Estrato	E-01	E-01	E-01	-
% que pasa el tamiz Nº 10	99.93%	99.59%	99.77%	-
% que pasa el tamiz Nº 40	99.83%	98.28%	99.66%	-
% que pasa el tamiz Nº 200	97.21%	93.25%	95.27%	-
Límite Líquido	44.00%	42.00%	42.00%	<b>43.00%</b>
Límite Plástico	25.00%	24.00%	23.00%	<b>24.00%</b>
Índice de Plasticidad	19.00%	18.00%	19.00%	<b>19.00%</b>

*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*



Tabla 103 Límite Líquido de Suelo Arcilloso con 3% de Colofonia de Pino

	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
Determinación del Límite Líquido de los Suelos MTC - E 110		
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".	
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAQ - CUSCO

UBICACIÓN: APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

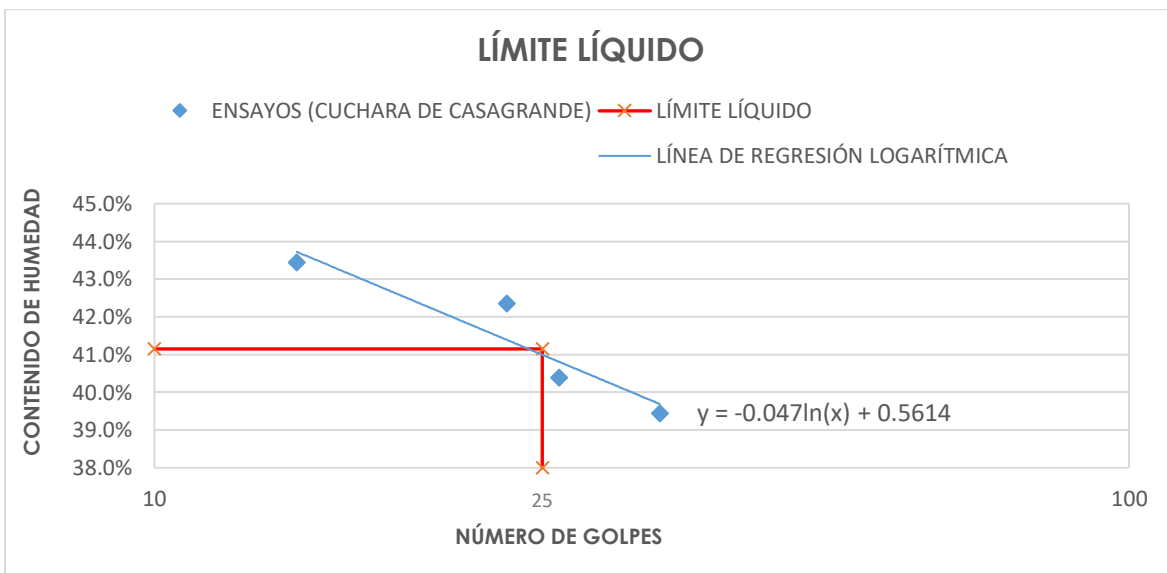
MUESTRA: Alterada

% DE COLOFONIA: 3.00%

**LÍMITE LÍQUIDO**

MTC E 110 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89


Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03	Muestra N° 04
<b>Número de Golpes</b>	<b>33</b>	<b>26</b>	<b>23</b>	<b>14</b>
Peso de Capsula (gr)	9.18	9.77	10.06	8.23
Peso de Capsula + Muestra Húmeda	21.66	20.65	21.22	26.92
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	18.13	17.52	17.90	21.26
Peso del Agua (gr)	3.53	3.13	3.32	5.66
Peso de la Muestra Seca (gr)	8.95	7.75	7.84	13.03
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>39.44%</b>	<b>40.39%</b>	<b>42.35%</b>	<b>43.44%</b>
<b>Límite Líquido =</b>			<b>41.15%</b>	



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 104 Límite Plástico de Suelo Arcilloso con 3% de Colofonia de Pino

	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
Determinación del Límite Plástico de los Suelos e Índice de Plasticidad MTC - E 111		
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA AV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO".	
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAQ - CUSCO

**UBICACIÓN:** APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

**MUESTRA:** Alterada

**% DE COLOFONIA:** 3.00%

**LÍMITE PLÁSTICO**

MTC E 111 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90

Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03
Peso de Capsula (gr)	8.45	9.60	9.33
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	11.67	13.53	12.19
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	11.06	12.79	11.65
Peso del Agua (gr)	0.61	0.74	0.54
Peso de la Muestra Seca (gr)	2.61	3.19	2.32
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>23.37%</b>	<b>23.20%</b>	<b>23.28%</b>

**Límite Plástico = 23.28%**




<b>Límite Líquido =</b>	<b>41%</b>
<b>Límite Plástico =</b>	<b>23%</b>
<b>Índice de Plasticidad =</b>	<b>18%</b>

*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*



Tabla 105 Límite Líquido de Suelo Arcilloso con 5% de Colofonia de Pino

	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
Determinación del Límite Líquido de los Suelos MTC - E 110		
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO".	
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

**UBICACIÓN:** APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

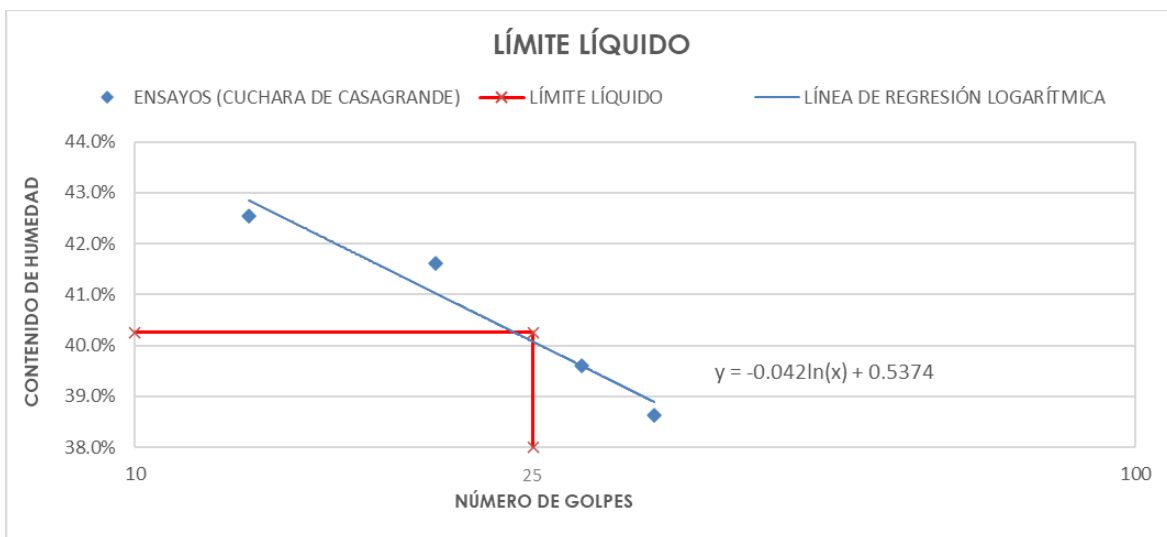
**MUESTRA:** Alterada

**% DE COLOFONIA:** 5.00%

**LÍMITE LÍQUIDO**

MTC E 110 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89


Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03	Muestra N° 04
<b>Número de Golpes</b>	<b>33</b>	<b>28</b>	<b>20</b>	<b>13</b>
Peso de Capsula (gr)	9.66	8.87	11.92	7.31
Peso de Capsula + Muestra Húmeda	20.93	26.71	21.62	21.25
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	17.79	21.65	18.77	17.09
Peso del Agua (gr)	3.14	5.06	2.85	4.16
Peso de la Muestra Seca (gr)	8.13	12.78	6.85	9.78
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>38.62%</b>	<b>39.59%</b>	<b>41.61%</b>	<b>42.54%</b>
<b>Límite Líquido =</b>			<b>40.26%</b>	



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 106 Límite Plástico de Suelo Arcilloso con 5% de Colofonia de Pino

	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
Determinación del Límite Plástico de los Suelos e Índice de Plasticidad MTC - E 111		
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA AV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO".	
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

**UBICACIÓN:** APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

**MUESTRA:** Alterada

**% DE COLOFONIA:** 5.00%

**LÍMITE PLÁSTICO**

MTC E 111 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90

Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03
Peso de Capsula (gr)	9.31	9.51	8.29
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	11.89	13.10	11.99
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	11.41	12.43	11.30
Peso del Agua (gr)	0.48	0.67	0.69
Peso de la Muestra Seca (gr)	2.10	2.92	3.01
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>22.86%</b>	<b>22.95%</b>	<b>22.92%</b>

**Límite Plástico = 22.91%**




<b>Límite Líquido =</b>	<b>40%</b>
<b>Límite Plástico =</b>	<b>23%</b>
<b>Índice de Plasticidad =</b>	<b>17%</b>

*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*



Tabla 107 Límite Líquido de Suelo Arcilloso con 7% de Colofonia de Pino

	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
Determinación del Límite Líquido de los Suelos MTC - E 110		
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO".	
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

UBICACIÓN: APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

MUESTRA: Alterada

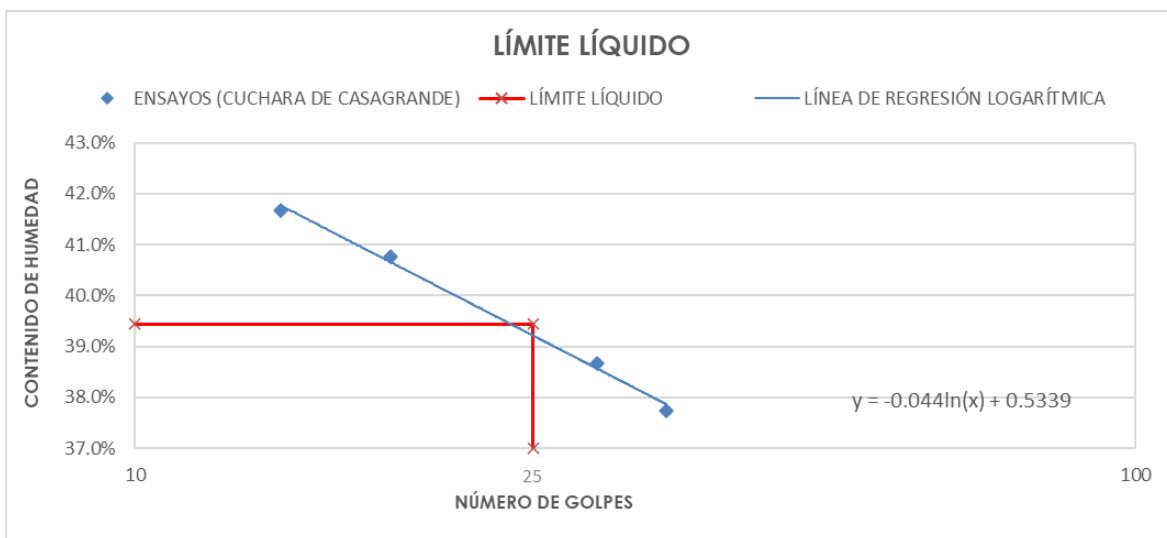
% DE COLOFONIA: 7.00%

**LÍMITE LÍQUIDO**

MTC E 110 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89

Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03	Muestra N° 04
<b>Número de Golpes</b>	<b>34</b>	<b>29</b>	<b>18</b>	<b>14</b>
Peso de Capsula (gr)	8.46	10.02	10.27	9.46
Peso de Capsula + Muestra Húmeda	23.46	20.24	26.57	20.44
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	19.35	17.39	21.85	17.21
Peso del Agua (gr)	4.11	2.85	4.72	3.23
Peso de la Muestra Seca (gr)	10.89	7.37	11.58	7.75
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>37.74%</b>	<b>38.67%</b>	<b>40.76%</b>	<b>41.68%</b>


Límite Líquido = 39.44%



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 108 Límite Plástico de Suelo Arcilloso con 7% de Colofonia de Pino

	<b>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</b>	
	<b>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</b>	
Determinación del Límite Plástico de los Suelos e Índice de Plasticidad MTC - E 111		
<b>TESIS:</b>	"INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO".	
<b>RESPONSABLES:</b>	BLAZ CYDER HUAYLLANI AGUILAR JORGE ALDAIR VELARDE FLOREZ	<b>UBICACIÓN:</b> AV. PRIMAVERA - APV. PILLAO MATAO - SAN JERONIMO - CUSCO
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022	<b>LABORATORIO:</b> CORPORACIÓN ALLIANCE C&P S.A.C. JR. CHUMBIVILCAS N - 8; URB. PROGRESO - WANCHAO - CUSCO

**UBICACIÓN:** APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

**MUESTRA:** Alterada

**% DE COLOFONIA:** 7.00%

**LÍMITE PLÁSTICO**

MTC E 111 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90

Descripción	Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03
Peso de Capsula (gr)	8.22	9.36	8.03
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	13.40	11.77	12.33
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	12.45	11.33	11.54
Peso del Agua (gr)	0.95	0.44	0.79
Peso de la Muestra Seca (gr)	4.23	1.97	3.51
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>22.46%</b>	<b>22.34%</b>	<b>22.51%</b>

**Límite Plástico = 22.43%**



<b>Límite Líquido =</b>	<b>39%</b>
<b>Límite Plástico =</b>	<b>22%</b>
<b>Índice de Plasticidad =</b>	<b>17%</b>

*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*





- **Análisis del Ensayo:**

En base al procedimiento de los datos y su representación mediante sus gráficos las calicatas C-02 poseen un Índice de Plasticidad del 18%, las calicatas C-01 y C-03 ambas presentan un Índice de Plasticidad del 19%, siendo estas las calicatas más críticas por su alto porcentaje de humedad.

Comparando los Límites de Consistencia promedios obtenidos de las muestras de suelo de las calicatas C-01, C-02 y C-03 con la Tabla 10, la clase de arcilla con la que se trabajó, puede ser categorizada como Caolinita.

Luego de la adición del material mejorante Colofonia de Pino al 3%, 5% y 7% en las muestras de suelo arcilloso se tienen reducciones del Índice de Plasticidad al 18%, 17% y 17%.

También, se observa que la calicata C-01 presenta el más alto Limite Líquido con 44%; luego de la adición del material mejorante Colofonia de Pino al 3%, 5% y 7% esta baja al 41%; 40% y 39% respectivamente; en relación al Límite Plástico las muestras alteradas también experimentan un descenso al 23%; 23% y 22% correspondientemente.



### 3.6.4. Clasificación de los Estratos según SUCS y AASHTO

En función del análisis granulométrico y de las constantes del suelo se obtuvieron las siguientes clasificaciones de suelo para la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco.

- **Procesamiento del Ensayo:**

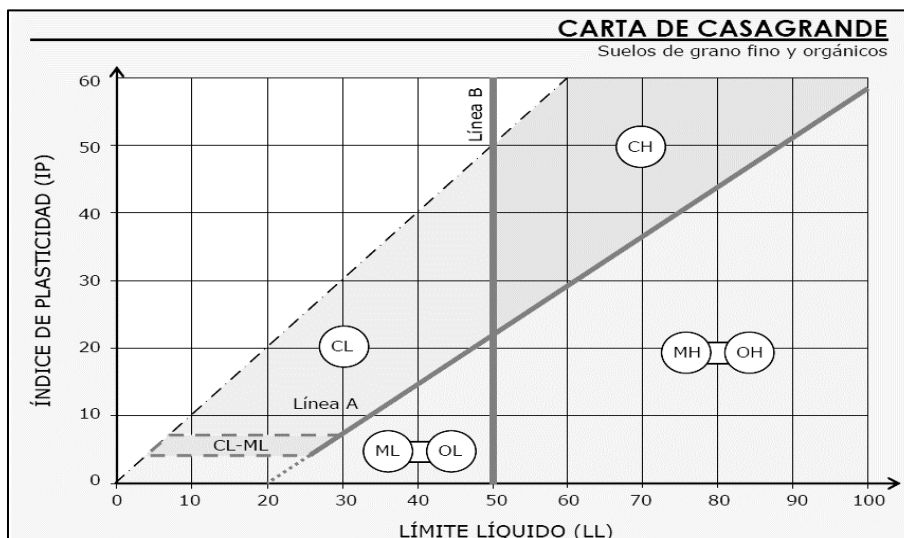
Tabla 109 Criterios para la Clasificación de Suelos según SUCS

Criterios para la asignación de símbolos de grupo y nombre de grupo con el uso de ensayos de laboratorio			Clasificación de suelos			
			Símbolo de grupo	Nombre del grupo		
<b>Suelos de partículas gruesas</b> mas del 50% es retenido en la malla No. 200	<b>Gravas</b> Mas del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla No. 4	Gravas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Grava bien graduada	
			$Cu < 4$ y $1 > Cc > 3$	GP	Grava mal graduada	
	Gravas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200	IP < 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa		
		IP > 7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava arcillosa		
		Cumple los criterios para GW y GM	GW-GM	Grava bien graduada con limo		
		Cumple los criterios para GW y GC	GW-GC	Grava bien graduada con arcilla		
	Gravas limpias y con finos Entre el 5 y 12% pasa malla No.200	Cumple los criterios para GP y GM	GP-GM	Grava mal graduada con limo		
		Cumple los criterios para GP y GC	GP-GC	Grava mal graduada con arcilla		
		<b>Arenas</b> El 50% o mas de la fracción gruesa pasa la malla No. 4	Arenas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena bien graduada
				$Cu < 6$ y $1 > Cc > 3$	SP	Arena mal graduada
Arenas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200	IP < 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa			
	IP > 7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC	Arena arcillosa			
	Cumple los criterios para SW y SM	SW-SM	Arena bien graduada con limo			
	Cumple los criterios para SW y SC	SW-SC	Arena bien graduada con arcilla			
Arenas limpias y con finos Entre el 5 y 12% pasa malla No.200	Cumple los criterios para SP y SM	SP-SM	Arena mal graduada con limo			
	Cumple los criterios para SP y SC	SP-SC	Arena mal graduada con arcilla			
	<b>Suelos de partículas finas</b> El 50% o mas pasa la malla No. 200	Inorgánicos	IP > 7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad	
			IP < 4 y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	ML	Limo de baja plasticidad	
Limos y arcillas Limite Liquido menor que 50	Orgánicos	Limite liquido - secado al horno < 0.75 limite liquido - no secado	OL	Arcilla orgánica Limo orgánico		
	Limos y arcillas Limite Liquido mayor que 50	Inorgánicos	IP > 7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad	
		IP < 4 y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH	Limo de alta plasticidad		
Orgánicos	Limite liquido - secado al horno < 0.75 limite liquido - no secado	OH	Arcilla orgánica Limo orgánica			
	<b>Suelos altamente orgánicos</b>	Principalmente materia orgánica de color oscuro	PT	Turba		

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 110 Carta de Casagrande para Clasificación de Suelos Cohesivos



Fuente: Luis Bañón (2000, c.15, p. 22)

Tabla 111 Criterios de Clasificación AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos de la muestra total pasa la malla núm. 200)						
	A-1			A-2			
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 mallas (% que pasa)							
Malla núm. 10	50 máx						
Malla núm. 40	30 máx	50 máx	51 mín				
Malla núm. 200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx
Para la fracción que pasa Malla núm. 40							
Límite líquido (LL)				40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de plasticidad (IP)	6 máx		No plástico	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Tipo usual de material	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	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 mallas (% que pasa)							
Malla núm. 10							
Malla núm. 40							
Malla núm. 200	36 mín		36 mín	36 mín		36 mín	
Para la fracción que pasa Malla núm. 40							
Límite líquido (LL)	40 máx		41 mín	40 máx		41 mín	
Índice de plasticidad (IP)	10 máx		10 máx	11 mín		11 mín	
Tipo usual de material	Principalmente suelos limosos			Principalmente suelos arcillosos			
Calificación subrasante	Regular a malo						
*Si $IP \leq LL - 30$ , la clasificación es A-7-5.							
*Si $IP > LL - 30$ , la clasificación es A-7-6.							

Fuente: Braja M. Das



• **Procesamiento de Datos y Gráficas del Ensayo**

Tabla 112 Clasificación según SUCS del Estrato E – 01 de C – 01

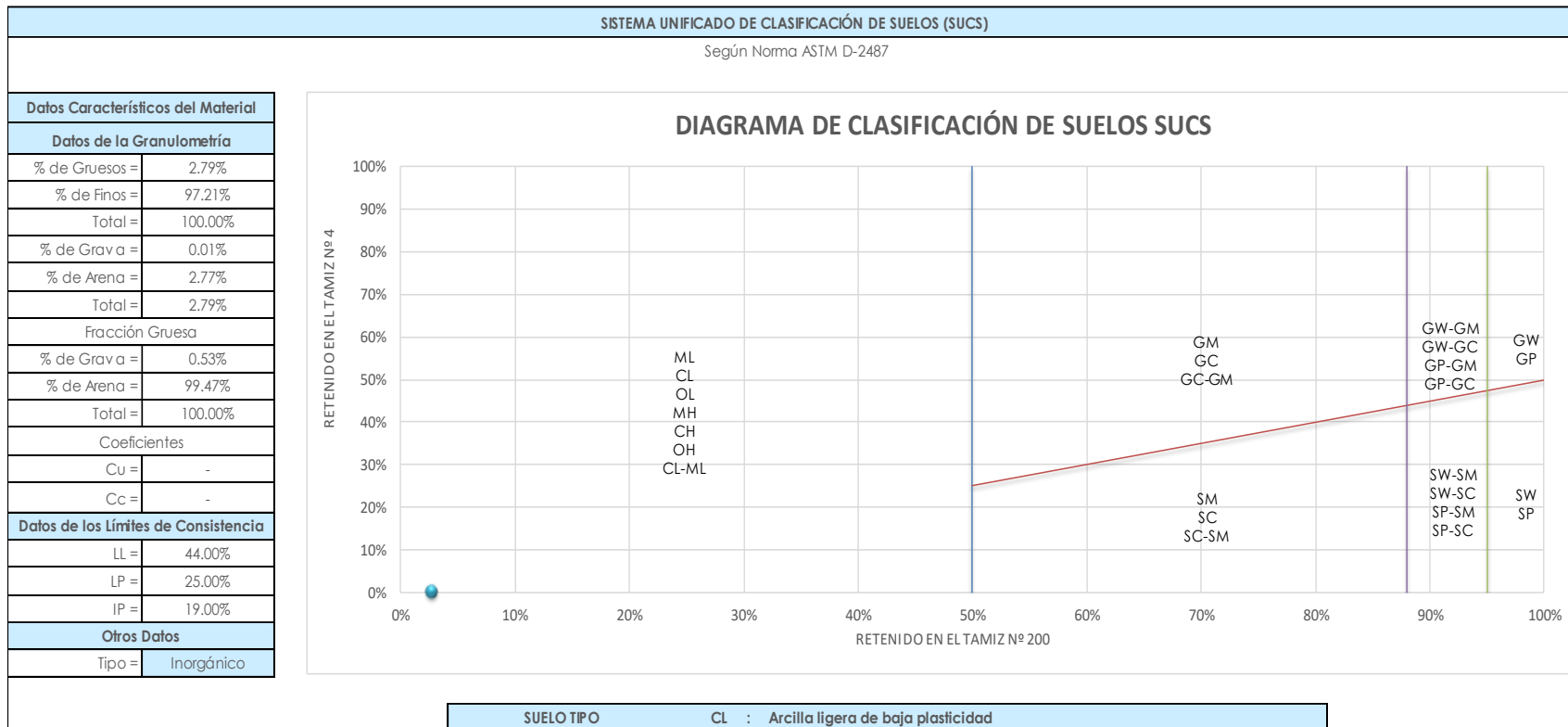
**UBICACIÓN:** APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

**PROGRESIVA:** 1 + 250 Km.

**MUESTRA:** Alterada

**CALICATA:** C - 01

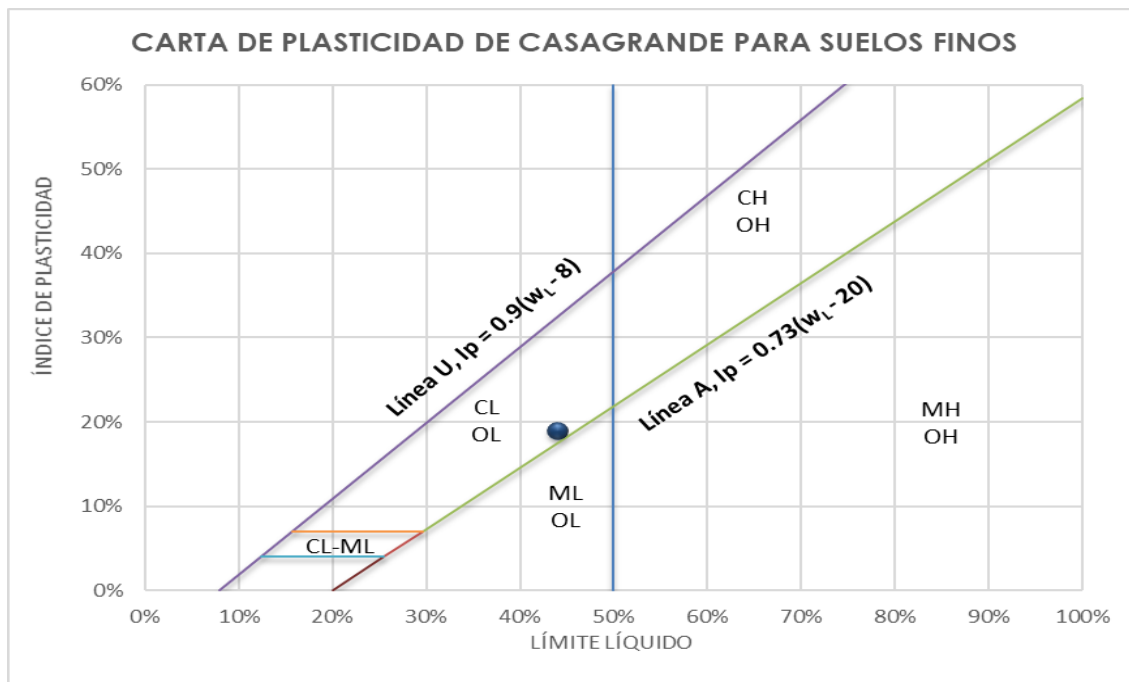
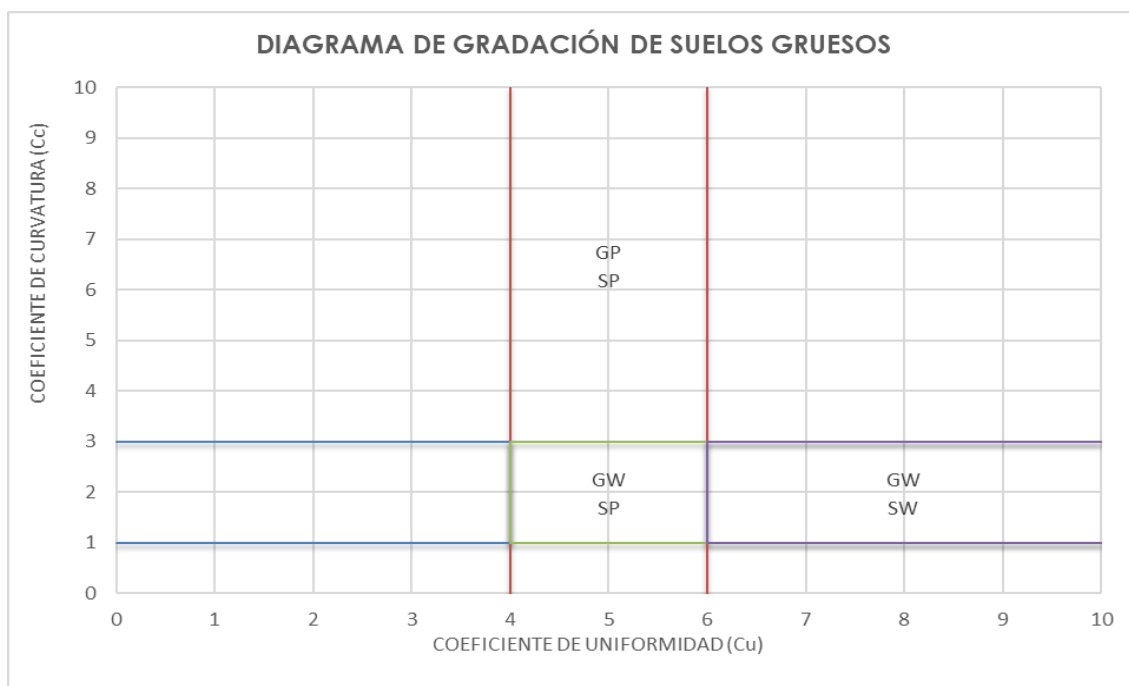
**ESTRATO:** E - 01



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 113 Diagramas de Gradación según SUCS del Estrato E – 01 de C – 01



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 114 Clasificación según AASHTO del Estrato E – 01 de C – 01

UBICACIÓN: APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

PROGRESIVA 1 + 250 Km.

MUESTRA: Alterada

CALICATA: C - 01

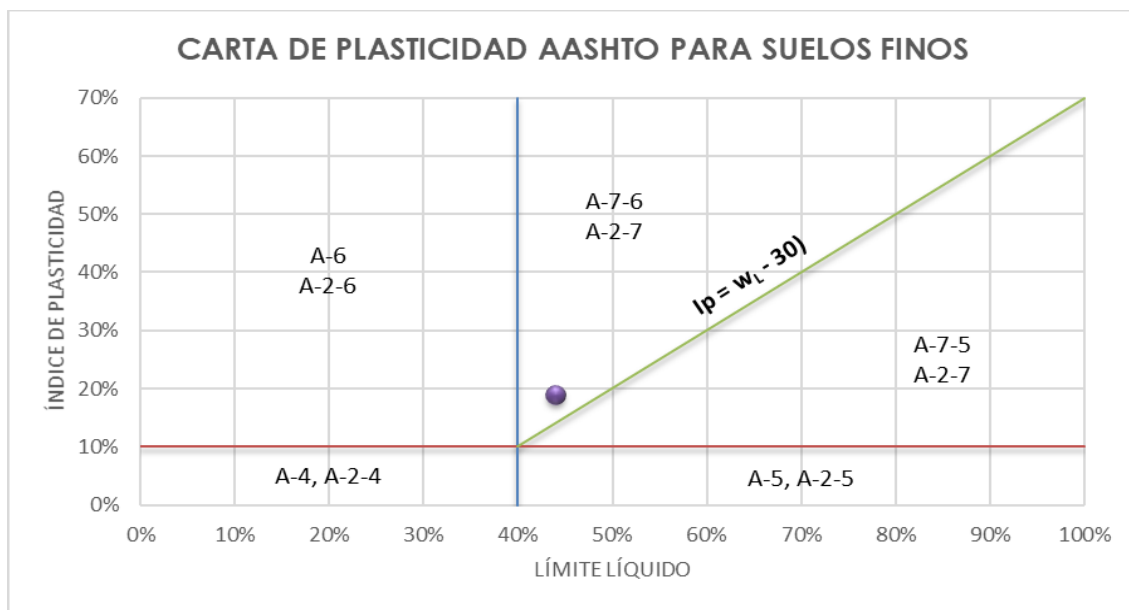
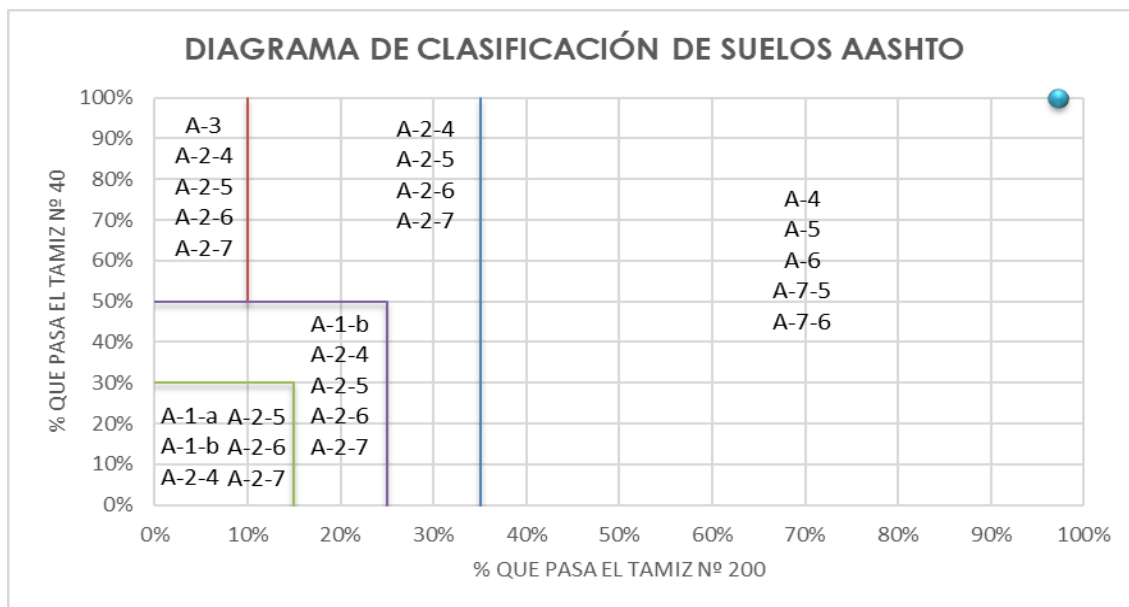
ESTRATO: E - 01

CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN AASHTO																															
AASHTO M-145																															
<b>Datos Característicos del Material</b>		<b>Suelo Tipo</b> A-7-6 (12) : Las arcillas y limos más plásticos																													
<b>Datos de la Granulometría</b>		<b>Índice de Grupo</b> IG : 12 IG = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd																													
% que pasa el tamiz N° 10 =	99.93%																														
% que pasa el tamiz N° 40 =	99.83%																														
% que pasa el tamiz N° 200 =	97.21%																														
<b>Datos de los Límites de Consistencia</b>		<table border="1"> <tr> <td><b>F =</b> 97.21</td> <td colspan="3">F = Porcentaje de partículas sólidas que pasan el tamiz N° 200</td> </tr> <tr> <td><b>w<sub>l</sub> =</b> 44.00</td> <td colspan="3">w<sub>l</sub> = Límite líquido</td> </tr> <tr> <td><b>lp =</b> 19.00</td> <td colspan="3">lp = Índice de plasticidad</td> </tr> <tr> <td><b>a = F - 35</b></td> <td><b>a =</b> 62.21</td> <td>→</td> <td><b>a =</b> 40.00</td> </tr> <tr> <td><b>b = F - 15</b></td> <td><b>b =</b> 82.21</td> <td>→</td> <td><b>b =</b> 40.00</td> </tr> <tr> <td><b>c = w<sub>l</sub> - 40</b></td> <td><b>c =</b> 4.00</td> <td>→</td> <td><b>c =</b> 4.00</td> </tr> <tr> <td><b>d = lp - 10</b></td> <td><b>d =</b> 9.00</td> <td>→</td> <td><b>d =</b> 9.00</td> </tr> </table>		<b>F =</b> 97.21	F = Porcentaje de partículas sólidas que pasan el tamiz N° 200			<b>w<sub>l</sub> =</b> 44.00	w <sub>l</sub> = Límite líquido			<b>lp =</b> 19.00	lp = Índice de plasticidad			<b>a = F - 35</b>	<b>a =</b> 62.21	→	<b>a =</b> 40.00	<b>b = F - 15</b>	<b>b =</b> 82.21	→	<b>b =</b> 40.00	<b>c = w<sub>l</sub> - 40</b>	<b>c =</b> 4.00	→	<b>c =</b> 4.00	<b>d = lp - 10</b>	<b>d =</b> 9.00	→	<b>d =</b> 9.00
<b>F =</b> 97.21	F = Porcentaje de partículas sólidas que pasan el tamiz N° 200																														
<b>w<sub>l</sub> =</b> 44.00	w <sub>l</sub> = Límite líquido																														
<b>lp =</b> 19.00	lp = Índice de plasticidad																														
<b>a = F - 35</b>	<b>a =</b> 62.21	→	<b>a =</b> 40.00																												
<b>b = F - 15</b>	<b>b =</b> 82.21	→	<b>b =</b> 40.00																												
<b>c = w<sub>l</sub> - 40</b>	<b>c =</b> 4.00	→	<b>c =</b> 4.00																												
<b>d = lp - 10</b>	<b>d =</b> 9.00	→	<b>d =</b> 9.00																												
Límite Líquido LL =	44.00%																														
Límite Plástico LP =	25.00%																														
Índice de Plasticidad IP =	19.00%																														
Tipo de Suelo =	Inorgánico																														

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 115 Diagramas de Gradación según AASHTO del Estrato E – 01 de C – 01



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 116 Clasificación según SUCS del Estrato E – 01 de C – 02

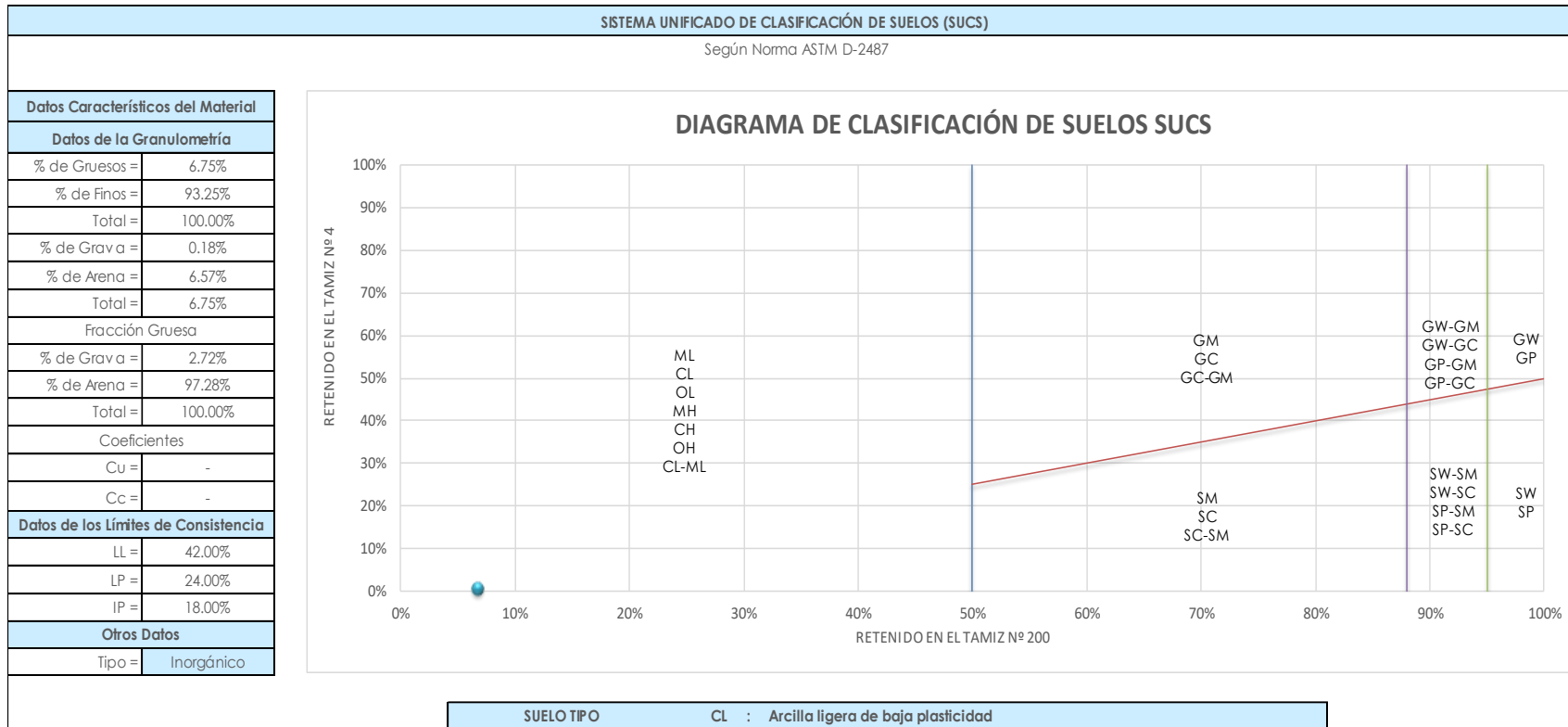
UBICACIÓN: APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

PROGRESIVA: 0 + 850 Km.

MUESTRA: Alterada

CALICATA: C - 02

ESTRATO: E - 01

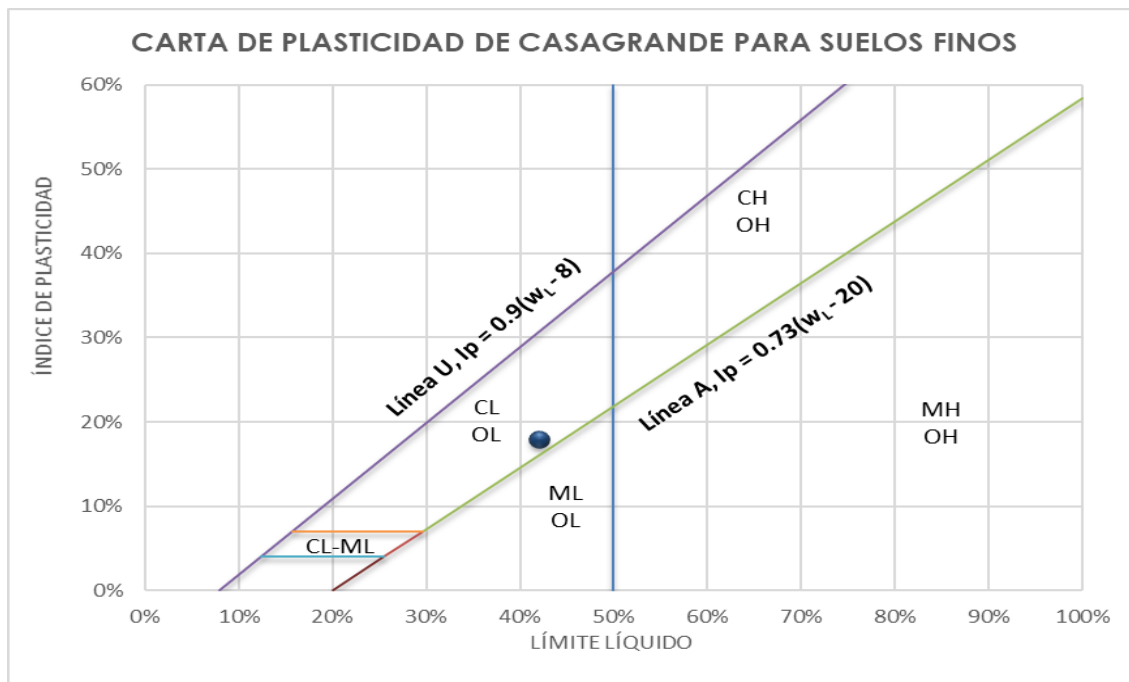
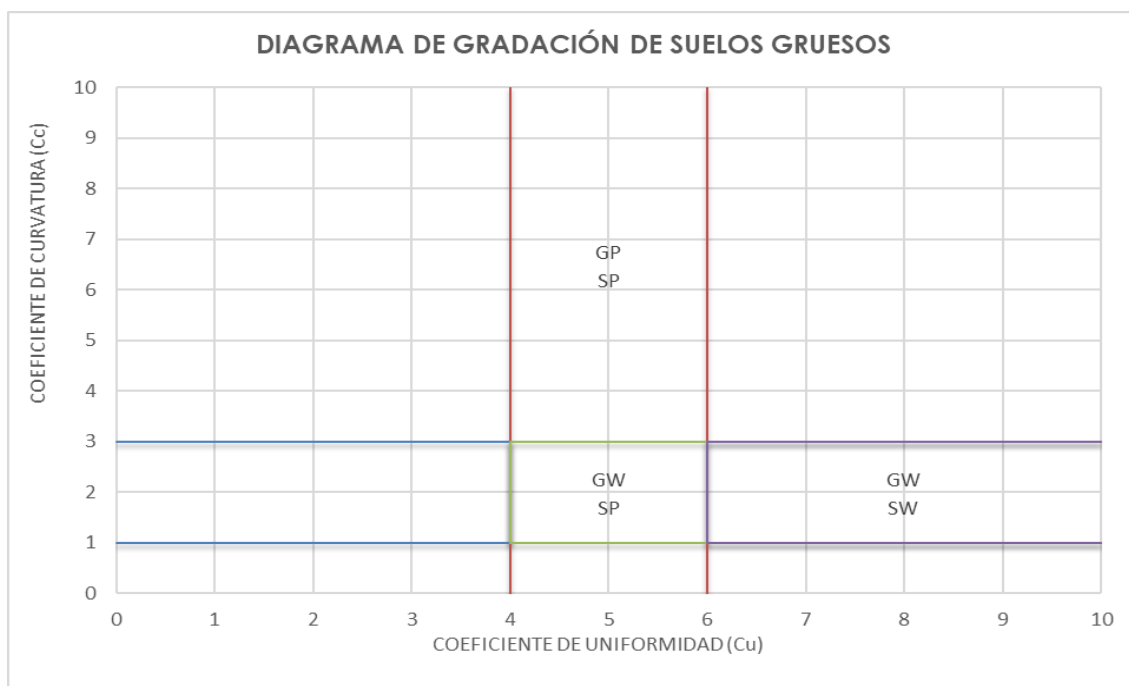


Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)





Tabla 117 Diagramas de Gradación según SUCS del Estrato E – 01 de C – 02



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



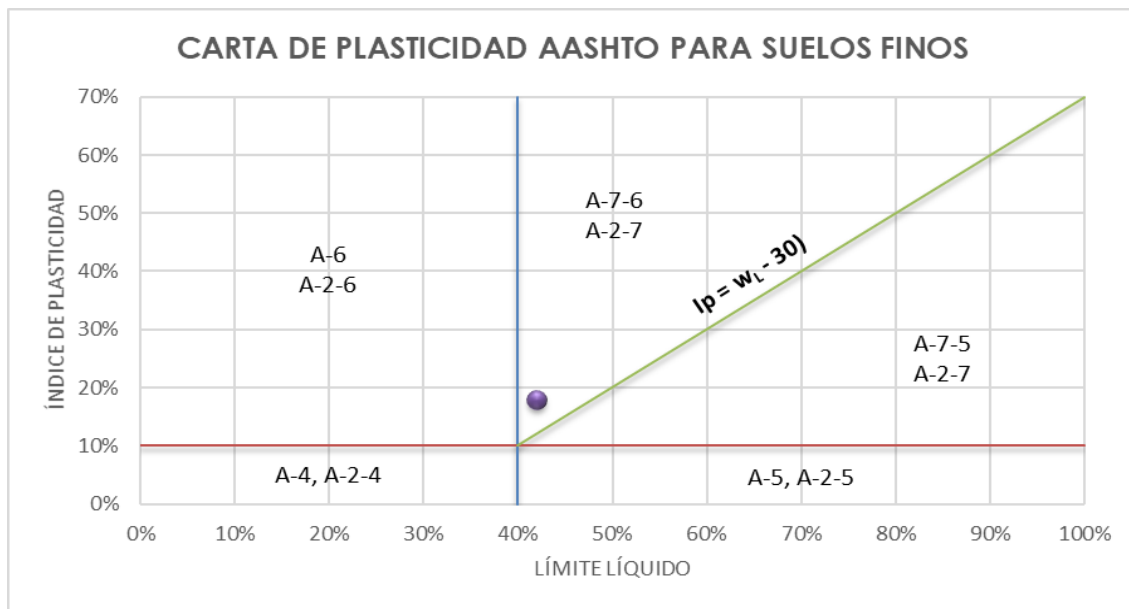
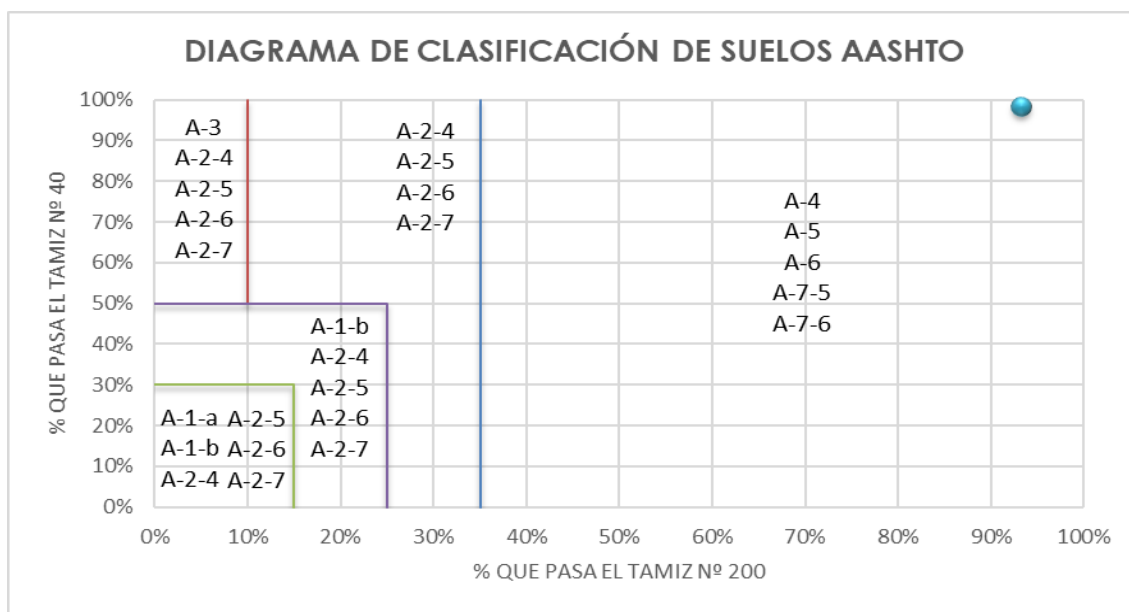
Tabla 118 Clasificación según AASHTO del Estrato E – 01 de C – 02

<b>UBICACIÓN:</b> APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco		<b>PROGRESIVA</b> 0 + 850 Km.																													
<b>MUESTRA:</b> Alterada		<b>CALICATA:</b> C - 02																													
		<b>ESTRATO:</b> E - 01																													
CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN AASHTO																															
AASHTO M-145																															
<b>Datos Característicos del Material</b>		<b>Suelo Tipo</b> A-7-6 (12) : Las arcillas y limos más plásticos																													
<b>Datos de la Granulometría</b>		<b>Índice de Grupo</b> IG : 12 IG = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd																													
% que pasa el tamiz Nº 10 =	99.59%																														
% que pasa el tamiz Nº 40 =	98.28%																														
% que pasa el tamiz Nº 200 =	93.25%																														
<b>Datos de los Límites de Consistencia</b>																															
Límite Líquido LL =	42.00%																														
Límite Plástico LP =	24.00%																														
Índice de Plasticidad IP =	18.00%																														
Tipo de Suelo =	Inorgánico																														
		<table border="1"> <tr> <td><b>F =</b> 93.25</td> <td colspan="3">F = Porcentaje de partículas sólidas que pasan el tamiz Nº 200</td> </tr> <tr> <td><b>w<sub>l</sub> =</b> 42.00</td> <td colspan="3">w<sub>l</sub> = Límite líquido</td> </tr> <tr> <td><b>lp =</b> 18.00</td> <td colspan="3">lp = Índice de plasticidad</td> </tr> <tr> <td><b>a = F - 35</b></td> <td>a = 58.25</td> <td>→</td> <td>a = 40.00</td> </tr> <tr> <td><b>b = F - 15</b></td> <td>b = 78.25</td> <td>→</td> <td>b = 40.00</td> </tr> <tr> <td><b>c = w<sub>l</sub> - 40</b></td> <td>c = 2.00</td> <td>→</td> <td>c = 2.00</td> </tr> <tr> <td><b>d = lp - 10</b></td> <td>d = 8.00</td> <td>→</td> <td>d = 8.00</td> </tr> </table>		<b>F =</b> 93.25	F = Porcentaje de partículas sólidas que pasan el tamiz Nº 200			<b>w<sub>l</sub> =</b> 42.00	w <sub>l</sub> = Límite líquido			<b>lp =</b> 18.00	lp = Índice de plasticidad			<b>a = F - 35</b>	a = 58.25	→	a = 40.00	<b>b = F - 15</b>	b = 78.25	→	b = 40.00	<b>c = w<sub>l</sub> - 40</b>	c = 2.00	→	c = 2.00	<b>d = lp - 10</b>	d = 8.00	→	d = 8.00
<b>F =</b> 93.25	F = Porcentaje de partículas sólidas que pasan el tamiz Nº 200																														
<b>w<sub>l</sub> =</b> 42.00	w <sub>l</sub> = Límite líquido																														
<b>lp =</b> 18.00	lp = Índice de plasticidad																														
<b>a = F - 35</b>	a = 58.25	→	a = 40.00																												
<b>b = F - 15</b>	b = 78.25	→	b = 40.00																												
<b>c = w<sub>l</sub> - 40</b>	c = 2.00	→	c = 2.00																												
<b>d = lp - 10</b>	d = 8.00	→	d = 8.00																												

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 119 Diagramas de Gradación según AASHTO del Estrato E – 01 de C – 02



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 120 Clasificación según SUCS del Estrato E – 01 de C – 03

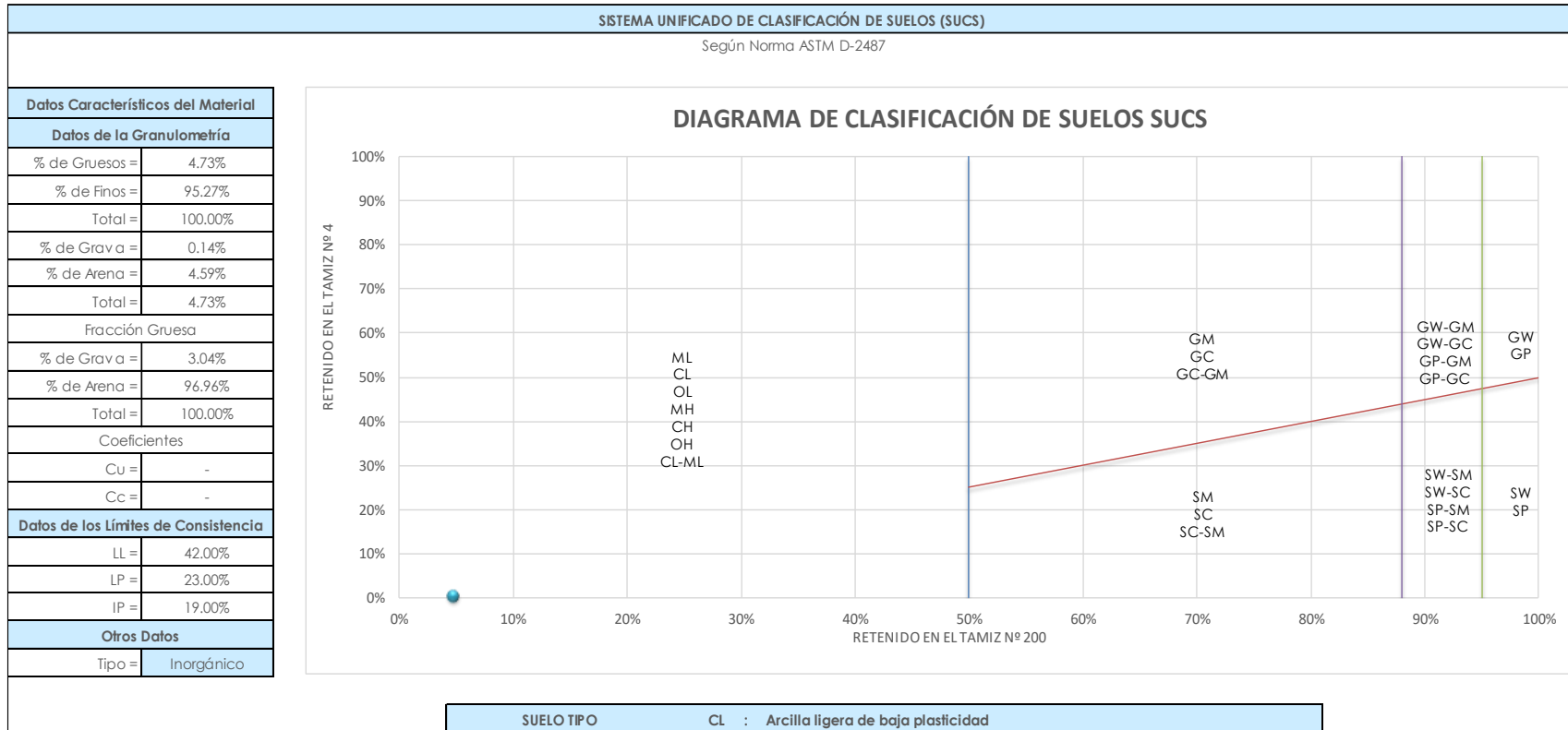
**UBICACIÓN:** APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

**PROGRESIVA:** 0 + 300 Km.

**MUESTRA:** Alterada

**CALICATA:** C - 03

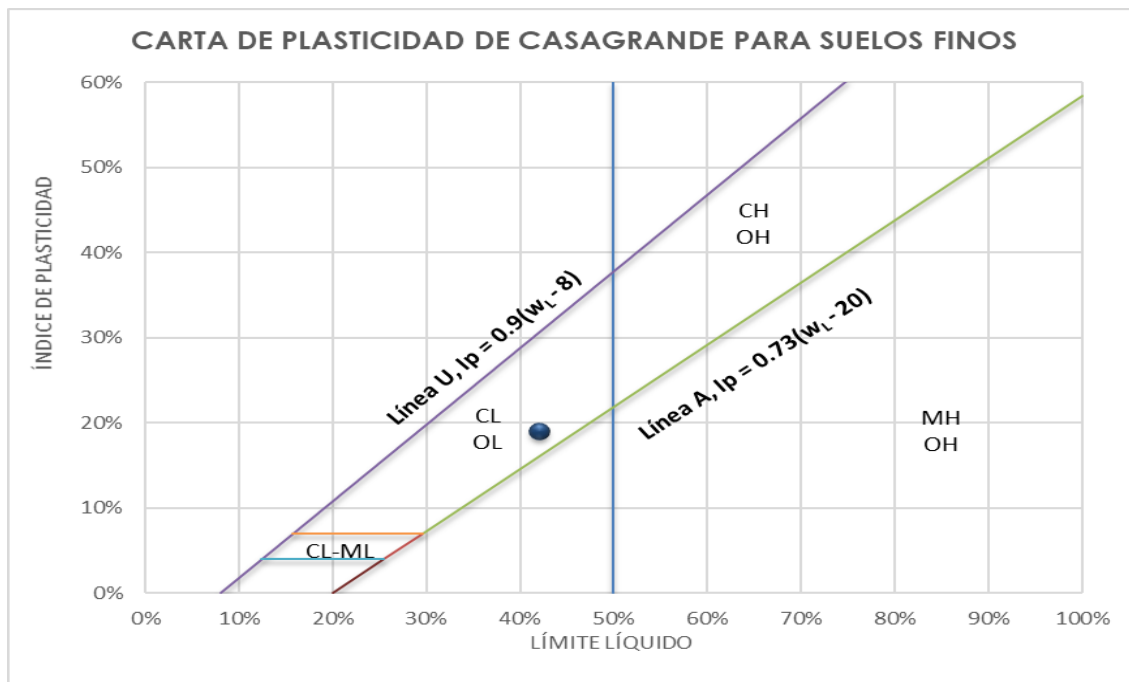
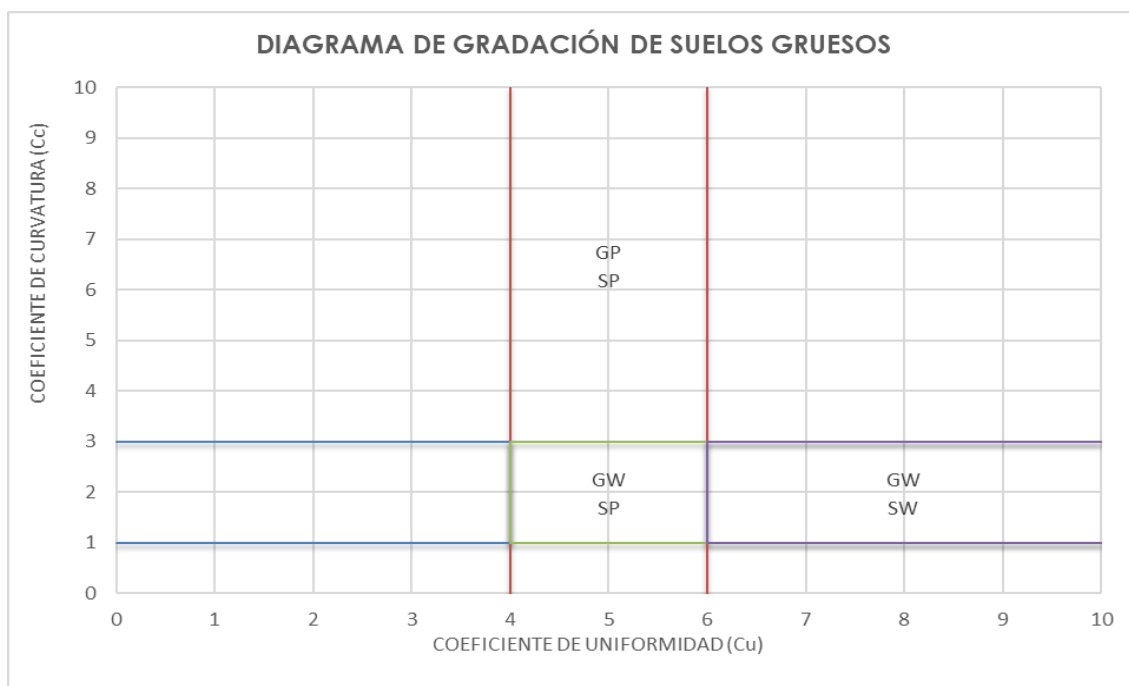
**ESTRATO:** E - 01



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 121 Diagramas de Gradación según SUCS del Estrato E – 01 de C – 03



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 122 Clasificación según AASHTO del Estrato E – 01 de C – 03

UBICACIÓN: APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

PROGRESIVA 0 + 300 Km.

MUESTRA: Alterada

CALICATA: C - 03

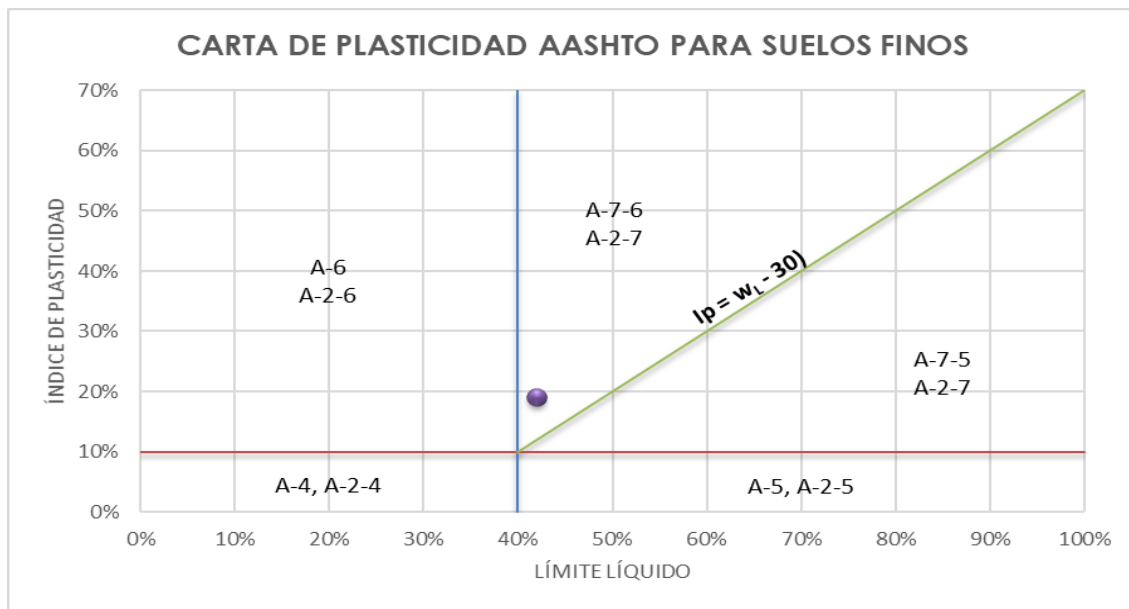
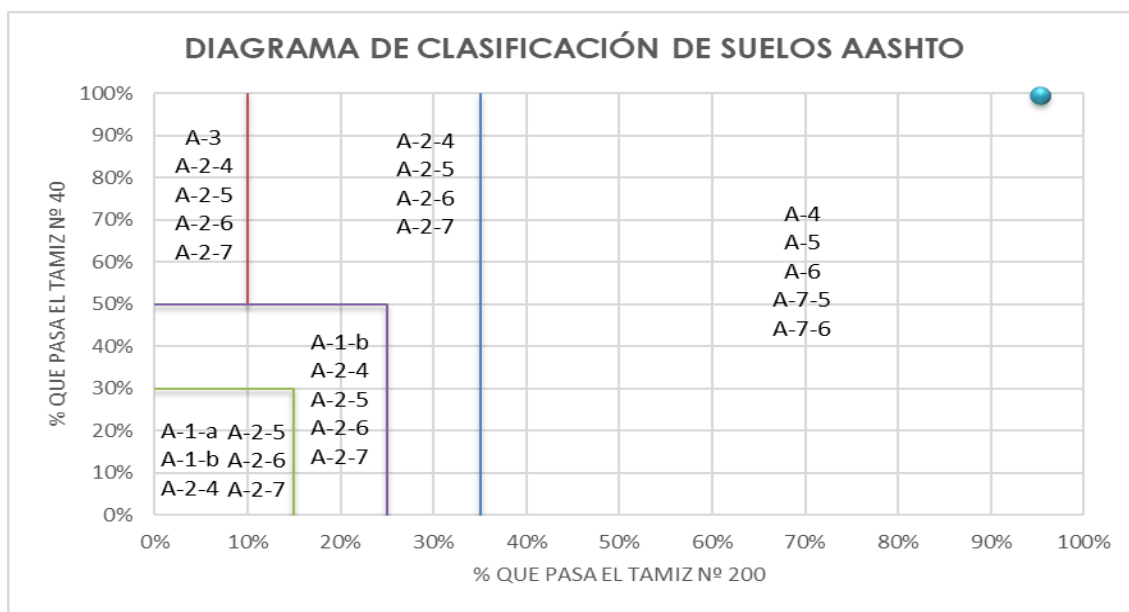
ESTRATO: E - 01

CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN AASHTO			
AASHTO M-145			
<b>Datos Característicos del Material</b>		<b>Suelo Tipo</b> A-7-6 (12) : Las arcillas y limos más plásticos	
<b>Datos de la Granulometría</b>		<b>Índice de Grupo</b> IG : 12 IG = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd	
% que pasa el tamiz Nº 10 =	99.77%		
% que pasa el tamiz Nº 40 =	99.66%		
% que pasa el tamiz Nº 200 =	95.27%		
<b>Datos de los Límites de Consistencia</b>		F = 95.27 F = Porcentaje de partículas sólidas que pasan el tamiz Nº 200	
Límite Líquido LL =	42.00%	w <sub>l</sub> =	42.00 w <sub>l</sub> = Límite líquido
Límite Plástico LP =	23.00%	lp =	19.00 lp = Índice de plasticidad
Índice de Plasticidad IP =	19.00%	a = F - 35	a = 60.27 → a = 40.00
Tipo de Suelo =	Inorgánico	b = F - 15	b = 80.27 → b = 40.00
		c = w <sub>l</sub> - 40	c = 2.00 → c = 2.00
		d = lp - 10	d = 9.00 → d = 9.00

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 123 Diagramas de Gradación según AASHTO del Estrato E – 01 de C – 03



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



• **Análisis del Ensayo:**

En relación a las Clasificaciones de las calicatas evaluadas por los métodos de SUCS y AASHTO se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 124 Cuadro de Resumen - Calicata 01

ZONA:	19 L	<b>C-01</b>
COORDENADAS:	185152.57 m E	
	8499672.09 m N	
PROGRESIVA:	1 + 250 Km.	
N° DE ESTRATOS:	03	
PROFUNDIDAD:	2.00 m	
NIVEL FREÁTICO:	NO PRESENTA	

PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS ESTRATOS			
ESTRATO:	03	02	01
POTENCIA:	0.45 m	1.30 m	0.25 m
CONTENIDO DE HUMEDAD:	-	9.75%	19.38%
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD:	-	-	-
COEFICIENTE DE CONTRACCIÓN:	-	-	-
LÍMITE LÍQUIDO:	-	NO PRESENTA	44%
LÍMITE PLÁSTICO	-	15%	25%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	-	NO PRESENTA	19%
CLASIFICACIÓN - SUCS:	RELLENO	ML : Limo de baja plasticidad arenoso	CL : Arcilla ligera de baja plasticidad
CLASIFICACIÓN - AASHTO:	RELLENO	A-4 (5) : Principalmente partículas finas limosas	A-7-6 (12) : Las arcillas y limos más plásticos

*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*





Tabla 125 Cuadro de Resumen - Calicata 02

ZONA:	19 L	<b>C-02</b>
COORDENADAS:	185570.84 m E	
	8500196.33 m N	
PROGRESIVA:	0 + 850 Km.	
N° DE ESTRATOS:	03	
PROFUNDIDAD:	1.60 m	
NIVEL FREÁTICO:	NO PRESENTA	

PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS ESTRATOS			
ESTRATO:	03	02	01
POTENCIA:	0.45 m	0.75 m	0.40 m
CONTENIDO DE HUEIDAD:	9.18%	7.55%	17.79%
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD:	-	-	-
COEFICIENTE DE CONTRACCIÓN:	-	-	-
LÍMITE LÍQUIDO:	26.00%	38%	42%
LÍMITE PLÁSTICO:	16.00%	30%	24%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	10.00%	8%	18%
CLASIFICACIÓN - SUCS:	CL : Arcilla ligera de baja plasticidad arenosa	SC : Arena arcillosa	CL : Arcilla ligera de baja plasticidad
CLASIFICACIÓN - AASTHO:	A-4 (4) : Principalmente partículas finas limosas	A-4 (1) : Principalmente partículas finas limosas	A-7-6 (12) : Las arcillas y limos más plásticos

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 126 Cuadro de Resumen - Calicata 03

ZONA:	19 L	<b>C-03</b>
COORDENADAS:	185756.05 m E	
	8500394.03 m N	
PROGRESIVA:	0 + 300 Km.	
N° DE ESTRATOS:	02	
PROFUNDIDAD:	1.80 m	
NIVEL FREÁTICO:	NO PRESENTA	

PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS ESTRATOS		
ESTRATO:	02	01
POTENCIA:	0.60 m	1.20 m
CONTENIDO DE HUMEDAD:	17.38%	23.57%
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD:	-	-
COEFICIENTE DE CONTRACCIÓN:	-	-
LÍMITE LÍQUIDO:	38.00%	42%
LÍMITE PLÁSTICO:	23.00%	23%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	15.00%	19%
CLASIFICACIÓN - SUCS:	CL : Arcilla ligera de baja plasticidad	CL : Arcilla ligera de baja plasticidad
CLASIFICACIÓN - AASTHO:	A-6 (10) : Contienen partículas finas limosas o arcillosas con un límite líquido bajo	A-7-6 (12) : Las arcillas y limos más plásticos

*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*



Tabla 127 Comparación de los Resultados del Estrato en común de las calicatas C-01, C-02 y C-03

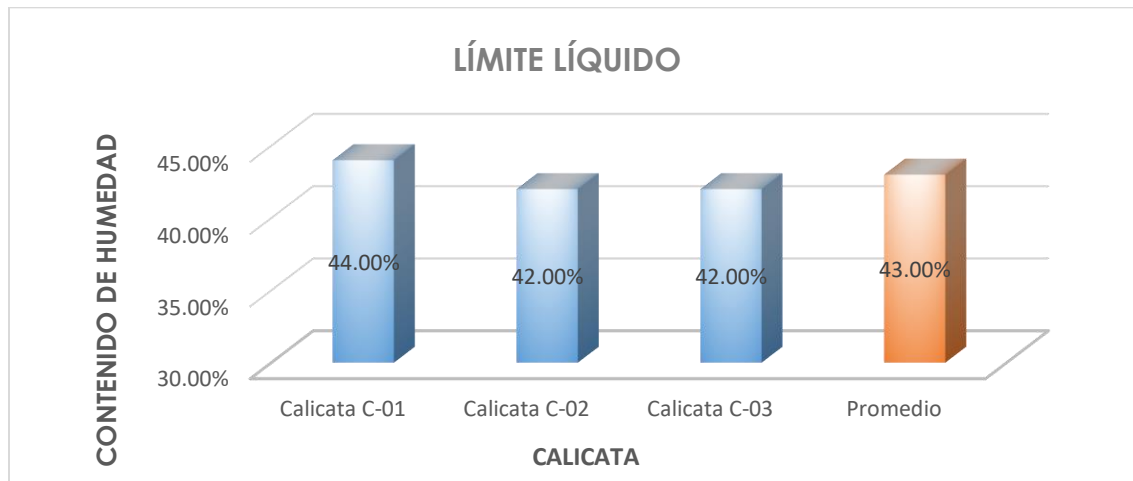
	Calicata C-01	Calicata C-02	Calicata C-03	Promedio
Nº de Estrato	E-01	E-01	E-01	-
% que pasa el tamiz Nº 10	99.93%	99.59%	99.77%	-
% que pasa el tamiz Nº 40	99.83%	98.28%	99.66%	-
% que pasa el tamiz Nº 200	97.21%	93.25%	95.27%	-
Límite Líquido	44.00%	42.00%	42.00%	<b>43.00%</b>
Límite Plástico	25.00%	24.00%	23.00%	<b>24.00%</b>
Índice de Plasticidad	19.00%	18.00%	19.00%	<b>19.00%</b>
Índice de Grupo	12	12	12	-
Clasificación SUCS	Arcilla ligera de baja plasticidad	Arcilla ligera de baja plasticidad	Arcilla ligera de baja plasticidad	-
Clasificación AASHTO	A-7-6 (12) : Las arcillas y limos más plásticos	A-7-6 (12) : Las arcillas y limos más plásticos	A-7-6 (12) : Las arcillas y limos más plásticos	-

*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*

En relación a los análisis de los resultados anteriores de la Tabla 124 a la Tabla 126, debe de señalarse que corresponden a las muestras de suelo de cada uno de los estratos hallados en la Av. Primavera de la APV Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco, mediante exploraciones a cielo abierto realizadas en cada una de las calicatas.

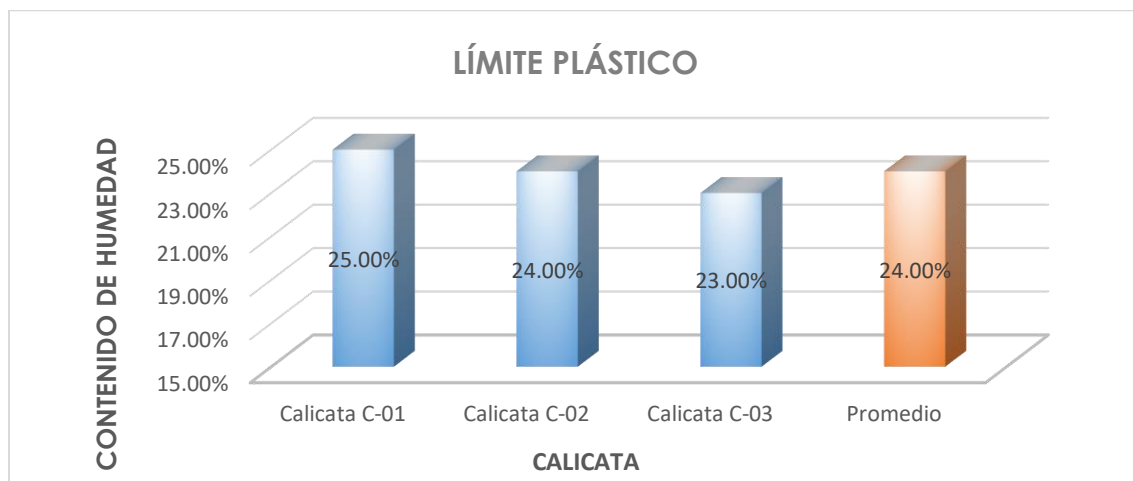
Sin embargo, la Tabla 127, recoge el registro de los resultados del estrato en común entre los sondeos de cada una de las calicatas, demostrando ciertas similitudes tanto en su composición granulométrica, como en sus constantes referidas a los límites de consistencia, tal y como se muestran en las Figuras 59 y 60.

Figura 60 Límite Líquido del Estrato en común entre las Calicatas de Exploración



*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*

Figura 61 Límite Plástico del Estrato en común entre las Calicatas de Exploración



*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*



### 3.6.5. Compactación de Suelos Arcilloso con Colofonia de Pino en Laboratorio utilizando una Energía Modificada – Proctor Modificado (MTC E-115)

- **Procesamiento del Ensayo:**

Los parámetros determinados por el ensayo de Proctor Modificado son el Contenido de Humedad Óptimo y la Densidad Máxima Seca.

Se encuentra el porcentaje de humedad promedio de la parte inferior y superior de los moldes compactados, para ello se aplica la siguiente formula:

Porcentaje de Humedad:

$$W (\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_t} * 100 = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Donde:

W : Porcentaje de humedad (%)

Ww : Peso del agua (gr)

Ws : Peso de la muestra seca (gr)

W1 : Peso de la capsula más la muestra húmeda (gr)

Se encuentran también las densidades húmedas y secas de las muestras compactadas mediante las siguientes formulas:

Densidad Húmeda:

$$\rho_m = \frac{M_t - M_{md}}{V}$$

Donde:

$\rho_m$  : Densidad húmeda del espécimen compactado (gr/cm<sup>3</sup>)

M<sub>t</sub> : Masa del espécimen húmedo y molde (gr)

M<sub>md</sub> : Masa del molde de computación (gr)

V : Volumen del molde de compactación (cm<sup>3</sup>)



Densidad Seca:

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{W}{100}}$$

Donde:

$\rho_m$  : Densidad húmeda del espécimen compactado (gr/cm<sup>3</sup>)

$\rho_d$  : Densidad seca del espécimen compactado (gr/cm<sup>3</sup>)

W : Porcentaje de agua (%)



• **Procesamiento de Datos y Gráficas del Ensayo**

Tabla 128 Ensayo de Compactación – Proctor Modificado de Suelo Arcilloso sin Colofonia de Pino

UBICACIÓN: APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

MUESTRA: Alterada  
% DE COLOFONIA: 0.00%

**RELACIONES HUMEDAD - DENSIDAD (PROCTOR)**

MTC E 115 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-1557 y AASHTO T-180

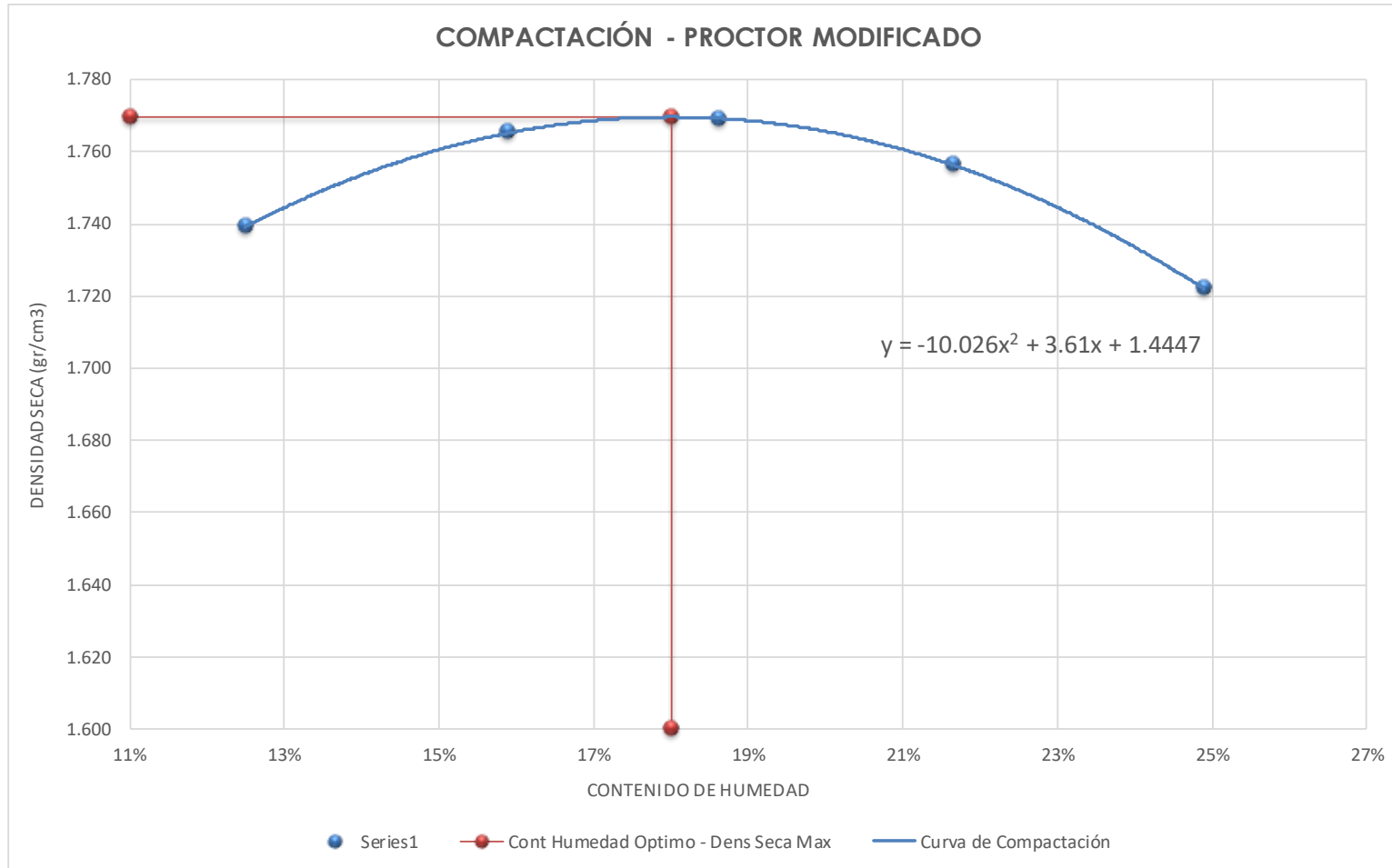
Características del Ensayo de Compactación		Método:	A
Número de Capas:	5	Golpes por Capa =	25
Altura de Caída del Martillo=	45.72 cm	Peso del Martillo =	4.54 Kg

Obtención de la Densidad	Punto N° 01		Punto N° 02		Punto N° 03		Punto N° 04		Punto N° 05	
Molde	M-B		M-B		M-B		M-B		M-B	
Diámetro del Molde (cm)	10.12		10.12		10.12		10.12		10.12	
Altura del molde (cm)	11.64		11.64		11.64		11.64		11.64	
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	936.43		936.43		936.43		936.43		936.43	
Peso del Molde (gr)	4000.00		4000.00		4000.00		4000.00		4000.00	
Peso del Molde + Muestra Compac	5832.00		5916.00		5965.00		6001.00		6014.00	
Peso de la Muestra Compactada	1832.00		1916.00		1965.00		2001.00		2014.00	
Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.96		2.05		2.10		2.14		2.15	
<b>Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.739</b>		<b>1.765</b>		<b>1.769</b>		<b>1.756</b>		<b>1.722</b>	
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>
Peso de Capsula (gr)	18.25	20.53	15.63	19.18	19.15	15.73	19.49	19.63	19.84	20.25
Peso de Capsula + Muestra Húme	103.77	102.63	80.27	75.20	90.34	72.03	108.14	114.77	98.98	104.37
Peso de Capsula + Muestra Seca	94.34	93.45	71.47	67.46	79.23	63.14	92.41	97.77	83.26	87.54
Peso del Agua (gr)	9.43	9.18	8.80	7.74	11.11	8.89	15.73	17.00	15.72	16.83
Peso de la Muestra Seca (gr)	76.09	72.92	55.84	48.28	60.08	47.41	72.92	78.14	63.42	67.29
Contenido de Humedad	12.39%	12.59%	15.76%	16.03%	18.49%	18.75%	21.57%	21.76%	24.79%	25.01%
<b>Contenido de Humedad Promedio</b>	<b>12.49%</b>		<b>15.90%</b>		<b>18.62%</b>		<b>21.66%</b>		<b>24.90%</b>	

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 129 Curva de Ensayo de Compactación – Proctor Modificado de Suelo Arcilloso sin Colofonia de Pino



Densidad Seca Máxima =	1.77 gr/cm3
Contenido de Humedad Óptimo =	18.00%

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)





Tabla 130 Ensayo de Compactación – Proctor Modificado de Suelo Arcilloso con 3% Colofonia de Pino

UBICACIÓN: APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

MUESTRA: Alterada  
% DE COLOFONIA: 3.00%

RELACIONES HUMEDAD - DENSIDAD (PROCTOR)

MTC E 115 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-1557 y AASHTO T-180

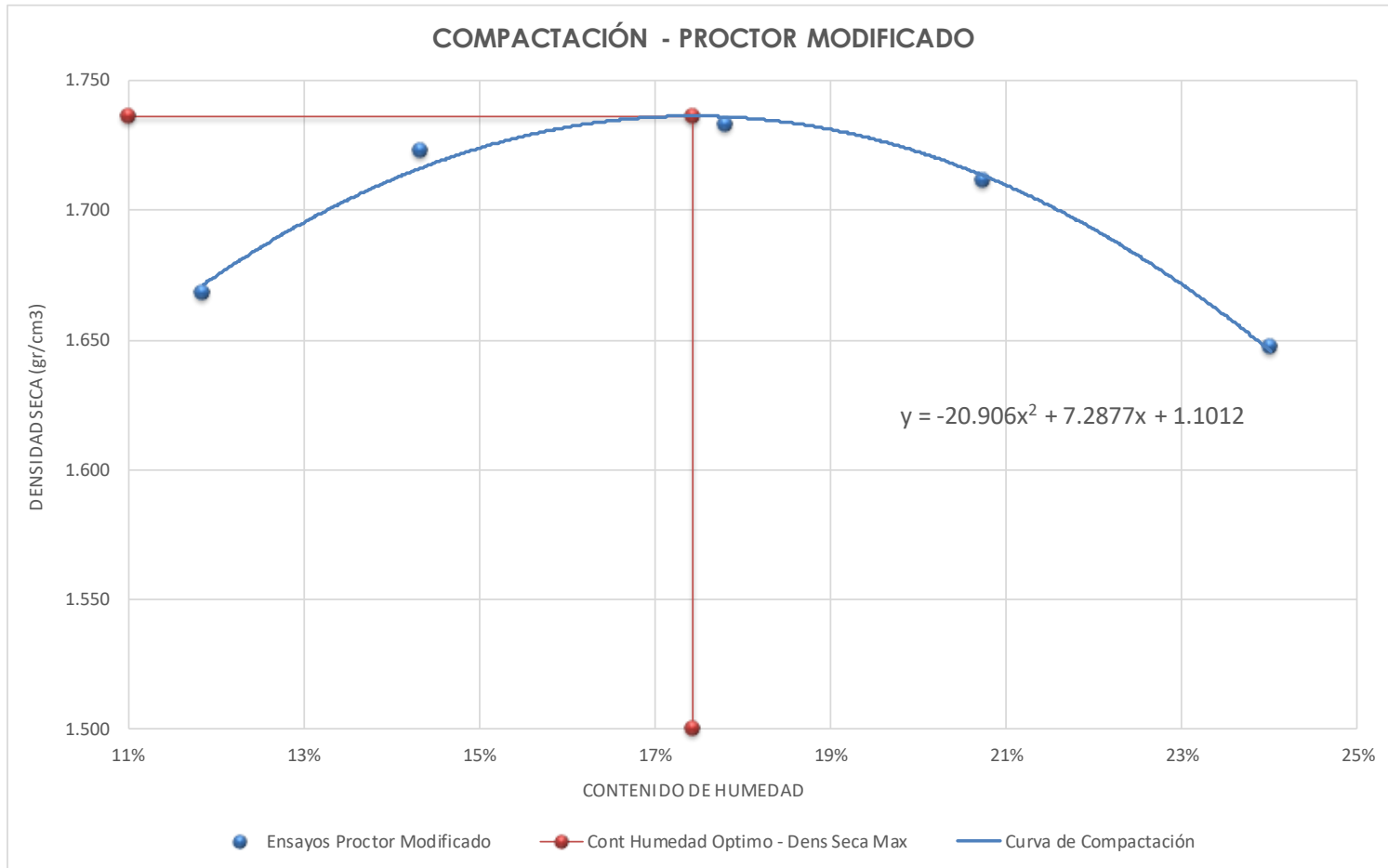
Características del Ensayo de Compactación		Método:	A
Número de Capas:	5	Golpes por Capa =	25
Altura de Caída del Martillo=	45.72 cm	Peso del Martillo =	4.54 Kg

Obtención de la Densidad	Punto N° 01		Punto N° 02		Punto N° 03		Punto N° 04		Punto N° 05	
Molde	M-B		M-B		M-B		M-B		M-B	
Diámetro del Molde (cm)	10.12		10.12		10.12		10.12		10.12	
Altura del molde (cm)	11.64		11.64		11.64		11.64		11.64	
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	936.43		936.43		936.43		936.43		936.43	
Peso del Molde (gr)	4000.00		4000.00		4000.00		4000.00		4000.00	
Peso del Molde + Muestra Compactada	5747.00		5845.00		5912.00		5935.00		5913.00	
Peso de la Muestra Compactada	1747.00		1845.00		1912.00		1935.00		1913.00	
Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.87		1.97		2.04		2.07		2.04	
<b>Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.668</b>		<b>1.723</b>		<b>1.733</b>		<b>1.711</b>		<b>1.647</b>	
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>
Peso de Capsula (gr)	18.00	19.61	15.51	17.81	17.02	15.75	15.17	16.28	17.52	15.21
Peso de Capsula + Muestra Húmeda	74.59	85.60	89.18	105.08	93.10	106.90	97.38	110.49	113.25	110.90
Peso de Capsula + Muestra Seca	68.60	78.60	79.92	94.16	81.71	93.00	83.28	94.28	94.77	92.32
Peso del Agua (gr)	5.99	7.00	9.26	10.92	11.39	13.90	14.10	16.21	18.48	18.58
Peso de la Muestra Seca (gr)	50.60	58.99	64.41	76.35	64.69	77.25	68.11	78.00	77.25	77.11
Contenido de Humedad	11.84%	11.87%	14.38%	14.30%	17.61%	17.99%	20.70%	20.78%	23.92%	24.10%
<b>Contenido de Humedad Promedio</b>	<b>11.85%</b>		<b>14.34%</b>		<b>17.80%</b>		<b>20.74%</b>		<b>24.01%</b>	

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 131 Curva de Ensayo de Compactación – Proctor Modificado de Suelo Arcilloso con 3% Colofonia de Pino



Densidad Seca Máxima =	1.74 gr/cm <sup>3</sup>
Contenido de Humedad Óptimo =	17.43%

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 132 Ensayo de Compactación – Proctor Modificado de Suelo Arcilloso con 5% Colofonia de Pino

UBICACIÓN: APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

MUESTRA: Alterada  
% DE COLOFONIA: 5.00%

RELACIONES HUMEDAD - DENSIDAD (PROCTOR)

MTC E 115 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-1557 y AASHTO T-180

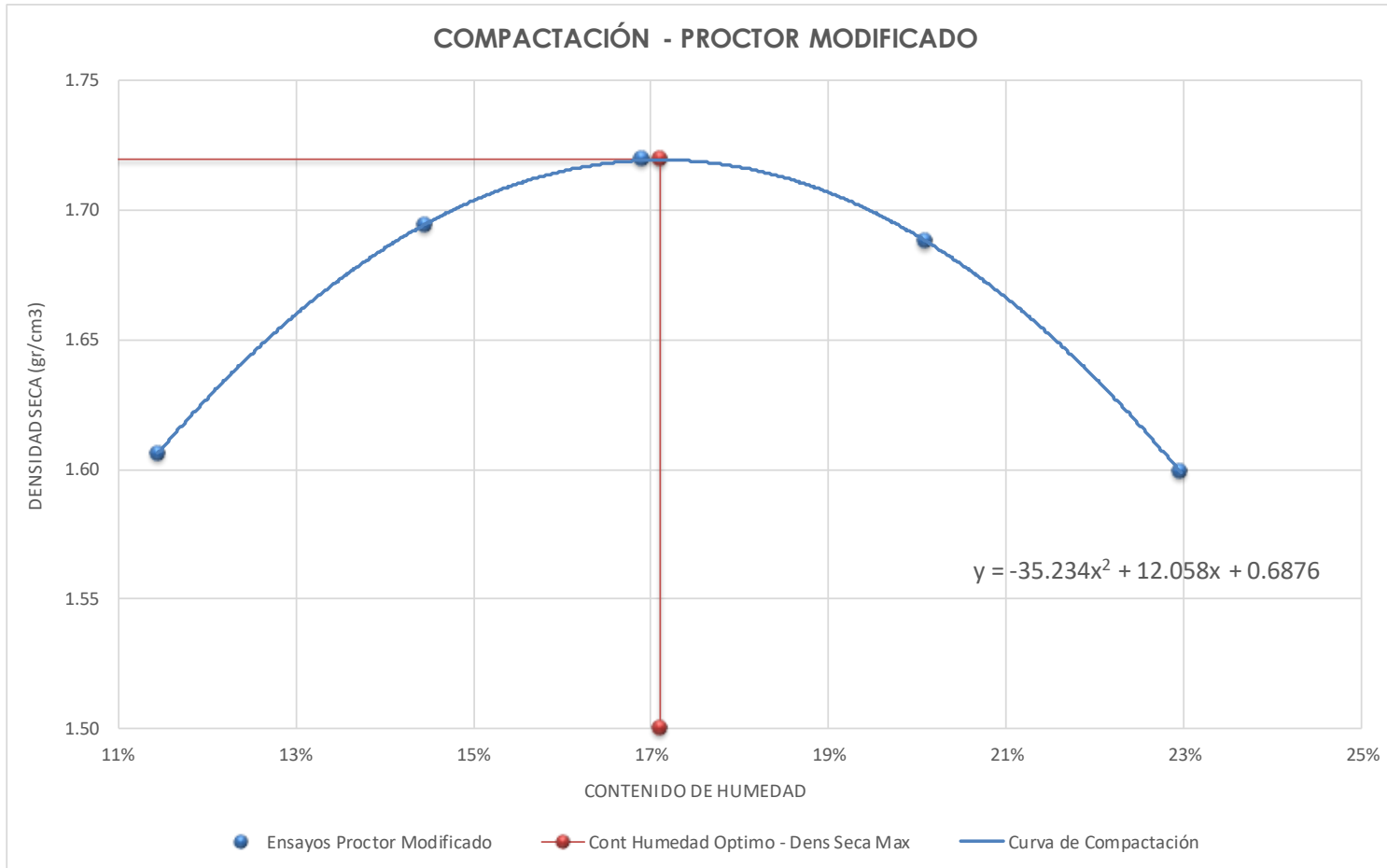
Características del Ensayo de Compactación		Método:	A
Número de Capas:	5	Golpes por Capa =	25
Altura de Caída del Marillo=	45.72 cm	Peso del Martillo =	4.54 Kg

Obtención de la Densidad	Punto N° 01		Punto N° 02		Punto N° 03		Punto N° 04		Punto N° 05	
Molde	M-B		M-B		M-B		M-B		M-B	
Diámetro del Molde (cm)	10.12		10.12		10.12		10.12		10.12	
Altura del molde (cm)	11.64		11.64		11.64		11.64		11.64	
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	936.43		936.43		936.43		936.43		936.43	
Peso del Molde (gr)	4000.00		4000.00		4000.00		4000.00		4000.00	
Peso del Molde + Muestra Compactada	5676.00		5816.00		5882.00		5898.00		5841.00	
Peso de la Muestra Compactada	1676.00		1816.00		1882.00		1898.00		1841.00	
Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.79		1.94		2.01		2.03		1.97	
<b>Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.61</b>		<b>1.69</b>		<b>1.72</b>		<b>1.69</b>		<b>1.60</b>	
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>
Peso de Capsula (gr)	16.79	15.99	19.86	19.68	19.64	17.36	19.56	15.51	17.26	17.15
Peso de Capsula + Muestra Húmeda	101.36	94.11	99.19	91.62	77.06	95.50	78.73	96.97	117.42	83.03
Peso de Capsula + Muestra Seca	92.74	86.03	89.24	82.48	68.82	84.13	68.89	83.27	98.77	70.69
Peso del Agua (gr)	8.62	8.08	9.95	9.14	8.24	11.37	9.84	13.70	18.65	12.34
Peso de la Muestra Seca (gr)	75.95	70.04	69.38	62.80	49.18	66.77	49.33	67.76	81.51	53.54
Contenido de Humedad	11.35%	11.54%	14.34%	14.55%	16.75%	17.03%	19.95%	20.22%	22.88%	23.05%
<b>Contenido de Humedad Promedio</b>	<b>11.44%</b>		<b>14.45%</b>		<b>16.89%</b>		<b>20.08%</b>		<b>22.96%</b>	

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 133 Curva de Ensayo de Compactación – Proctor Modificado de Suelo Arcilloso con 5% Colofonia de Pino



Densidad Seca Máxima =	1.72 gr/cm <sup>3</sup>
Contenido de Humedad Óptimo =	17.11%

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 134 Ensayo de Compactación – Proctor Modificado de Suelo Arcilloso con 7% Colofonia de Pino

UBICACIÓN: APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

MUESTRA: Alterada  
% DE COLOFONIA: 7.00%

RELACIONES HUMEDAD - DENSIDAD (PROCTOR)

MTC E 115 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-1557 y AASHTO T-180

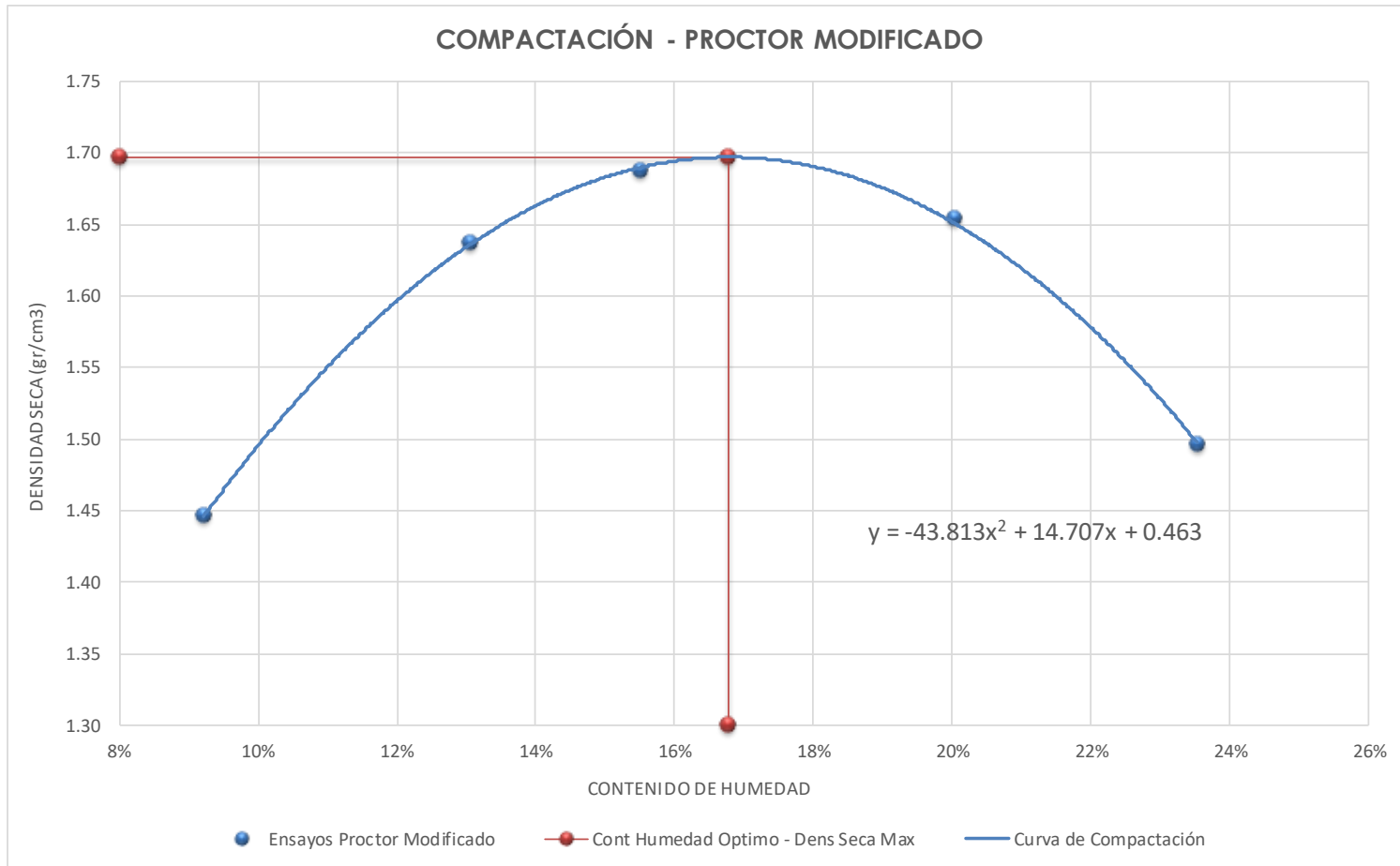
Características del Ensayo de Compactación		Método:	A
Número de Capas:	5	Golpes por Capa =	25
Altura de Caída del Martillo=	45.72 cm	Peso del Martillo =	4.54 Kg

Obtención de la Densidad	Punto N° 01		Punto N° 02		Punto N° 03		Punto N° 04		Punto N° 05	
Molde	M-B		M-B		M-B		M-B		M-B	
Diámetro del Molde (cm)	10.12		10.12		10.12		10.12		10.12	
Altura del molde (cm)	11.64		11.64		11.64		11.64		11.64	
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	936.43		936.43		936.43		936.43		936.43	
Peso del Molde (gr)	4000.00		4000.00		4000.00		4000.00		4000.00	
Peso del Molde + Muestra Compactada	5480.00		5733.00		5825.00		5859.00		5731.00	
Peso de la Muestra Compactada	1480.00		1733.00		1825.00		1859.00		1731.00	
Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.58		1.85		1.95		1.99		1.85	
<b>Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.45</b>		<b>1.64</b>		<b>1.69</b>		<b>1.65</b>		<b>1.50</b>	
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>	<b>Arriba</b>	<b>Abajo</b>
Peso de Capsula (gr)	19.13	20.93	19.29	17.38	17.82	20.36	18.50	20.28	17.76	18.60
Peso de Capsula + Muestra Húmeda	77.03	88.05	100.90	78.01	80.43	79.00	112.15	98.02	113.25	82.23
Peso de Capsula + Muestra Seca	72.23	82.28	91.53	70.97	72.11	71.05	96.60	84.98	95.13	70.06
Peso del Agua (gr)	4.80	5.77	9.37	7.04	8.32	7.95	15.55	13.04	18.12	12.17
Peso de la Muestra Seca (gr)	53.10	61.35	72.24	53.59	54.29	50.69	78.10	64.70	77.37	51.46
Contenido de Humedad	9.04%	9.41%	12.97%	13.14%	15.33%	15.68%	19.91%	20.15%	23.42%	23.65%
<b>Contenido de Humedad Promedio</b>	<b>9.22%</b>		<b>13.05%</b>		<b>15.50%</b>		<b>20.03%</b>		<b>23.53%</b>	

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 135 Curva de Ensayo de Compactación – Proctor Modificado de Suelo Arcilloso con 7% Colofonia de Pino



Densidad Seca Máxima =	1.70 gr/cm <sup>3</sup>
Contenido de Humedad Óptimo =	16.78%

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



- **Análisis del Ensayo**

Conforme a los registros presentados tanto en los cuadros como en los gráficos anteriores, se puede observar que la densidad de las muestras de suelo arcilloso mejorados con Colofonia de Pino presenta una relación proporcionalmente indirecta en relación al porcentaje de colofonia adicionado.

Por ende, se puede deducir que, en base al peso específico, tanto del suelo arcilloso como de la Colofonia de Pino molida, con la adición del 7% de la Colofonia de Pino como material mejorante, la densidad máxima seca de la muestra patrón se irá reduciendo de 1.77 gr/cm<sup>3</sup> a 1.70 gr/cm<sup>3</sup>.

No obstante, en relación al contenido de humedad óptimo para cada una de las muestras mejoradas, este valor desciende del 18% al 16.78%.

### 3.6.6. CBR de Suelos (MTC E-132)

- **Procesamiento del Ensayo:**

La capacidad de Soporte, definida para el área de ingeniería de transportes por la relación de CBR, para ello se aplicarán las siguientes formulas:

Porcentaje de Humedad:

$$W (\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_t} * 100 = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Donde:

W : Porcentaje de humedad (%)

W<sub>w</sub> : Peso del agua (gr)

W<sub>s</sub> : Peso de la muestra seca (gr)

W<sub>1</sub> : Peso de la capsula más la muestra húmeda (gr)



Densidad Húmeda:

$$\rho_{hum} = \frac{Whum}{V}$$

Donde:

$\rho_{hum}$  : Densidad húmeda (gr/cm<sup>3</sup>)

Whum : Peso de la muestra húmeda (gr)

V : Volumen del molde (cm<sup>3</sup>)

Densidad Seca:

$$\rho_s = \frac{\rho_{hum}}{1 + W}$$

Donde:

$\rho_s$  : Densidad seca (gr/cm<sup>3</sup>)

W : Porcentaje de humedad (%)

El número CBR se obtiene como la relación de la carga unitaria del ensayo (lbs/pulg<sup>2</sup> o Kg/cm<sup>2</sup>) del pistón de penetración, necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración (19.4 cm<sup>2</sup>) en una muestra compactada de suelo a una densidad y contenido de humedad establecidas con respecto a la carga unitaria patrón requerido para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado. El número CBR está representada mediante la siguiente ecuación:

$$CBR = \frac{Carga\ unitaria\ del\ ensayo}{Carga\ unitaria\ patrón} \times 100\%$$

El porcentaje de expansión se halla mediante la fórmula:

$$\%Expansión = \frac{L1 - L2}{127} \times 100\%$$

Donde:

L1 : Lectura inicial en mm

L2 : Lectura final en mm





• **Procesamiento de Datos y Gráficas del Ensayo**

Tabla 136 Ensayo de CBR – Moldeo de Suelo Arcilloso sin Colofonia de Pino

UBICACIÓN: APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

MUESTRA: Alterada  
% DE COLOFONIA: 0.00%

**RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)**

MTC E 132 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193

Datos del Ensayo Proctor Modificado	Datos del Anillo y Pistón de Carga	Datos del Molde CBR
Densidad Seca Máxima = 1.77 cm <sup>3</sup>	Constante del Anillo de Carga = $A_0 + (A_1 * X) + (A_2 * X^2) + (A_3 * X^3)$	Diámetro = 15.23 cm
Contenido Humedad Óptimo = 18.00%	A0 = -2.57E-01      A2 = -3.05E-05	Altura = 17.78 cm
Suelo - SUCS = CL	A1 = 6.50E-02      A3 = 1.63E-08	Altura de la Muestra = 11.63 cm
Suelo - AASHTO = A-7-6 (12) :	Áltura del Pistón = 17.10 cm	Altura del Collarín = 11.63 cm
	Área del Pistón = 20.27 cm <sup>2</sup>	Volumen = 2118.70 cm <sup>3</sup>

Ensayo de Compactación	Moldeo N° 1			Moldeo N° 2			Moldeo N° 3		
Número de Golpes por Capa	55			26			12		
Peso del Molde (gr)	7310.00			7205.00			7365.00		
Peso del Molde + Muestra Compactada (gr)	11710.00			11490.00			11295.00		
Peso de la Muestra Compactada (gr)	4400.00			4285.00			3930.00		
Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	2.08			2.02			1.85		
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.76			1.72			1.57		
Contenido de Humedad	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Peso de Capsula (gr)	16.49	19.54	17.07	19.69	19.15	18.69	19.05	18.17	15.14
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	98.35	109.33	84.86	106.82	107.99	86.66	72.41	92.20	96.18
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	85.89	95.60	74.60	93.59	94.44	76.40	64.33	80.93	83.96
Peso del Agua (gr)	12.46	13.73	10.26	13.23	13.55	10.26	8.08	11.27	12.22
Peso de la Muestra Seca (gr)	69.40	76.06	57.53	73.90	75.29	57.71	45.28	62.76	68.82
Contenido de Humedad	17.95%	18.05%	17.83%	17.90%	18.00%	17.78%	17.84%	17.96%	17.76%
Contenido de Humedad Promedio	17.95%			17.89%			17.85%		

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 137 Ensayo de CBR – Absorción y Expansión de Suelo Arcilloso sin Colofonia de Pino

Ensayo de Absorción	Moldeo N° 4 / 55 Golpes			Moldeo N° 5 / 26 Golpes			Moldeo N° 6 / 12 Golpes		
Peso del Molde (gr)	7517.50			7059.00			6836.50		
Peso del Molde + Muestra Compactada, antes de la inmersión (gr)	11831.50			11281.00			10694.50		
Peso del Molde + Muestra Compactada, después de la inmersión (gr)	12069.00			11576.50			11162.50		
Peso del Agua Absorbida (gr)	237.50			295.50			468.00		
Peso de la Muestra Compactada, antes de la inmersión (gr)	4314.00			4222.00			3858.00		
Peso de la Muestra Compactada, después de la inmersión (gr)	4551.50			4517.50			4326.00		
Peso de la Muestra Seca (gr)	3640.31			3589.15			3287.98		
Porcentaje de Absorción	6.52%			8.23%			14.23%		
Contenido de Humedad después de la Absorción	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Peso de Capsula (gr)	18.66	25.05	27.35	25.50	28.10	29.80	30.80	28.70	30.95
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	83.24	107.57	95.68	85.85	90.84	111.01	85.58	110.22	116.82
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	70.32	91.10	81.95	73.45	78.00	94.25	72.45	90.70	96.15
Peso del Agua (gr)	12.92	16.47	13.73	12.40	12.84	16.76	13.13	19.52	20.67
Peso de la Muestra Seca (gr)	51.66	66.05	54.60	47.95	49.90	64.45	41.65	62.00	65.20
Contenido de Humedad	25.01%	24.94%	25.15%	25.86%	25.73%	26.00%	31.52%	31.48%	31.70%
Contenido de Humedad Promedio	25.03%			25.87%			31.57%		
Porcentaje de Absorción	7.08%			7.97%			13.72%		
<b>Porcentaje de Absorción Promedio</b>	<b>6.80%</b>			<b>8.10%</b>			<b>13.98%</b>		

Ensayo de Expansión			Moldeo N° 4 / 55 Golpes			Moldeo N° 5 / 26 Golpes			Moldeo N° 6 / 12 Golpes		
Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido	Dial	Deform	% de	Dial	Deform	% de	Dial	Deform	% de
		Horas	0.01 mm	mm	Expans.	0.01 mm	mm	Expans.	0.01 mm	mm	Expans.
9 de Enero de 2022	19:00	0 h 00 min	0	0.000	0.00%	0	0.000	0.00%	0	0.000	0.00%
10 de Enero de 2022	07:00	12 h 00 min	203	2.030	1.75%	237	2.370	2.04%	340	3.400	2.92%
10 de Enero de 2022	19:00	24 h 00 min	311	3.110	2.67%	360	3.600	3.10%	454	4.540	3.90%
11 de Enero de 2022	19:00	48 h 00 min	422	4.220	3.63%	498	4.980	4.28%	592	5.920	5.09%
13 de Enero de 2022	19:00	96 h 00 min	527	5.270	<b>4.53%</b>	620	6.200	<b>5.33%</b>	765	7.650	<b>6.58%</b>

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 138 Ensayo de CBR – Penetración de Suelo Arcilloso sin Colofonia de Pino

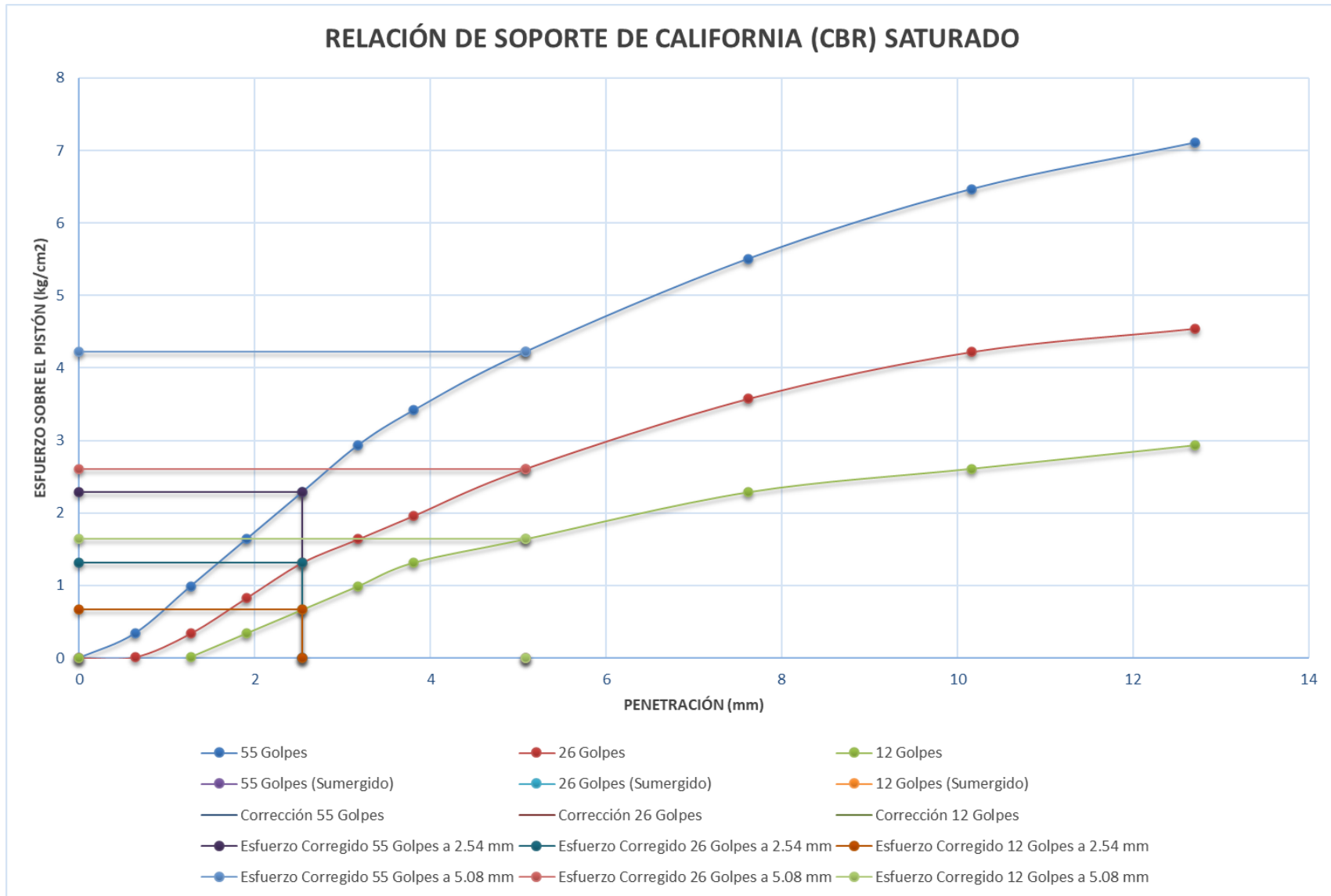
Ensayo de Penetración			Moldeo N° 4 / 55 Golpes				Moldeo N° 5 / 26 Golpes				Moldeo N° 6 / 12 Golpes			
Carga Unitaria Patrón	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm2			%	kg			kg/cm2	%	
	0	0.000	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
	25	0.635	5	6.88	0.34		4	0.28	0.01		3	-6.32	-0.31	
	50	1.270	7	20.05	0.99		5	6.88	0.34		4	0.28	0.01	
	75	1.905	9	33.21	1.64		6.5	16.76	0.83		5	6.88	0.34	
70.31	100	2.540	11	46.33	2.29	3.25%	8	26.63	1.31	1.87%	6	13.47	0.66	0.95%
	125	3.175	13	59.44	2.93		9	33.21	1.64		7	20.05	0.99	
	150	3.810	14.5	69.25	3.42		10	39.77	1.96		8	26.63	1.31	
105.46	200	5.080	17	85.57	4.22	4.00%	12	52.89	2.61	2.47%	9	33.21	1.64	1.55%
	300	7.620	21	111.60	5.51		15	72.51	3.58		11	46.33	2.29	
	400	10.160	24	131.07	6.47		17	85.57	4.22		12	52.89	2.61	
	500	12.700	27	150.47	7.42		19	98.60	4.86		14	65.98	3.25	

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 139 Gráfica de CBR de Suelo Arcilloso sin Colofonia de Pino

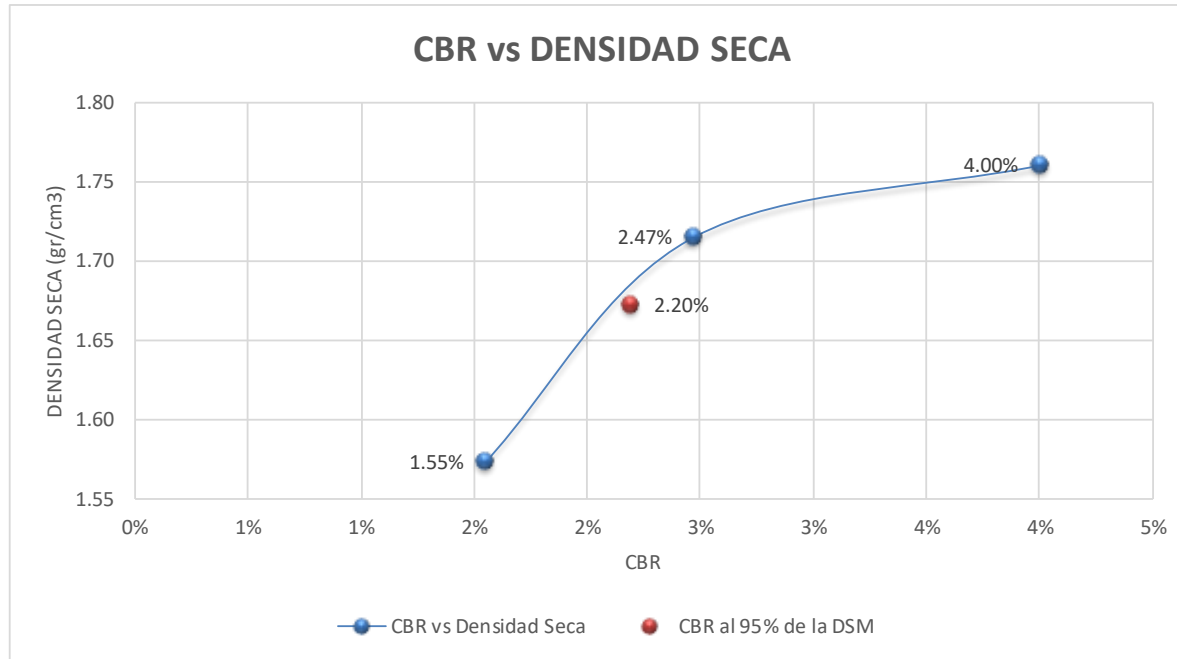
### RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) SATURADO



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 140 Determinación del Valor de CBR de Suelo Arcilloso sin Colofonia de Pino



**RESULTADOS**

Número de Golpes	Expansión	Absorción
55	4.53%	6.80%
26	5.33%	8.10%
12	6.58%	13.98%

Número de Golpes	CBR	Densidad Seca
55	4.00%	1.76 gr/cm <sup>3</sup>
26	2.47%	1.72 gr/cm <sup>3</sup>
12	1.55%	1.57 gr/cm <sup>3</sup>

Datos de la Compactación	Resultado
Densidad Seca Máxima	1.76
95% de la DSM	1.67

Resultados Finales/ CBR condición Húmeda	Resultado
CBR al 100% de la DSM	4.00%
CBR al 95% de la DSM	2.20%

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 141 Ensayo de CBR – Moldeo de Suelo Arcilloso con 3% de Colofonia de Pino

UBICACIÓN: APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

MUESTRA: Alterada  
% DE COLOFONIA: 3.00%

RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)

MTC E 132 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193

Datos del Ensayo Proctor Modificado	Datos del Anillo y Pistón de Carga	Datos del Molde CBR
Densidad Seca Máxima = 1.74 cm <sup>3</sup>	Constante del Anillo de Carga = $A_0 + (A_1 * X) + (A_2 * X^2) + (A_3 * X^3)$	Diámetro = 15.23 cm
Contenido Humedad Óptimo = 17.43%	A0 = -2.57E-01      A2 = -3.05E-05	Altura = 17.78 cm
Suelo - SUCS = CL	A1 = 6.50E-02      A3 = 1.63E-08	Altura de la Muestra = 11.63 cm
Suelo - AASHTO = A-7-6 (12) :	Áltura del Pistón = 17.10 cm	Altura del Collarín = 11.63 cm
	Área del Pistón = 20.27 cm <sup>2</sup>	Volumen = 2118.70 cm <sup>3</sup>

Ensayo de Compactación	Moldeo N° 1			Moldeo N° 2			Moldeo N° 3		
Número de Golpes por Capa	55			26			12		
Peso del Molde (gr)	7370.00			7370.00			7230.00		
Peso del Molde + Muestra Compactada (gr)	11665.00			11555.00			11215.00		
Peso de la Muestra Compactada (gr)	4295.00			4185.00			3985.00		
Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	2.03			1.98			1.88		
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.73			1.68			1.60		
Contenido de Humedad	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Peso de Capsula (gr)	19.05	18.00	18.11	19.94	15.97	15.73	16.82	18.20	18.84
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	86.14	90.80	109.30	95.09	109.94	76.03	91.91	98.30	100.14
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	76.21	79.96	95.86	83.99	96.00	67.18	80.85	86.44	88.22
Peso del Agua (gr)	9.93	10.84	13.44	11.10	13.94	8.85	11.06	11.86	11.92
Peso de la Muestra Seca (gr)	57.16	61.96	77.75	64.05	80.03	51.45	64.03	68.24	69.38
Contenido de Humedad	17.37%	17.50%	17.29%	17.33%	17.42%	17.20%	17.27%	17.38%	17.18%
Contenido de Humedad Promedio	17.38%			17.32%			17.28%		

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 142 Ensayo de CBR – Absorción y Expansión de Suelo Arcilloso con 3% de Colofonia de Pino

Ensayo de Absorción	Moldeo N° 4 / 55 Golpes			Moldeo N° 5 / 26 Golpes			Moldeo N° 6 / 12 Golpes		
Peso del Molde (gr)	8314.00			6837.00			7325.00		
Peso del Molde + Muestra Compactada, antes de la inmersión (gr)	12479.50			10863.00			11195.00		
Peso del Molde + Muestra Compactada, después de la inmersión (gr)	12672.50			11144.50			11580.00		
Peso del Agua Absorbida (gr)	193.00			281.50			385.00		
Peso de la Muestra Compactada, antes de la inmersión (gr)	4165.50			4026.00			3870.00		
Peso de la Muestra Compactada, después de la inmersión (gr)	4358.50			4307.50			4255.00		
Peso de la Muestra Seca (gr)	3524.41			3437.46			3306.59		
Porcentaje de Absorción	5.48%			8.19%			11.64%		
Contenido de Humedad después de la Absorción	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Peso de Capsula (gr)	20.07	26.90	27.25	25.80	25.75	29.00	25.90	25.40	26.35
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	115.72	84.45	85.00	90.07	114.22	117.99	95.06	110.39	108.46
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	97.39	73.50	73.90	77.10	96.40	99.95	79.65	91.50	90.10
Peso del Agua (gr)	18.33	10.95	11.10	12.97	17.82	18.04	15.41	18.89	18.36
Peso de la Muestra Seca (gr)	77.32	46.60	46.65	51.30	70.65	70.95	53.75	66.10	63.75
Contenido de Humedad	23.71%	23.50%	23.79%	25.28%	25.22%	25.43%	28.67%	28.58%	28.80%
Contenido de Humedad Promedio	23.67%			25.31%			28.68%		
Porcentaje de Absorción	6.28%			7.99%			11.40%		
<b>Porcentaje de Absorción Promedio</b>	<b>5.88%</b>			<b>8.09%</b>			<b>11.52%</b>		

Ensayo de Expansión			Moldeo N° 4 / 55 Golpes			Moldeo N° 5 / 26 Golpes			Moldeo N° 6 / 12 Golpes		
Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido	Dial	Deform	% de	Dial	Deform	% de	Dial	Deform	% de
		Horas	0.01 mm	mm	Expans.	0.01 mm	mm	Expans.	0.01 mm	mm	Expans.
9 de Enero de 2020	19:00	0 h 00 min	0	0.000	0.00%	0	0.000	0.00%	0	0.000	0.00%
10 de Enero de 2020	07:00	12 h 00 min	291	2.910	2.50%	314	3.140	2.70%	365	3.650	3.14%
10 de Enero de 2020	19:00	24 h 00 min	375	3.750	3.22%	405	4.050	3.48%	492	4.920	4.23%
11 de Enero de 2020	19:00	48 h 00 min	394	3.940	3.39%	426	4.260	3.66%	541	5.410	4.65%
13 de Enero de 2020	19:00	96 h 00 min	454	4.540	<b>3.90%</b>	547	5.470	<b>4.70%</b>	643	6.430	<b>5.53%</b>

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 143 Ensayo de CBR – Penetración de Suelo Arcilloso con 3% de Colofonia de Pino

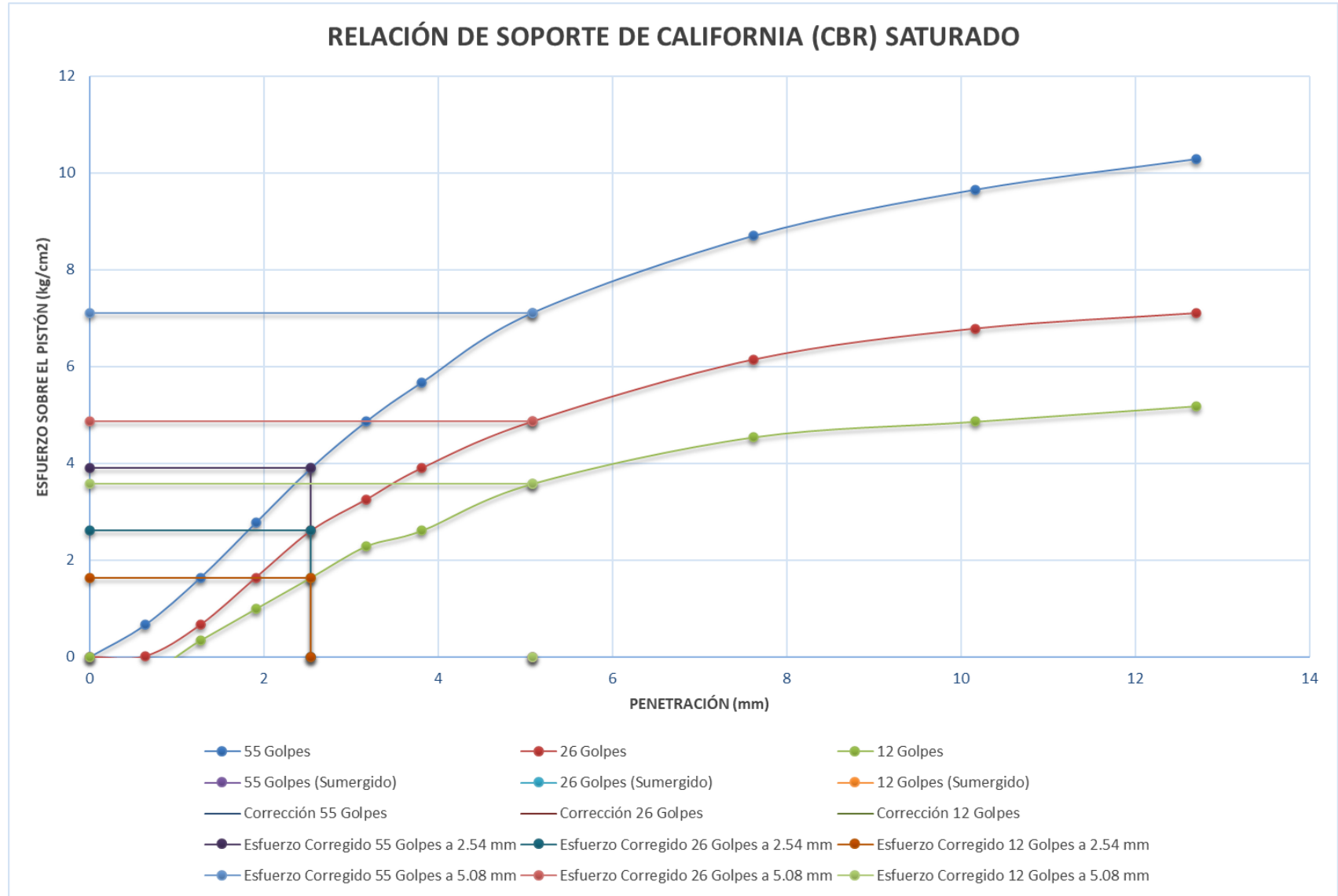
Ensayo de Penetración			Moldeo N° 4 / 55 Golpes				Moldeo N° 5 / 26 Golpes				Moldeo N° 6 / 12 Golpes			
Carga Unitaria Patrón	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm2			%	kg			kg/cm2	%	
	0	0.000	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
	25	0.635	6	13.47	0.66		4	0.28	0.01		3	-6.32	-0.31	
	50	1.270	9	33.21	1.64		6	13.47	0.66		5	6.88	0.34	
	75	1.905	12.5	56.16	2.77		9	33.21	1.64		7	20.05	0.99	
70.31	100	2.540	16	79.04	3.90	5.55%	12	52.89	2.61	3.71%	9	33.21	1.64	2.33%
	125	3.175	19	98.60	4.86		14	65.98	3.25		11	46.33	2.29	
	150	3.810	21.5	114.85	5.67		16	79.04	3.90		12	52.89	2.61	
105.46	200	5.080	26	144.01	7.10	6.74%	19	98.60	4.86	4.61%	15	72.51	3.58	3.39%
	300	7.620	31	176.27	8.70		23	124.58	6.15		18	92.09	4.54	
	400	10.160	34	195.56	9.65		25	137.54	6.79		19	98.60	4.86	
	500	12.700	36	208.38	10.28		26	144.01	7.10		20	105.10	5.19	

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)





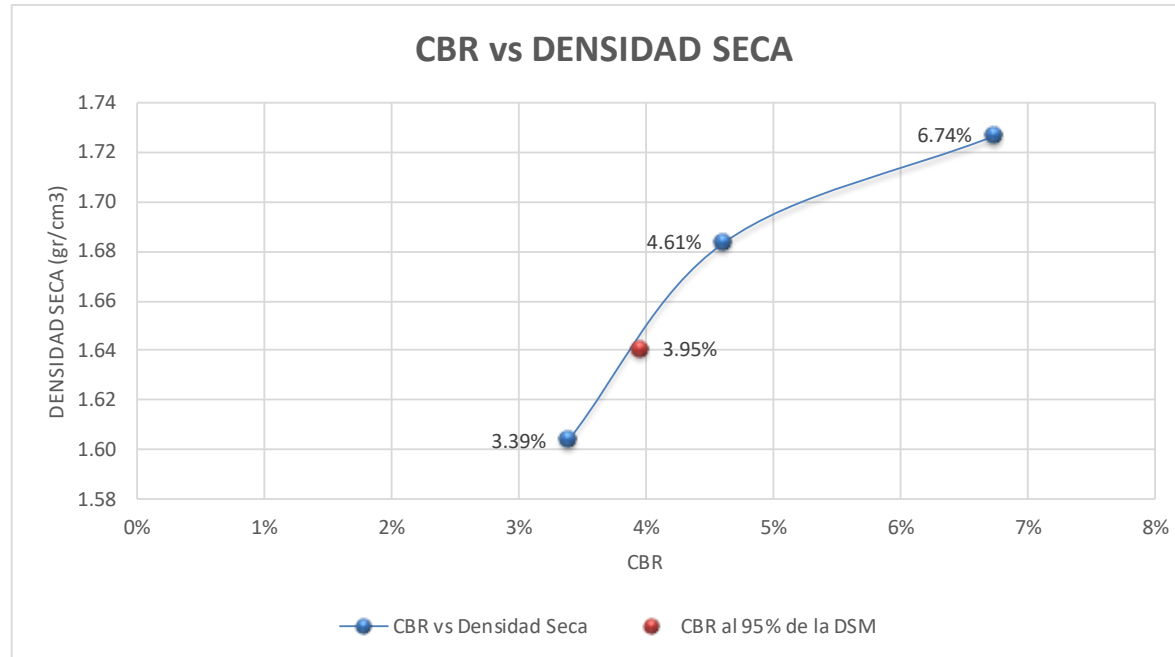
Tabla 144 Gráfica de CBR de Suelo Arcilloso con 3% de Colofonia de Pino



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 145 Determinación del Valor de CBR de Suelo Arcilloso con 3% de Colofonia de Pino



**RESULTADOS**

Número de Golpes	Expansión	Absorción
55	3.90%	5.88%
26	4.70%	8.09%
12	5.53%	11.52%

Número de Golpes	CBR	Densidad Seca
55	6.74%	1.73 gr/cm <sup>3</sup>
26	4.61%	1.68 gr/cm <sup>3</sup>
12	3.39%	1.60 gr/cm <sup>3</sup>

Datos de la Compactación	Resultado
Densidad Seca Máxima	1.73
95% de la DSM	1.64

Resultados Finales/ CBR condición Húmeda	Resultado
CBR al 100% de la DSM	6.74%
CBR al 95% de la DSM	3.95%

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 146 Ensayo de CBR – Moldeo de Suelo Arcilloso con 5% de Colofonia de Pino

UBICACIÓN: APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

MUESTRA: Alterada  
% DE COLOFONIA: 5.00%

RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)

MTC E 132 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193

Datos del Ensayo Proctor Modificado	Datos del Anillo y Pistón de Carga	Datos del Molde CBR
Densidad Seca Máxima = 1.72 cm <sup>3</sup>	Constante del Anillo de Carga = $A_0 + (A_1 * X) + (A_2 * X^2) + (A_3 * X^3)$	Diámetro = 15.23 cm
Contenido Humedad Óptimo = 17.11%	A0 = -2.57E-01      A2 = -3.05E-05	Altura = 17.78 cm
Suelo - SUCS = CL	A1 = 6.50E-02      A3 = 1.63E-08	Altura de la Muestra = 11.63 cm
Suelo - AASHTO = A-7-6 (12) :	Áltura del Pistón = 17.10 cm	Altura del Collarín = 11.63 cm
	Área del Pistón = 20.27 cm <sup>2</sup>	Volumen = 2118.70 cm <sup>3</sup>

Ensayo de Compactación	Moldeo N° 1			Moldeo N° 2			Moldeo N° 3		
Número de Golpes por Capa	55			26			12		
Peso del Molde (gr)	7335.00			7385.00			7380.00		
Peso del Molde + Muestra Compactada (gr)	11575.00			11455.00			11235.00		
Peso de la Muestra Compactada (gr)	4240.00			4070.00			3855.00		
Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	2.00			1.92			1.82		
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.71			1.64			1.56		
Contenido de Humedad	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Peso de Capsula (gr)	19.87	20.17	18.85	20.50	15.09	20.37	17.75	15.59	19.22
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	97.55	76.46	73.42	98.07	98.43	77.34	93.69	86.47	93.56
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	86.23	68.20	65.53	86.79	86.25	69.12	82.68	76.13	82.84
Peso del Agua (gr)	11.32	8.26	7.89	11.28	12.18	8.22	11.01	10.34	10.72
Peso de la Muestra Seca (gr)	66.36	48.03	46.68	66.29	71.16	48.75	64.93	60.54	63.62
Contenido de Humedad	17.06%	17.20%	16.90%	17.02%	17.12%	16.86%	16.96%	17.08%	16.85%
Contenido de Humedad Promedio	17.05%			17.00%			16.96%		

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 147 Ensayo de CBR – Absorción y Expansión de Suelo Arcilloso con 5% de Colofonia de Pino

Ensayo de Absorción	Moldeo N° 4 / 55 Golpes			Moldeo N° 5 / 26 Golpes			Moldeo N° 6 / 12 Golpes		
Peso del Molde (gr)	7265.00			7235.00			7225.00		
Peso del Molde + Muestra Compactada, antes de la inmersión (gr)	11505.00			11225.00			11080.00		
Peso del Molde + Muestra Compactada, después de la inmersión (gr)	11655.00			11475.00			11385.00		
Peso del Agua Absorbida (gr)	150.00			250.00			305.00		
Peso de la Muestra Compactada, antes de la inmersión (gr)	4240.00			3990.00			3855.00		
Peso de la Muestra Compactada, después de la inmersión (gr)	4390.00			4240.00			4160.00		
Peso de la Muestra Seca (gr)	3571.54			3413.60			3299.34		
Porcentaje de Absorción	4.20%			7.32%			9.24%		
Contenido de Humedad después de la Absorción	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Peso de Capsula (gr)	20.29	29.90	25.45	30.15	25.35	29.30	28.10	25.35	30.80
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	110.36	79.11	98.86	107.04	98.62	85.87	113.28	91.41	91.57
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	93.54	70.00	85.10	92.05	84.40	74.80	95.65	77.80	78.95
Peso del Agua (gr)	16.82	9.11	13.76	14.99	14.22	11.07	17.63	13.61	12.62
Peso de la Muestra Seca (gr)	73.25	40.10	59.65	61.90	59.05	45.50	67.55	52.45	48.15
Contenido de Humedad	22.96%	22.72%	23.07%	24.22%	24.08%	24.33%	26.10%	25.95%	26.21%
Contenido de Humedad Promedio	22.92%			24.21%			26.09%		
Porcentaje de Absorción	5.86%			7.21%			9.12%		
<b>Porcentaje de Absorción Promedio</b>	<b>5.03%</b>			<b>7.27%</b>			<b>9.18%</b>		

Ensayo de Expansión			Moldeo N° 4 / 55 Golpes			Moldeo N° 5 / 26 Golpes			Moldeo N° 6 / 12 Golpes		
Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido	Dial	Deform	% de	Dial	Deform	% de	Dial	Deform	% de
		Horas	0.01 mm	mm	Expans.	0.01 mm	mm	Expans.	0.01 mm	mm	Expans.
9 de Enero de 2020	19:00	0 h 00 min	0	0.000	0.00%	0	0.000	0.00%	0	0.000	0.00%
10 de Enero de 2020	07:00	12 h 00 min	215	2.150	1.85%	342	3.420	2.94%	344	3.440	2.96%
10 de Enero de 2020	19:00	24 h 00 min	324	3.240	2.79%	430	4.300	3.70%	532	5.320	4.57%
11 de Enero de 2020	19:00	48 h 00 min	345	3.450	2.97%	455	4.550	3.91%	552	5.520	4.75%
13 de Enero de 2020	19:00	96 h 00 min	397	3.970	<b>3.41%</b>	512	5.120	<b>4.40%</b>	619	6.190	<b>5.32%</b>

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



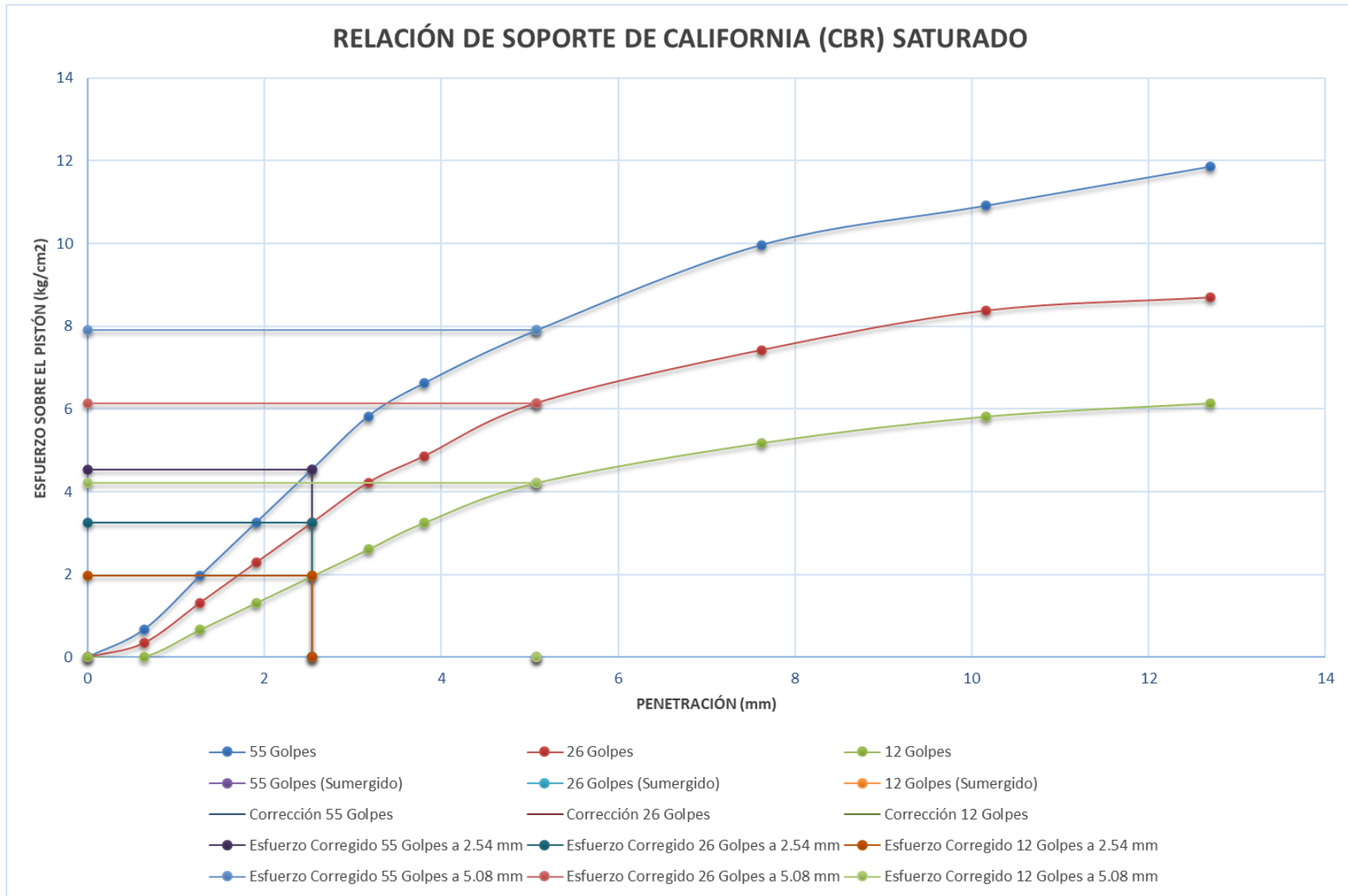
Tabla 148 Ensayo de CBR – Penetración de Suelo Arcilloso con 5% de Colofonia de Pino

Ensayo de Penetración			Moldeo N° 4 / 55 Golpes				Moldeo N° 5 / 26 Golpes				Moldeo N° 6 / 12 Golpes			
Carga Unitaria Patrón	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm2			%	kg			kg/cm2	%	
	0	0.000	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
	25	0.635	6	13.47	0.66		5	6.88	0.34		4	0.28	0.01	
	50	1.270	10	39.77	1.96		8	26.63	1.31		6	13.47	0.66	
	75	1.905	14	65.98	3.25		11	46.33	2.29		8	26.63	1.31	
70.31	100	2.540	18	92.09	4.54	6.46%	14	65.98	3.25	4.63%	10	39.77	1.96	2.79%
	125	3.175	22	118.10	5.83		17	85.57	4.22		12	52.89	2.61	
	150	3.810	24.5	134.30	6.63		19	98.60	4.86		14	65.98	3.25	
105.46	200	5.080	28.5	160.16	7.90	7.49%	23	124.58	6.15	5.83%	17	85.57	4.22	4.00%
	300	7.620	35	201.97	9.96		27	150.47	7.42		20	105.10	5.19	
	400	10.160	38	221.19	10.91		30	169.83	8.38		22	118.10	5.83	
	500	12.700	41	240.35	11.86		31	176.27	8.70		23	124.58	6.15	

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



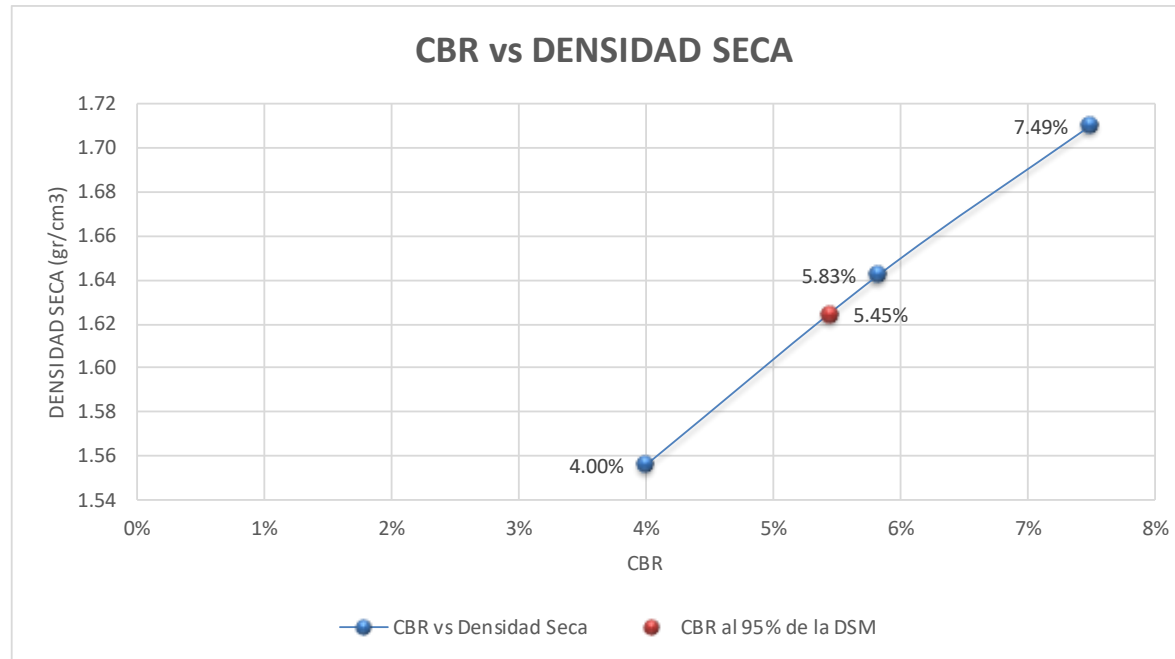
Tabla 149 Gráfica de CBR de Suelo Arcilloso con 5% de Colofonia de Pino



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 150 Determinación del Valor de CBR de Suelo Arcilloso con 5% de Colofonia de Pino



**RESULTADOS**

Número de Golpes	Expansión	Absorción
55	3.41%	5.03%
26	4.40%	7.27%
12	5.32%	9.18%

Número de Golpes	CBR	Densidad Seca
55	7.49%	1.71 gr/cm <sup>3</sup>
26	5.83%	1.64 gr/cm <sup>3</sup>
12	4.00%	1.56 gr/cm <sup>3</sup>

Datos de la Compactación	Resultado
Densidad Seca Máxima	1.71
95% de la DSM	1.62

Resultados Finales/ CBR condición Húmeda	Resultado
CBR al 100% de la DSM	7.49%
CBR al 95% de la DSM	5.45%

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 151 Ensayo de CBR – Moldeo de Suelo Arcilloso con 7% de Colofonia de Pino

UBICACIÓN: APV Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco

MUESTRA: Alterada  
% DE COLOFONIA: 7.00%

RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)

MTC E 132 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193

Datos del Ensayo Proctor Modificado	Datos del Anillo y Pistón de Carga	Datos del Molde CBR
Densidad Seca Máxima = 1.70 cm3	Constante del Anillo de Carga = $A0 + (A1 \cdot X) + (A2 \cdot X^2) + (A3 \cdot X^3)$	Diámetro = 15.23 cm
Contenido Humedad Óptimo = 16.78%	A0 = -2.57E-01      A2 = -3.05E-05	Altura = 17.78 cm
Suelo - SUCS = CL	A1 = 6.50E-02      A3 = 1.63E-08	Altura de la Muestra = 11.63 cm
Suelo - AASHTO = A-7-6 (12) :	Áltura del Pistón = 17.10 cm	Altura del Collarín = 11.63 cm
	Área del Pistón = 20.27 cm2	Volumen = 2118.70 cm3

Ensayo de Compactación	Moldeo N° 1			Moldeo N° 2			Moldeo N° 3		
Número de Golpes por Capa	55			26			12		
Peso del Molde (gr)	7370.00			7285.00			7300.00		
Peso del Molde + Muestra Compactada (gr)	11555.00			11355.00			11185.00		
Peso de la Muestra Compactada (gr)	4185.00			4070.00			3885.00		
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.98			1.92			1.83		
Densidad Seca (gr/cm3)	1.69			1.65			1.57		
Contenido de Humedad	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Peso de Capsula (gr)	20.73	18.09	16.73	19.62	18.07	20.99	15.55	18.57	16.83
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	88.18	85.32	77.90	107.56	99.80	100.64	91.95	107.79	86.05
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	78.51	75.62	69.19	94.99	88.05	89.31	81.05	95.01	76.24
Peso del Agua (gr)	9.67	9.70	8.71	12.57	11.75	11.33	10.90	12.78	9.81
Peso de la Muestra Seca (gr)	57.78	57.53	52.46	75.37	69.98	68.32	65.50	76.44	59.41
Contenido de Humedad	16.74%	16.86%	16.60%	16.68%	16.79%	16.58%	16.64%	16.72%	16.51%
Contenido de Humedad Promedio	16.73%			16.68%			16.62%		

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)





Tabla 152 Ensayo de CBR – Absorción y Expansión de Suelo Arcilloso con 7% de Colofonia de Pino

Ensayo de Absorción		Moldeo N° 4 / 55 Golpes			Moldeo N° 5 / 26 Golpes			Moldeo N° 6 / 12 Golpes		
Peso del Molde (gr)		7350.00			7400.00			7350.00		
Peso del Molde + Muestra Compactada, antes de la inmersión (gr)		11535.00			11470.00			11235.00		
Peso del Molde + Muestra Compactada, después de la inmersión (gr)		11705.00			11690.00			11480.00		
Peso del Agua Absorbida (gr)		170.00			220.00			245.00		
Peso de la Muestra Compactada, antes de la inmersión (gr)		4185.00			4070.00			3885.00		
Peso de la Muestra Compactada, después de la inmersión (gr)		4355.00			4290.00			4130.00		
Peso de la Muestra Seca (gr)		3588.38			3492.25			3332.52		
Porcentaje de Absorción		4.74%			6.30%			7.35%		
Contenido de Humedad después de la Absorción		Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo	Arriba	Medio	Abajo
Peso de Capsula (gr)		19.88	29.00	27.40	28.90	27.20	29.15	25.90	30.45	26.80
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)		103.56	92.34	81.34	112.70	89.16	92.23	115.15	97.85	101.85
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)		88.82	81.25	71.80	97.10	77.70	80.45	97.90	84.90	87.30
Peso del Agua (gr)		14.74	11.09	9.54	15.60	11.46	11.78	17.25	12.95	14.55
Peso de la Muestra Seca (gr)		68.94	52.25	44.40	68.20	50.50	51.30	72.00	54.45	60.50
Contenido de Humedad		21.38%	21.22%	21.49%	22.87%	22.69%	22.96%	23.96%	23.78%	24.05%
Contenido de Humedad Promedio		21.36%			22.84%			23.93%		
Porcentaje de Absorción		4.63%			6.16%			7.31%		
<b>Porcentaje de Absorción Promedio</b>		<b>4.68%</b>			<b>6.23%</b>			<b>7.33%</b>		

Ensayo de Expansión			Moldeo N° 4 / 55 Golpes			Moldeo N° 5 / 26 Golpes			Moldeo N° 6 / 12 Golpes		
Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido	Dial	Deform	% de	Dial	Deform	% de	Dial	Deform	% de
		Horas	0.01 mm	mm	Expans.	0.01 mm	mm	Expans.	0.01 mm	mm	Expans.
9 de Enero de 2020	19:00	0 h 00 min	0	0.000	0.00%	0	0.000	0.00%	0	0.000	0.00%
10 de Enero de 2020	07:00	12 h 00 min	167	1.670	1.44%	215	2.150	1.85%	301	3.010	2.59%
10 de Enero de 2020	19:00	24 h 00 min	215	2.150	1.85%	287	2.870	2.47%	407	4.070	3.50%
11 de Enero de 2020	19:00	48 h 00 min	293	2.930	2.52%	378	3.780	3.25%	506	5.060	4.35%
13 de Enero de 2020	19:00	96 h 00 min	351	3.510	<b>3.02%</b>	455	4.550	<b>3.91%</b>	561	5.610	<b>4.82%</b>

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



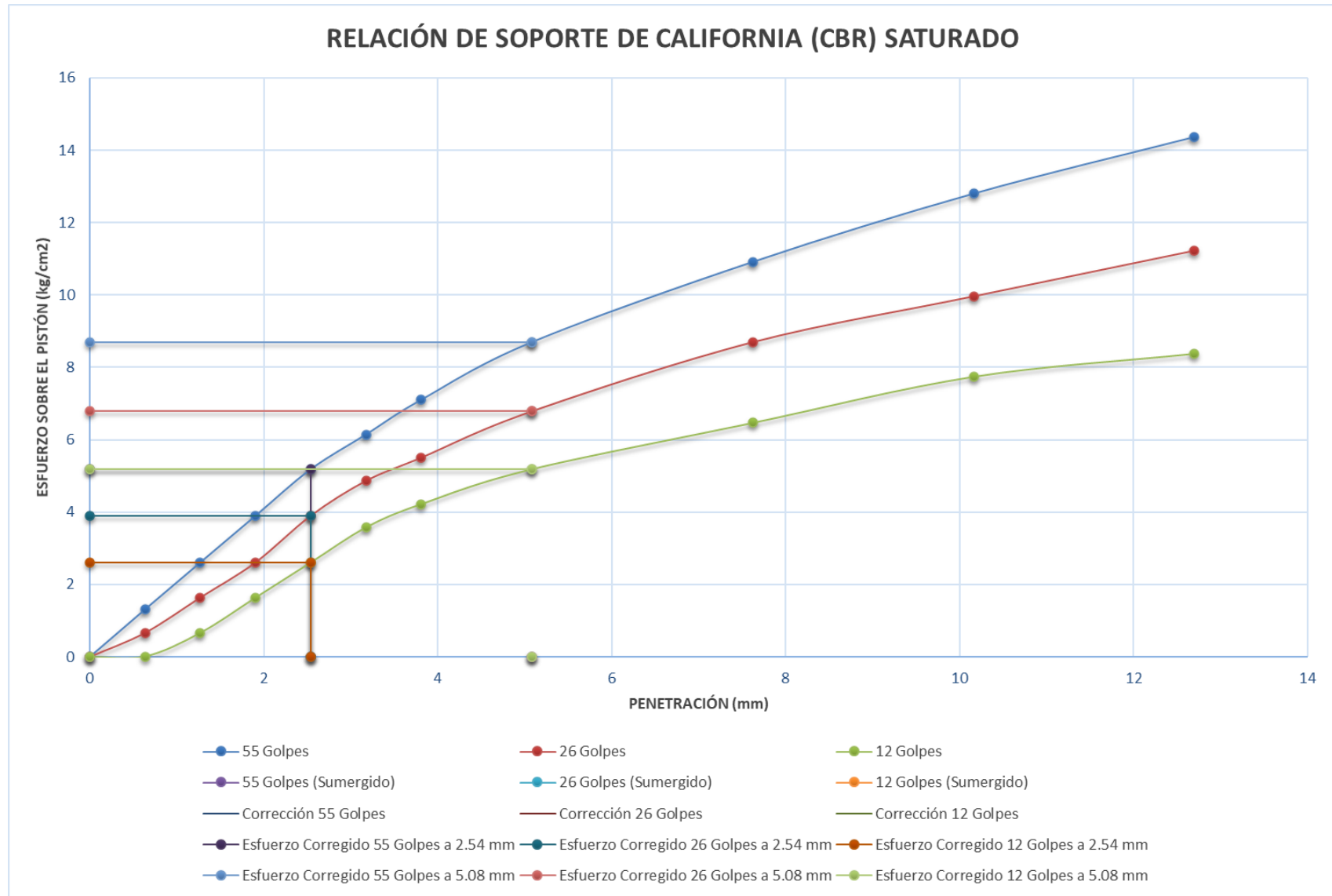
Tabla 153 Ensayo de CBR – Penetración de Suelo Arcilloso con 7% de Colofonia de Pino

Ensayo de Penetración			Moldeo N° 4 / 55 Golpes				Moldeo N° 5 / 26 Golpes				Moldeo N° 6 / 12 Golpes			
Carga Unitaria Patrón	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm2			%	kg			kg/cm2	%	
	0	0.000	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
	25	0.635	8	26.63	1.31		6	13.47	0.66		4	0.28	0.01	
	50	1.270	12	52.89	2.61		9	33.21	1.64		6	13.47	0.66	
	75	1.905	16	79.04	3.90		12	52.89	2.61		9	33.21	1.64	
70.31	100	2.540	20	105.10	5.19	7.37%	16	79.04	3.90	5.55%	12	52.89	2.61	3.71%
	125	3.175	23	124.58	6.15		19	98.60	4.86		15	72.51	3.58	
	150	3.810	26	144.01	7.10		21	111.60	5.51		17	85.57	4.22	
105.46	200	5.080	31	176.27	8.70	8.25%	25	137.54	6.79	6.43%	20	105.10	5.19	4.92%
	300	7.620	38	221.19	10.91		31	176.27	8.70		24	131.07	6.47	
	400	10.160	44	259.46	12.80		35	201.97	9.96		28	156.93	7.74	
	500	12.700	49	291.19	14.37		39	227.58	11.23		30	169.83	8.38	

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



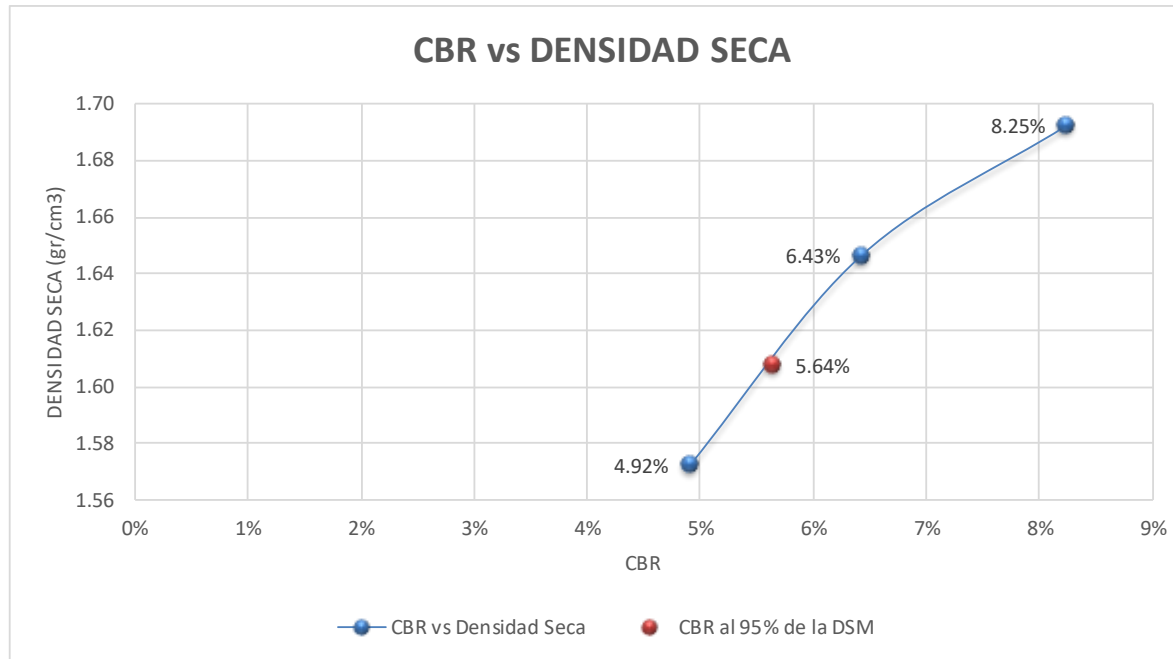
Tabla 154 Gráfica de CBR de Suelo Arcilloso con 7% de Colofonia de Pino



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Tabla 155 Determinación del Valor de CBR de Suelo Arcilloso con 7% de Colofonia de Pino



**RESULTADOS**

Número de Golpes	Expansión	Absorción
55	3.02%	4.68%
26	3.91%	6.23%
12	4.82%	7.33%

Número de Golpes	CBR	Densidad Seca
55	8.25%	1.69 gr/cm <sup>3</sup>
26	6.43%	1.65 gr/cm <sup>3</sup>
12	4.92%	1.57 gr/cm <sup>3</sup>

Datos de la Compactación	Resultado
Densidad Seca Máxima	1.69
95% de la DSM	1.61

Resultados Finales/ CBR condición Húmeda	Resultado
CBR al 100% de la DSM	8.25%
CBR al 95% de la DSM	5.64%

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



- **Análisis de la Prueba**

De los resultados presentes desde la Tabla 136 a la Tabla 155, de las pruebas de control en laboratorio, se resaltan ciertas mejoras en relación a las propiedades mecánicas de las muestras de suelo arcilloso con adición de Colofonia de Pino.

Observamos que la relación de soporte CBR mejora en función del porcentaje de adición de Colofonia de Pino del 3%, 5% y 7%, llegando a convertirse de un suelo categorizado como subrasante Pobre en uno Regular, acorde a lo establecido en la normatividad vial del MTC, el cual exige que la subrasante de un pavimento tenga un CRB  $\geq$  al 6% para poder ser considera como una fundación de un pavimento.

También se resalta que, en cuestión de otras propiedades evaluadas, como viene a ser el porcentaje de absorción de agua se reduce considerablemente conforme que el porcentaje de Colofonia de Pino se va adicionando a las muestras de suelo arcilloso.

Por otra parte, el porcentaje de expansión de las muestras mejoradas también es alterado directamente, ya que los resultados demuestran una menor expansión a partir del 05% de adición de Colofonia de Pino.

### 3.6.7. Módulo de Resiliencia

Conforme a los resultados obtenidos y en base a las fórmulas propuestas por cada uno de los autores mencionados líneas arriba, se calcularon los siguientes módulos.

Tabla 156 Resultados del Módulo de Resiliencia en Mega Pascales

DESCRIPCIÓN	CBR	Mechanistic Empirical Pavement Design Guide (MEPDG)
		$M_r = 2555 (CBR)^{0.64}$
Muestra de Suelo Arcilloso	4.00	42.78
Muestra de Suelo Arcilloso + 3.0% de Colofonia de Pino	6.74	59.74
Muestra de Suelo Arcilloso + 5.0% de Colofonia de Pino	7.49	63.91
Muestra de Suelo Arcilloso + 7.0% de Colofonia de Pino	8.25	67.99



DESCRIPCIÓN	CBR	Instituto de Aeronáutica de Brasil
		$CBR = 0.0624 (Mr)^{1.176}$
Muestra de Suelo Arcilloso	4.00	34.39
Muestra de Suelo Arcilloso + 3.0% de Colofonia de Pino	6.74	53.60
Muestra de Suelo Arcilloso + 5.0% de Colofonia de Pino	7.49	58.63
Muestra de Suelo Arcilloso + 7.0% de Colofonia de Pino	8.25	63.65

DESCRIPCIÓN	CBR	Shell (Heukelon - Foster)
		$Mr = 10 (CBR)$
Muestra de Suelo Arcilloso	4.00	40
Muestra de Suelo Arcilloso + 3.0% de Colofonia de Pino	6.74	67.4
Muestra de Suelo Arcilloso + 5.0% de Colofonia de Pino	7.49	74.9
Muestra de Suelo Arcilloso + 7.0% de Colofonia de Pino	8.25	82.5

DESCRIPCIÓN	CBR	Shell (Heukelon - Klomp)
		$Mr = 1500 (CBR \text{ sumergido})$
Muestra de Suelo Arcilloso	4.00	41.37
Muestra de Suelo Arcilloso + 3.0% de Colofonia de Pino	6.74	69.71
Muestra de Suelo Arcilloso + 5.0% de Colofonia de Pino	7.49	77.46
Muestra de Suelo Arcilloso + 7.0% de Colofonia de Pino	8.25	85.32

DESCRIPCIÓN	CBR	Shell (Hopkins)
		$Mr = 17.914 (CBR)^{0.874}$
Muestra de Suelo Arcilloso	4.00	60.17
Muestra de Suelo Arcilloso + 3.0% de Colofonia de Pino	6.74	94.94
Muestra de Suelo Arcilloso + 5.0% de Colofonia de Pino	7.49	104.11
Muestra de Suelo Arcilloso + 7.0% de Colofonia de Pino	8.25	113.29

*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*

- **Análisis de los Resultados**

En base al cuadro anterior, podemos comentar que tanto la fórmula propuesta por la normatividad vial del MTC, como la que Gutiérrez Lázares propone en base al trabajo realizado de Cardoso, presentan resultados próximos, en comparación a aquellos que según Gutiérrez Lázares son utilizados en el Método de Illinois.



## Capítulo IV: Resultados

### 4.1. Resultados de los Ensayos

#### 4.1.1. Análisis Granulométrico Muestras de Suelo con Colofonia de Pino (MTC E-110 y MTC E-107)

De los análisis granulométricos efectuados en laboratorio, se observaron que, en cada combinación de Colofonia de Pino con las muestras de Suelo Arcilloso, se incrementó el porcentaje de Granos Finos, debido principalmente a la trituración de la Colofonia de Pino en Partículas diminutas que conformaron parte de esta fracción.

Tabla 157 Observaciones del Análisis Granulométrico

Descripción	% de Colofonia de Pino que pasa por la Malla N° 200	Observación
Muestra de Suelo Arcilloso	100	Ninguna
Muestra de Suelo Arcilloso + 3.0% de Colofonia de Pino	100	La Colofonia de Pino Triturada y adicionada sobre las muestras de Suelo Arcilloso reduce el porcentaje de Granos Gruesos y aumenta el porcentaje de Granos Finos que pasan por la Malla N° 200.
Muestra de Suelo Arcilloso + 5.0% de Colofonia de Pino	100	
Muestra de Suelo Arcilloso + 7.0% de Colofonia de Pino	100	

*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*

#### 4.1.2. Determinación del Índice de Plasticidad de las Muestras de Suelo con Colofonia de Pino (MTC E-110 y MTC E-111)

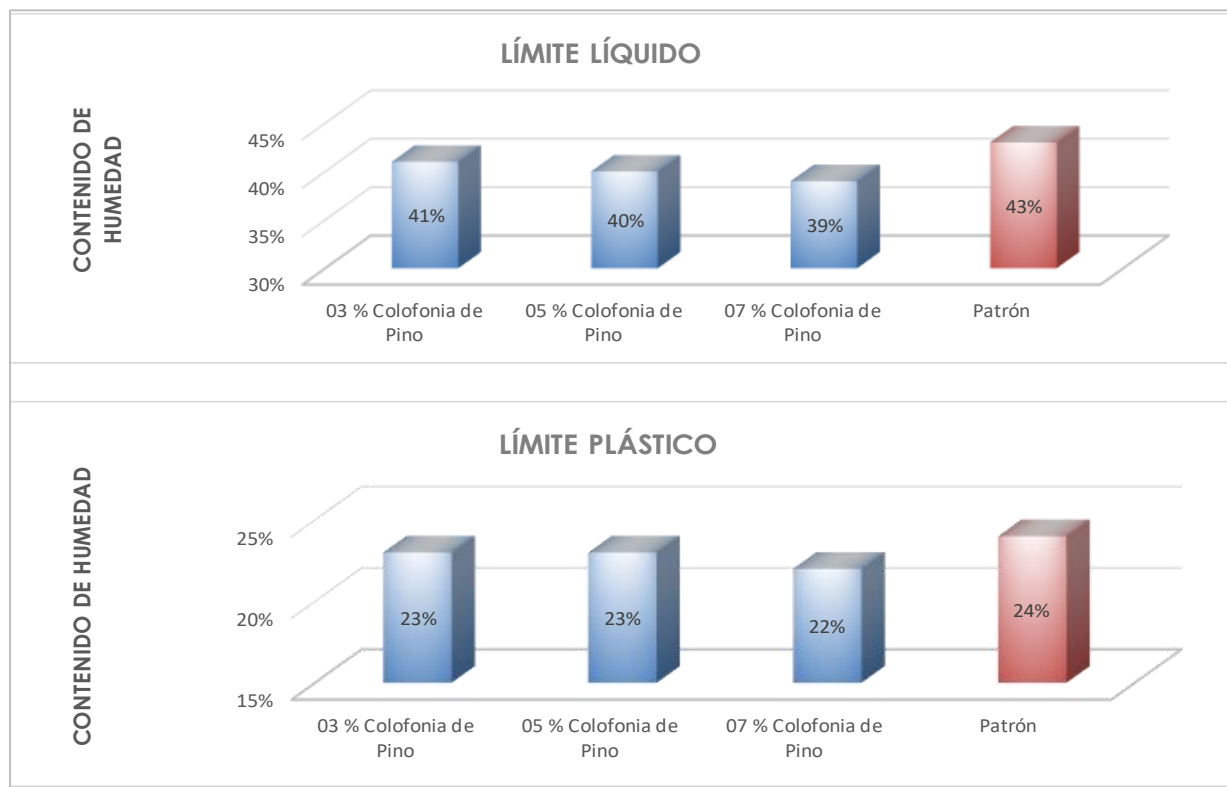
Para el caso de la determinación del índice de Plasticidad tanto de las muestras con Colofonia de Pino, como de aquella sin este componente, previamente se determinaron los límites Líquidos y Plásticos, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 158 Cuadro de Resumen para la Determinación de los Índices de Plasticidad

	Muestra + 03 % Colofonia	Muestra + 05 % Colofonia	Muestra + 07 % Colofonia	Promedio Patrón
Límite Líquido	41%	40%	39%	43%
Límite Plástico	23%	23%	22%	24%
Índice de Plasticidad	18%	17%	17%	19%

*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*

Figura 62 Cuadro Comparativo de los Límites Líquido y Plástico de las Muestras de Suelo con Colofonia de Pino



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)

#### 4.1.3. Determinación del Grado de Compactación de Suelos Arcillosos con Colofonia de Pino en Laboratorio utilizando Energía Modificada – Proctor Modificado (MTC E-115)

Según los registros de los ensayos de Proctor Modificado, se obtuvieron las siguientes Densidades Máximas Secas y Contenidos de Humedad Óptimo, para las muestras de Suelo Arcilloso con Colofonia de Pino y para la muestra Patrón:

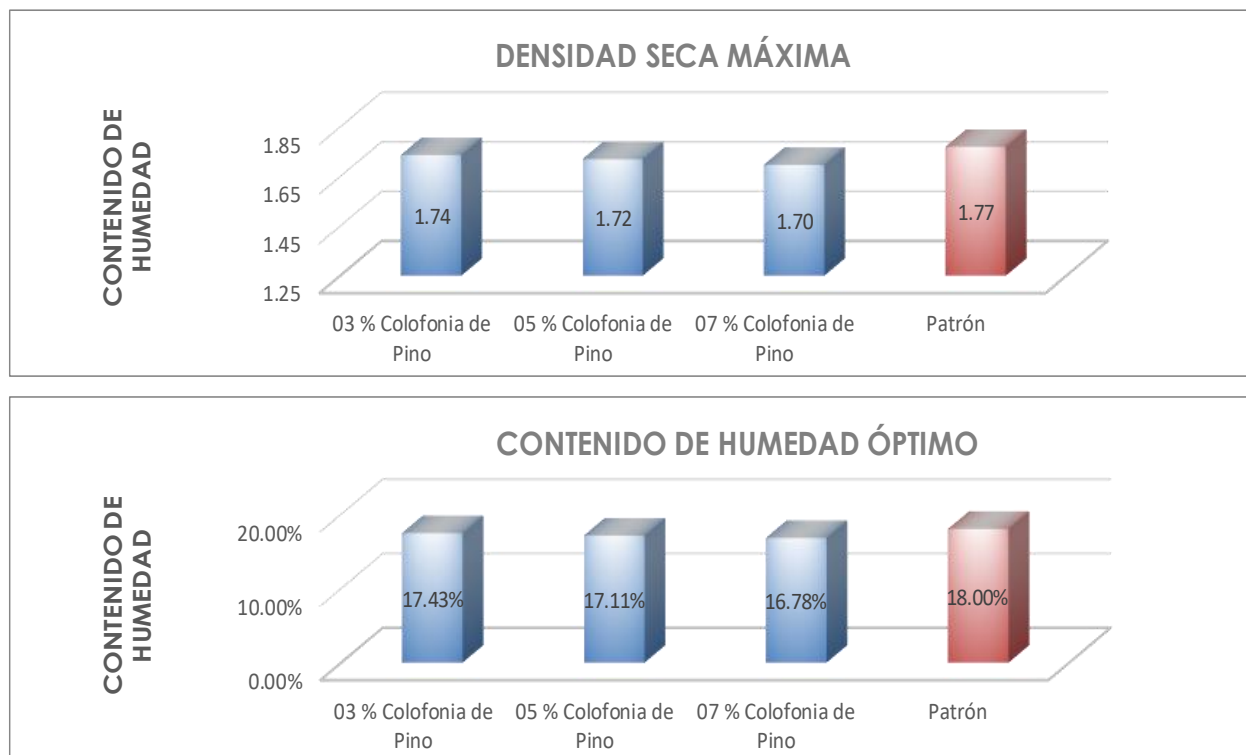
Tabla 159 Cuadro de Resumen para la Determinación del Grado de Compactación

	Muestra Patrón	Muestra de Suelo Arcilloso + 3% de Colofonia de Pino	Muestra de Suelo Arcilloso + 5% de Colofonia de Pino	Muestra de Suelo Arcilloso + 7% de Colofonia de Pino
Densidad Máxima Seca	1.77 gr/cm <sup>3</sup>	1.74 gr/cm <sup>3</sup>	1.72 gr/cm <sup>3</sup>	1.70 gr/cm <sup>3</sup>
Contenido Óptimo de Humedad	18.00%	17.43%	17.11%	16.78%

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)



Figura 63 Cuadro Comparativo de la Densidad Máxima Seca y el Contenido de Humedad óptimo de las Muestras de Suelo con Colofonia de Pino



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)

#### 4.1.4. Determinación de la Capacidad de Soporte CBR de Suelos (MTC E-132)

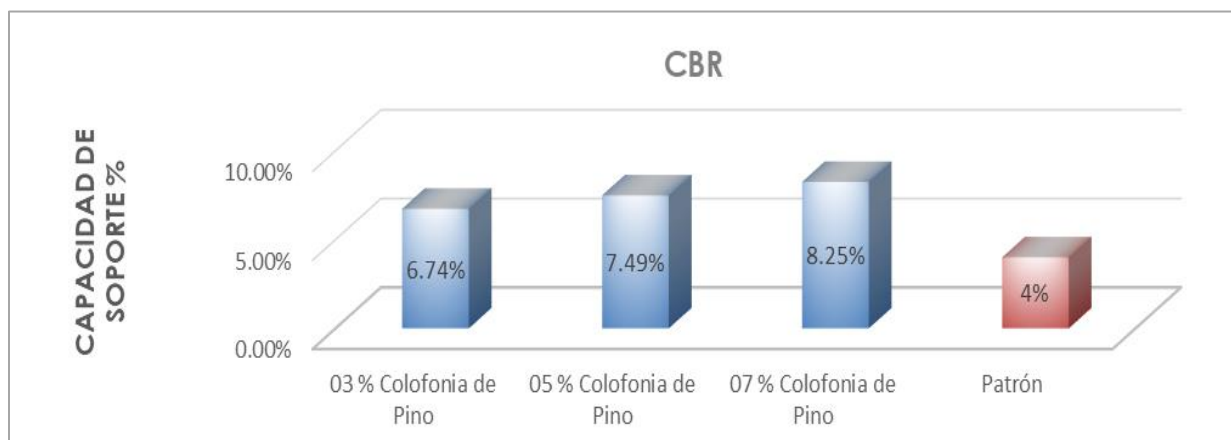
Los resultados obtenidos de CBR son de gran importancia, debido a que estos parámetros son considerados por la normativa peruana para la clasificación y selección de las Subrasantes.

Tabla 160 Cuadro de Resumen para la Determinación de la Capacidad de Soporte CBR de las Muestras de Suelo con Colofonia de Pino

	Muestra Patrón	Muestra de Suelo Arcilloso + 3% de Colofonia de Pino	Muestra de Suelo Arcilloso + 5% de Colofonia de Pino	Muestra de Suelo Arcilloso + 7% de Colofonia de Pino
CBR	4.00%	6.74%	7.49%	8.25%
% de Expansión	4.53%	3.90%	3.41%	3.02%
% de Absorción	6.80%	5.88%	5.03%	4.68%

Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)

Figura 644 Cuadro Comparativo de los CBR de las Muestras de Suelo con Colofonia de Pino



Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)

#### 4.1.5. Determinación del Módulo de Resiliencia

Los Módulos de Resiliencia obtenidos fueron calculados en base a los valores de CBR:

Tabla 161 Cuadro de Resumen para la Determinación del Módulo de Resiliencia de las Muestras de Suelo con Colofonia de Pino

DESCRIPCIÓN	CBR	Mechanistic Empirical Pavement Design Guide (MEPDG)
		$Mr = 2555 (CBR)^{0.64}$
Muestra de Suelo Arcilloso	4.00	42.78
Muestra de Suelo Arcilloso + 3.0% de Colofonia de Pino	6.74	59.74
Muestra de Suelo Arcilloso + 5.0% de Colofonia de Pino	7.49	63.91
Muestra de Suelo Arcilloso + 7.0% de Colofonia de Pino	8.25	67.99

DESCRIPCIÓN	CBR	Instituto de Aeronáutica de Brasil
		$CBR = 0.0624 (Mr)^{1.176}$
Muestra de Suelo Arcilloso	4.00	34.39
Muestra de Suelo Arcilloso + 3.0% de Colofonia de Pino	6.74	53.60
Muestra de Suelo Arcilloso + 5.0% de Colofonia de Pino	7.49	58.63
Muestra de Suelo Arcilloso + 7.0% de Colofonia de Pino	8.25	63.65



DESCRIPCIÓN	CBR	Shell (Heukelon - Foster)
		Mr = 10 (CBR)
Muestra de Suelo Arcilloso	4.00	40
Muestra de Suelo Arcilloso + 3.0% de Colofonia de Pino	6.74	67.4
Muestra de Suelo Arcilloso + 5.0% de Colofonia de Pino	7.49	74.9
Muestra de Suelo Arcilloso + 7.0% de Colofonia de Pino	8.25	82.5

DESCRIPCIÓN	CBR	Shell (Heukelon - Klomp)
		Mr = 1500 (CBR sumergido)
Muestra de Suelo Arcilloso	4.00	41.37
Muestra de Suelo Arcilloso + 3.0% de Colofonia de Pino	6.74	69.71
Muestra de Suelo Arcilloso + 5.0% de Colofonia de Pino	7.49	77.46
Muestra de Suelo Arcilloso + 7.0% de Colofonia de Pino	8.25	85.32

DESCRIPCIÓN	CBR	Shell (Hopkins)
		Mr = 17.914 (CBR) ^ 0.874
Muestra de Suelo Arcilloso	4.00	60.17
Muestra de Suelo Arcilloso + 3.0% de Colofonia de Pino	6.74	94.94
Muestra de Suelo Arcilloso + 5.0% de Colofonia de Pino	7.49	104.11
Muestra de Suelo Arcilloso + 7.0% de Colofonia de Pino	8.25	113.29

*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*



## Capítulo V: Discusión

### a) Contraste de Resultados con Referencia al Marco Teórico

**¿El suelo procedente de la APV Pillao Matao del Distrito de San Jerónimo – Cusco, utilizado a nivel de Subrasante, requiere de mejoramiento?**

Según los resultados obtenidos de la muestra patrón de los suelos arcillosos de este sector, el valor de CBR alcanza hasta el 4.00 %, lo cual, en base al marco normativo vigente de nuestro país, este parámetro lo categoriza como una Subrasante Pobre (S<sub>1</sub>), por lo que, si los niveles de tráfico en esta zona comienzan a crecer, se sugiere mejorar, estabilizar o cambiar este material por uno de mejores características.

No obstante, en relación a los resultados obtenidos para mejorar las muestras de arcilla de este sector se obtuvieron los siguientes resultados, para cada una de las combinaciones experimentadas:

Tabla 162 Cuadro de Resumen de Resultados Generales de Laboratorio

	Muestra Patrón	Muestra de Suelo Arcilloso + 3% de Colofonia de Pino	Muestra de Suelo Arcilloso + 5% de Colofonia de Pino	Muestra de Suelo Arcilloso + 7% de Colofonia de Pino
<b>Propiedades Físicas</b>				
Análisis Granulométrico	-	Incrementa Porcentaje de Finos	Incrementa Porcentaje de Finos	Incrementa Porcentaje de Finos
Límite Líquido	43.00%	41.00%	40.00%	39.00%
Límite Plástico	24.00%	23.00%	23.00%	22.00%
Índice de Plasticidad	19.00%	18.00%	17.00%	17.00%
<b>Propiedades Mecánicas</b>				
Densidad Máxima Seca	1.77 gr/cm <sup>3</sup>	1.74 gr/cm <sup>3</sup>	1.72 gr/cm <sup>3</sup>	1.70 gr/cm <sup>3</sup>
Contenido Óptimo de Humedad	18.00%	17.43%	17.11%	16.78%
CBR	4.00%	6.74%	7.49%	8.25%
% de Expansión	4.53%	3.90%	3.41%	3.02%
% de Absorción	6.80%	5.88%	5.03%	4.68%

*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*

En base a los resultados del ensayo de límites de consistencia, observamos que los valores experimentan ligeras variaciones en unidades para cada una de las combinaciones



experimentadas, por lo que se infiere que la Colofonia de Pino a diferencia de otros materiales mejorantes produce cambios pequeños en este tipo de parámetros, ya que tanto las sales (Cloruro de Sodio) y la cal utilizadas en otro tipo de proyectos de investigación, tienden a afectar directamente estos parámetros, haciendo que el IP de los suelos baje considerablemente y no en pequeñas unidades como es el caso de la Colofonia de Pino.

Para el caso de los parámetros referidos a la Densidad Máxima Seca y el Contenido Óptimo de Humedad determinados a partir del Ensayo de Proctor Modificado; en la mayoría de casos estos parámetros son afectados en función de que el peso del material mejorante sea menor o mayor al del suelo, por ende de que muchos de los resultados de las tesis de investigación demuestran que conforme se vaya adicionando cada vez más mejorantes a las muestras de suelo, la Densidad Máxima Seca ira decreciendo si el peso de material mejorante es menor al del suelo, o caso contrario, ira en aumento si este supera al del suelo, por otro lado otra variable que es afectada por el tipo de mejorante a usar es el contenido de humedad, que en el caso de la Colofonia de Pino este decrece a partir de que se va adicionando este mejorante, lo cual no ocurre con la cal o las cenizas que derivan de desperdicios orgánicos como lo son la cáscara de arroz o el bagazo de la caña de azúcar, que requieren de un mayor contenido de humedad.

Estos materiales son totalmente diferentes y presentan mayor cantidad de estudios, alrededor de los cuales se han ido evaluando diferentes relaciones en base al contenido de humedad y otras propiedades (Trabajabilidad, disgregación, aglomeración, expansión, contracción, resistencia a la compresión y entre otros).

Los resultados correspondientes al valor de CBR, por otro lado, evidencian mejoras significativas que han llegado a convertir un suelo propio de una subrasante pobre a uno característico de una regular. Sin embargo, en comparación con otros materiales como lo son la cal y las cenizas de materias orgánicas con contenido de óxido de silicio, no produce mejoras tan resaltantes como se logran con estos insumos, debido principalmente a que las fuerzas de cohesión y plasticidad son reducidas ligeramente, y probablemente no se presentan reacciones internas como procesos de carbonatación que incrementen estos resultados.



**¿De qué manera se utilizó la Colofonia de Pino como mejorante de Suelos Arcillosos a nivel de Subrasante?**

Las combinaciones planteadas para cada una de las pruebas fueron con los siguientes porcentajes: 03%, 05% y 07% de Colofonia de Pino que fueron aplicadas sobre las muestras de suelo arcilloso de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo - Cusco.

Para ello, previamente se tuvo que pulverizar la Colofonia de Pino en su estado cristalizado a partículas que pudieran pasar por el tamiz N° 200, de forma tal que facilitara su mezclado con las muestras de suelo arcilloso.

**¿Qué cambios produjo la Colofonia de Pino sobre las muestras de suelo arcilloso mejoradas?**

Para cada una de las combinaciones experimentadas, se ha evidenciado ligeras alteraciones tanto en las propiedades físicas como mecánicas del material evaluado. Existen ciertas mejoras que derivan de la adición de la Colofonia de Pino ya sea para los Límites de Consistencia, Relación Grado de Compactación y Humedad, Capacidad de soporte - CBR como su comportamiento frente a los efectos del agua que producen expansiones y absorciones, que son reducidas por la Colofonia de Pino.

**b) Interpretación de los resultados encontrados en la Investigación**

**¿Qué porcentaje de Colofonia de Pino es el más adecuado para mejorar?**

Según los resultados obtenidos para cada una de las combinaciones y la muestra patrón, la combinación que ofrece mejores respuestas frente a los diferentes ensayos corresponde a las muestras de suelo arcilloso con 07 % de Colofonia de Pino, debido a que el valor de CBR del suelo mejorado incrementa de 4.00 % a 8.25 %, haciendo un cambio de categorías a nivel de subrasante, ya que convierte una subrasante pobre a una subrasante regular.

**¿El suelo arcilloso mejorado a nivel de subrasante cumple con los requerimientos de CBR exigidos en el Manual de Carreteras: Suelo, Geología, Geotecnia y Pavimentos?**

Según el Manual de Carreteras: Suelo, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC 2013 para que la estructura de un pavimento o un afirmado se apoye sobre una capa de suelo se



requiere que los últimos 60 cm de este material tengan un CBR superior al 6%. En base a ello las muestras de suelo arcilloso, mejoradas con 7 % de Colofonia de Pino si cumplen con esta condición, sin embargo, queda por pendiente evaluar si la carga de diseño proveniente de los niveles de tráfico en la zona, puedan generar cambios desfavorables sobre el afirmado o paquete estructural del pavimento.

**c) Comentarios de la demostración de la Hipótesis**

La Colofonia de Pino al ser utilizada como material mejorante de los suelos arcillosos de la APV Pillao Matao del distrito de San Jerónimo - Cusco, si afecta las propiedades físico - mecánicas de estos suelos, ya que experimentan ligeras variaciones, que las hacen diferenciar por unidades de las constantes de las muestras patrón evaluadas.

La combinación que ofreció mejores resultados es la que corresponde a las muestras de suelo arcilloso con 7% de Colofonia de Pino, ya que en relación a la capacidad de soporte determinada por el valor de CBR, hizo que una muestra de suelo arcilloso estabilizada obtenga un CBR de 8.25, valor propio de una subrasante regular, convirtiendo de tal forma una subrasante pobre en una regular. En relación a otras constantes de los suelos mejorados, observamos que los límites de Consistencia se mantienen próximos a los parámetros de la muestra patrón, tal es el caso que para el 3%, 5% y 7% el Límite Líquido cambia de 43% a 41%, 40% y 39% correspondientemente, en el caso Límite Plástico se observó un descenso del 19% al 18%, 17% y 17% correspondientemente; con lo cual el Índice de Plasticidad de la muestra patrón decrece del 19% y se mantiene entre el 17% - 18%.

A diferencia de otros materiales considerados para mejorar suelos pobres o inadecuados, la Colofonia de Pino no densifica el suelo mejorado y reduce el contenido de humedad óptimo, aunque este porcentaje de reducción de agua sea en menor grado que el del suelo natural.

**d) Aportes de la Investigación**

La presente tesis de Investigación corresponde a la rama de la ingeniería de Transportes y la geotecnia en obras viales, ya que propone una nueva alternativa de material mejorante para suelos cohesivos e inadecuados a nivel de subrasante sobre vías de tercera clase, como es la



Avenida Primavera que se desarrolla en la APV Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco; el insumo mejora ligeramente aquellas propiedades físico - mecánicas de los suelos, mejorando la capacidad de soporte del material mejorado, así como reduciendo la plasticidad y la capacidad tanto de expansión como de absorción de los suelos mejorados.

En la forma en la que se ha decidido mejorar las muestras de suelo arcilloso, las constantes referidas a límites de consistencia se mantienen próximas a los valores de los suelos naturales.

e) **Incorporación de temas nuevos que se han presentado durante el proceso de la investigación que no estaba considerado dentro de los objetivos de la investigación.**

Debido a las limitaciones de espacio y a la constitución de las arcillas de la APV Pillao Matao del distrito de San Jerónimo - Cusco, debería de abordarse los materiales arcillosos de características similares de otros sectores, de tal forma que puedan contrastarse los resultados obtenidos con este material mejorante tanto a nivel de subrasante como en otras partes del pavimento.

Por otra parte, el método de incorporación de la Colofonia de Pino sobre las muestras a mejorar, queda por pendiente evaluar y considerar otras formas de adición sea por medio de una solución en combinación con un solvente o con otro tipo de mejorantes, recursos con los cuales se logren conseguir reacciones químicas en conjunto con el material arcilloso.

De igual forma también debería de evaluarse si para este tipo de estabilizaciones, sería conveniente aplicar los tiempos de maduración y secado propuestos por las escuelas Norteamericanas y de Europa.





## Glosario

**AASHTO:** American Association of State Highway and Transportation Officials o Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte.

**ASTM:** American Society for Testing and Materials o Sociedad Americana para ensayos de Materiales.

**ATFFS:** Administraciones Técnicas Forestales y de Fauna Silvestre.

**BID:** Banco Interamericano de Desarrollo.

**CBR:** Relación de Soporte de California.

**CCEX:** Centro de Comercio Exterior.

**CHO:** Contenido de Humedad Optimo.

**COHESIÓN:** La resistencia al corte de un suelo, a una tensión normal.

**COLOFONIA DE PINO:** Material obtenido por fusión y purificación de la resina natural de pino.

**DGPPT:** Dirección General de Programas y Proyectos en Transportes.

**DSM:** Máxima Densidad Seca del Suelo.

**GTT:** Grupo Técnico de Trabajo.

**IP:** Índice de Plasticidad.

**LL:** Limite Liquido.

**LP:** Limite Plástico

**MPEDG:** Mechanistic Empirical Pavement Design Guide.

**MR:** Modulo de Resiliencia.

**MTC:** Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

**NTP:** Norma Técnica Peruana.

**PVN:** Provias Nacional.

**SINAC:** Sistema Nacional de Carreteras.

**SUCS:** Unified Soil Classification System (USCS) o Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

**TERPÉNICOS:** Compuesto Orgánico con unidades de Hidrocarburos de 5 átomos de Carbono.

**WGS 84:** World Geodetic System 1984.



## Conclusiones

### Conclusión N° 01

La Hipótesis General se cumplió parcialmente, ya que indica lo siguiente: **“La influencia de la Colofonia de Pino incrementara las Propiedades Físico – Mecánicas de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco”.**

Tal y como se puede observar en la Tabla 162, la Colofonia de Pino considerada como agente mejorador de los suelos arcillosos con fines de subrasante de la APV. Pillao Matao del TADistrito de San Jerónimo – Cusco, no afecto la Granulometría; sin embargo, se observó mejoras progresivas con la adición de la Colofonia de Pino en los porcentajes del 3%, 5% y 7% en las Propiedades del suelo referidas a los Límites de Consistencia que fueron reducidos.

Con respecto al Grado de Compactación la muestra no se densifica y el Contenido de Humedad óptimo desciende en función de la Colofonia de Pino. Por otra parte, la capacidad de soporte CBR y el módulo de Resiliencia, se incrementan en función del porcentaje de adición de este recurso.

### Conclusión N° 02

La sub - hipótesis N° 01 se cumplió satisfactoriamente, ya que indica lo siguiente: **“La influencia de la Colofonia de Pino no afectará la Granulometría de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco”.**

Según los resultados obtenidos en la Tabla 157 y Tabla 162, la Colofonia de Pino considerada como agente mejorador de los suelos arcillosos con fines de subrasante de la A.P.V. Pillao Matao del Distrito de San Jerónimo – Cusco, no afectó de manera significativa la Granulometría de los Suelos, debido a que las variaciones que se experimentan en la disminución del porcentaje de granos gruesos y el crecimiento de los porcentajes de los granos finos no son relevantes.



### **Conclusión N° 03**

La sub - hipótesis N° 02 se cumplió satisfactoriamente, ya que indica lo siguiente: **“La influencia de la Colofonia de Pino disminuirá el Índice de Plasticidad de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco”.**

Tal y como se observan en la Tabla 158, Tabla 162 y Figura 62, la Colofonia de Pino considerada como agente mejorador de los suelos arcillosos con fines de subrasante de la APV. Pillao Matao del Distrito de San Jerónimo – Cusco, presentan ligeras variaciones en los Límites Líquidos y Plásticos, con lo cual reducen directamente la Plasticidad de las muestras mejoradas.

De este resumen de resultados se observa que para el 3%, 5% y 7 % de Colofonia de Pino el Límite Líquido desciende de 43% al 41%, 40% y 39% respectivamente a cada combinación, en relación al Límite Plástico este desciende de un 24% al 23%, 23% y 22% correspondientemente; por lo que consecuentemente en vista de que ambos parámetros son reducidos, el Índice de Plasticidad también es reducido de un 19% a valores que se ubican en el rango de 17% - 18%.

De lo cual se infiere que las variaciones experimentadas con el agente mejorador de Colofonia de Pino, presentan ligeras variaciones en sus límites de consistencia.

### **Conclusión N° 04**

La sub - hipótesis N° 03 se cumplió parcialmente, ya que indica lo siguiente: **“La influencia de la Colofonia de Pino mejora el Grado de Compactación de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco”.**

Tal y como se muestra en la Tabla 159, Tabla 162 y Figura 63, la Colofonia de Pino considerada como agente mejorador de los suelos arcillosos con fines de subrasante de la APV. Pillao Matao del Distrito de San Jerónimo – Cusco, mejoro parcialmente el Grado de Compactación de los suelos arcillosos en adición del 3%, 5% y 7%.



En función de estos resultados, se observa que tanto la Densidad Máxima Seca como el Contenido de Humedad Óptimo experimentan descensos, debido principalmente a la incorporación de la Colofonia de Pino, esto puede atribuirse a dos factores: El primero radica en que la combinación entre los pesos característicos de cada uno de los recursos empleados, tiende a no densificar las muestras, debido a que la Colofonia al ser un insumo de menor densidad al suelo ( $1.034 \text{ gr/cm}^3$ ), hace que se obtengan densidades menores a las de una muestra sin adición alguna de material mejorante. Segundo, la Colofonia de Pino al ser utilizado en su estado pulverizado, esta absorbe cantidades mínimas de agua.

Respecto a la Densidad Máxima Seca de  $1.77 \text{ gr/cm}^3$  (muestra patrón), las densidades obtenidas experimentan un descenso entre  $0.03 - 0.07 \text{ gr/cm}^3$ . En relación al Contenido de Humedad Óptimo del  $18.00 \%$  (muestra patrón), los porcentajes se reducen al  $17.43\%$ ,  $17.11\%$  y  $16.78\%$ , respecto a la adición de Colofonia de Pino al  $3\%$ ,  $5\%$  y  $7\%$  respectivamente.

#### **Conclusión N° 05**

La sub - hipótesis N° 04 se cumplió satisfactoriamente, ya que indica lo siguiente: **“La influencia de la Colofonia de Pino aumentará la Capacidad de Soporte CBR de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del  $3\%$ ,  $5\%$  y  $7\%$  en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco.”**

Tal y como se observan en la Tabla 160, Tabla 162 y Figura 64, la Colofonia de Pino considerada como agente mejorador de los suelos arcillosos con fines de subrasante de la APV. Pillao Matao del Distrito de San Jerónimo – Cusco, mejoró la Capacidad de Soporte CBR de los suelos arcillosos en adición del  $3\%$ ,  $5\%$  y  $7\%$  sobre las muestras ensayadas, con referencia al Manual de Carreteras del MTC.

Para los resultados de los ensayos de CBR se presentan mejoras notables, con la adición de Colofonia de Pino sobre las muestras de suelo arcilloso evaluadas, llegando a cambiar el valor de CBR natural, de una Subrasante Pobre ( $3\% \leq \text{CBR} < 6\%$ ) a un valor correspondiente de una Subrasante Regular ( $6\% \leq \text{CBR} < 10$ ). En tal sentido este aditivo puede ser



considerado como una alternativa para mejorar la subrasante de una vía con fundación arcillosa, debido a que con 7% de Colofonia de Pino se obtuvo un 8.25% de CBR, el cual rebasa el 6% requerido por norma, a razón de que los Límites de Consistencia son reducidos ligeramente, de esta manera obteniendo mayores resistencias a los esfuerzos cortantes.

Sin embargo, este parámetro no es el único que experimenta una mejora significativa, también los porcentajes de expansión y absorción son modificados en comparación a una muestra sin material mejorante. Se observa que conforme se va adicionando Colofonia de Pino al 3% ,5% y 7%, las expansiones se reducen del 6.80% (muestra patrón), en los siguientes porcentajes: 5.88, 5.03% y 4.68% respectivamente, respecto a los porcentajes de expansión, estos se reducen del 4,53% (muestra patrón), en los siguientes porcentajes: 3.90%, 3.41% y 3.02% respectivamente.

#### **Conclusión N° 06**

La sub - hipótesis N° 05 se cumplió satisfactoriamente, ya que indica lo siguiente: **“La influencia de la Colofonia de Pino aumentara el Módulo de Resiliencia de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco.”**

Según los resultados obtenidos en la Tabla 161, la Colofonia de Pino considerada como agente mejorador de los suelos arcillosos con fines de sub rasante de la APV. Pillao Matao del Distrito de San Jerónimo - Cusco mejoró el Módulo de Resiliencia de los suelos arcillosos en adición del 3%, 5% y 7% sobre las muestras ensayadas con referencia al Manual de Carreteras del MTC. Estos parámetros al ser calculados en función de las fórmulas empíricas que utilizan los valores de CBR, dependen directamente de los resultados de este ensayo, concluyendo que estos dos parámetros son directamente proporcionales.



## Recomendaciones

### **Recomendación N° 01**

Dado que esta tesis de investigación considera un nuevo insumo como material para mejorar suelos arcillosos, se recomienda buscar referencias que proporcionen información concerniente a las propiedades técnicas de la Colofonia de Pino, información que precise los posibles riesgos y peligros para la salud, durante su manipulación y experimentación.

### **Recomendación N° 02**

Realizar evaluaciones previas al trabajo en las instalaciones de laboratorio, para los Equipos de Protección Personal o Colectiva, ya que, al trabajar con insumos poco conocidos o investigados, se deben tener mayor cantidad de medidas de seguridad, para evitar lesiones que se puedan causar al contacto y experimentación con esta clase de recursos.

### **Recomendación N° 03**

Tener medidas de seguridad al momento de pulverizar la Colofonia de Pino, debido a que se corre el riesgo de que estas partículas entren en el flujo respiratorio, aunque este tipo de insumos no produzcan daños graves, otros materiales mejorantes si pueden ocasionarlos, por lo que se sugiere emplear otro método de incorporar la Colofonia de Pino como material mejorante en suelos arcillosos.

### **Recomendación N° 04**

Se recomienda para futuras investigaciones relacionadas al campo del mejoramiento de subrasantes con fundaciones arcillosas para pavimentos, utilizar equipos que cuenten con Difracción de Rayos X y Observación Submicroscópica, que puedan dar mayor información de la arcilla a mejorar.

### **Recomendación N° 05**

Se recomienda para futuras investigaciones relacionadas al campo del mejoramiento de subrasantes con fundaciones arcillosas para pavimentos, considerar las Propiedades Químicas y los intercambios eléctricos en las estructuras microscópicas de la arcilla.



### **Recomendación N° 06**

Los porcentajes de combinación tomados en cuenta solo fueron considerados para su experimentación a nivel de subrasante de un suelo de tipo arcilloso. Por ende, la información presente debe de ser tratada bajo estas mismas condiciones. La combinación óptima de Colofonia de Pino, corresponde al 07 % del peso del suelo arcilloso, porcentaje con el cual demuestran mejoras para cada una de sus propiedades mecánicas



## Referencias

- Rivera, J. (05 de diciembre del 2015). *La red vial es imprescindible para el desarrollo y crecimiento de un país*. <https://www.udep.edu.pe/hoy/2015/12/la-red-vial-es-imprescindible-para-el-desarrollo-y-crecimiento-de-un-pais/>
- Centro de Comercio Exterior (CCEX). (2018). *Perú: ¿qué porcentaje de la red vial no está pavimentada?* <https://peruconstruye.net/2018/11/16/peru-que-porcentaje-de-la-red-vial-no-esta-pavimentada/>
- Sequeiros, J. (22 de julio del 2019). *Pavimentación de vías en Cusco*. <https://diariocorreo.pe/edicion/cusco/licitaran-pavimentacion-de-dos-mil-kilometros-de-vias-en-cusco-899951/?ref=dcr>
- Detea. (2018). *Tipología de los suelos en la construcción*. <https://www.detea.es/tipologia-de-los-suelos-en-la-construccion/>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos/ Sección: Suelos y Pavimentos*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). Manual de ensayos de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Manual de diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito. (2008). *MTC / Dirección General de Caminos y Ferrocarriles*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Echeverría, G. y Solminihaç, H. (2016). *Estabilización Química de Suelos: Aplicaciones en la construcción de estructuras de pavimentos*. Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile
- Duque, E. y Escobar, C. (2016). *Origen formación y constitución del suelo, Fisicoquímica de las Arcillas*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Braja M., D. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (4ta. ed.)*. México: International Thomson.





- Braja M., D. (2012). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones (7ma. ed.)*. México: Cengage Learning Editores.
- Badillo, J. y Rodríguez, R. (2005). *Mecánica de Suelos / Tomo I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. México: Limusa Noriega Editores.
- García, E. y Suarez, M. (2012). *Las Arcillas: Propiedades y Usos*. Madrid: Universidad Complutense.
- Tapia García, M. (2015). *Pavimentos*. México: Universidad Nacional Autónoma de México – Facultad de Ingeniería.
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia Ediciones y Publicaciones.
- Ravines Merino, A. (2010). *Pruebas con un Producto Enzimático Como Agente Mejorador de Suelos para Carreteras. (Tesis de Grado)*. Piura: Universidad de Piura.
- Geologiaweb. (2018). *¿Qué son las arcillas expansivas? Expansividad y retracción del suelo*. <https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/arcillas-expansivas/>
- Medida Miranda, R. y Astete López, O. (2015). *Proyecto Suelos / Guía de Campo*. Chile: INACAP - Universidad Tecnológica de Chile.
- Bowles, J. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*. México: McGRAW-HILL.
- Borselli, L. (2019). *Geotecnia I*. México, San Luis de Potosí: UASLP Facultad de Ingeniería.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., Baptista Lucio, Pilar. (2014). *Metodología de la Investigación (6ta. ed.)*. México: McGRAW-HILL / Interamericana Editores.
- Gonzales de Vallejo, L.I., Ferrer M., Ortuño L., Oteo C. (2002). *Ingeniería Geológica (1ra. ed.)*. Madrid: Pearson Educación.
- Gutiérrez Lázares W. (2016). *Mecánica de Suelos aplicada a Vías de Transporte (1ra. ed.)*. Lima: Editorial MACRO.



Bañón Blázquez L., Beviá García J.F. (2000). *Manual de Carreteras: Construcción y Mantenimiento (2do. vol.)*. España: Universidad de Alicante



Anexos

TESIS: “INFLUENCIA DE LA COLOFONIA DE PINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON FINES DE SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA ADICIÓN DEL 3%, 5% Y 7% EN LA AV. PRIMAVERA DE LA APV. PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO.”					
Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Indicadores	Técnicas e Instrumentos
<p><b>Problema general</b></p> <p>¿En qué medida influye la Colofonia de Pino en las Propiedades Físico – Mecánicas de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco?</p>	<p><b>Objetivo general</b></p> <p>Determinar la influencia de la Colofonia de Pino en las Propiedades Físico – Mecánicas de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco.</p>	<p><b>Hipótesis general</b></p> <p>La influencia de la Colofonia de Pino incrementará las Propiedades Físico – Mecánicas de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco.</p>	<p><b>Independiente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Colofonia de Pino</li> <li>- Suelo Arcilloso</li> </ul>	<p>% Porcentaje de Colofonia de Pino en función al peso suelo seco:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3% de Colofonia de Pino – 97% de Suelo Arcilloso Seco</li> <li>• 5% de Colofonia de Pino - 95% de Suelo Arcilloso Seco</li> <li>• 7% de Colofonia de Pino - 93% de Suelo Arcilloso Seco</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formatos de Observación</li> <li>• Fichas de Laboratorio</li> </ul>
<p><b>Problemas específicos</b></p> <p>1. ¿En qué medida influye la Colofonia de Pino en la Granulometría de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco?</p>	<p><b>Objetivos Específicos</b></p> <p>1. Determinar la influencia de la Colofonia de Pino en la Granulometría de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco.</p>	<p><b>Hipótesis específicas</b></p> <p>1. La influencia de la Colofonia de Pino no afectará la Granulometría de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco.</p>	<p><b>Dependiente Propiedades Físicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Granulometría</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porcentajes Pasante en el tamiz N° 4</li> <li>• Porcentajes Pasante en el tamiz N° 10</li> <li>• Porcentaje Pasante en el tamiz N° 40</li> <li>• Porcentaje Pasante en el tamiz N° 200</li> <li>• Coeficiente de Uniformidad</li> <li>• Coeficiente de Curvatura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formatos de Observación</li> <li>• Fichas de Laboratorio</li> </ul>



<p>2. ¿En qué medida influye la Colofonia de Pino en el Índice de Plasticidad de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco?</p>	<p>2. Determinar la influencia de la Colofonia de Pino en el Índice de Plasticidad de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco.</p>	<p>2. La influencia de la Colofonia de Pino disminuirá el Índice de Plasticidad de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco.</p>	<p>- Índice de Plasticidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Límite Plástico</li> <li>• Limite Líquido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formatos de Observación</li> <li>• Fichas de Laboratorio</li> </ul>
<p>3. ¿En qué medida influye la Colofonia de Pino en el Grado de Compactación de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco?</p>	<p>3. Determinar la influencia de la Colofonia de Pino en el Grado de Compactación de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco.</p>	<p>3. La influencia de la Colofonia de Pino mejora el Grado de Compactación de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco.</p>	<p>- Grado de Compactación</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Densidad Máxima Seca</li> <li>• Contenido De Humedad Óptimo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formatos de Observación</li> <li>• Fichas de Laboratorio</li> </ul>
<p>4. ¿En qué medida influye la Colofonia de Pino en la Capacidad de Soporte CBR de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco?</p>	<p>4. Determinar la influencia de la Colofonia de Pino en la Capacidad de Soporte CBR de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco.</p>	<p>4. La influencia de la Colofonia de Pino aumentara la Capacidad de Soporte CBR de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco.</p>	<p>- Capacidad de Soporte CBR</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de CBR</li> <li>• Índice de Expansión</li> <li>• Índice de Absorción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formatos de Observación</li> <li>• Fichas de Laboratorio</li> </ul>



<p>5. ¿En qué medida influye la Colofonia de Pino en el Módulo de Resiliencia de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco?</p>	<p>5. Determinar la influencia de la Colofonia de Pino en la Capacidad de Soporte CBR de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco.</p>	<p>5. La influencia de la Colofonia de Pino aumentara el Módulo de Resiliencia de suelos arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la adición del 3%, 5% y 7% en la Av. Primavera de la APV. Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – Cusco.</p>	<p>- Módulo de Resiliencia</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Índice de CBR</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Formatos de Observación</li><li>• Fichas de Laboratorio</li></ul>
---	---	--	--------------------------------	---	---

*Fuente: Elaborado por Huayllani B. y Velarde J. (2022)*