

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL



Tesis

**Influencia de la adición de resina de pino en las propiedades físico-mecánico de la
subrasante de suelo arcilloso en la carretera Humaccata - Kerapata,**

Abancay 2024

Asesor:

Ph.D. Vásquez Ramírez Abbon, Alex

Autor:

Mendivil Enciso, Edwin

Para optar el Título Profesional de: Ingeniero Civil

Abancay – Apurímac – Perú

2025



Universidad Tecnológica de los Andes



Transformando vidas
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 014

En la ciudad de Abancay año 2025 en el mes de febrero día lunes del 24 siendo las 11:00 am, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0163-2025- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 14 de febrero del 2025, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería.

Presidente :	MSc. Ing. Maldonado Mendivil, Angel
Dictaminante :	Ing. Cayo Baca, Holguer
Replicante :	Ing. Gamarra Mota, Rubén

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Influencia de la adición de resina de pino en las propiedades físico-mecánico de la subrasante de suelo arcilloso en la carretera Humaccata-Kerapata, Abancay 2024

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br: Mendivil Enciso, Edwin

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Unanimidad
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Mendivil Enciso, Edwin	Aprobado

Siendo las 12:34 del mediodía concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: MSc. Ing. Maldonado Mendivil, Angel

Dictaminante: Ing. Cayo Baca, Holguer

Replicante: Ing. Gamarra Mota, Rubén

Abancay 28 de febrero del 2025

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 318.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
Ciudad Universitaria Av. Perú N° 700, Abancay, Central Telefónica 051 (083) 321559
Filial Cusco, Av. Grau N° 516, Teléfono (084) 251565
Filial Andahuaylas, Juan Antonio Trelles N° 513 Teléfono (083) 421752
www.utea.edu.pe

(*): Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban. Art. 18 RGAT.
(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado. 16 a 18: Aprobado Notable. 19 v




20% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 15%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 17%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Metadatos

Datos del Autor	
Apellidos y nombres	: Mendivil Enciso, Edwin
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Numero de Documento de Identidad	: 45103755
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0000-8026-5209
Datos del Asesor	
Apellidos y nombres	: Vásquez Ramírez Abbon, Alex
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Numero de Documento de Identidad	: 06532658
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0001-7299-5367
Datos de la Investigación	
Facultad	Ingeniería
Escuela Profesional	Ingeniería Civil
Línea de Investigación	Gestión de la Infraestructura para el desarrollo Sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	2024 - 2025
Fuente de financiamiento	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	20%
URL de OCDE	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

A mi familia, pilar fundamental de mi vida, les dedico este trabajo con profundo amor y gratitud por su respaldo incondicional y amor inquebrantable por su constante aliento, comprensión y sacrificio que han sido mi mayor inspiración.

A mis docentes de la UTEA, que gracias a sus enseñanzas y experiencias, he podido construir una base sólida que no solo me ha permitido avanzar académicamente, sino que también ha forjado en mí los valores y la actitud necesaria para desempeñarme con integridad en esta carrera profesional.

A mis compañeros y amigos de la universidad, por su apoyo, motivación y los momentos compartidos a lo largo de nuestra formación académica, dejando una huella significativa en cada etapa de nuestro camino común.

Agradecimiento

A Dios, fuente de toda sabiduría y fortaleza, por bendecirme con el regalo de la vida y por guiarme en mis victorias y fracasos. por ser mi camino y pilar en cada paso de este viaje académico.

A mis padres y hermanos, quienes siempre creyeron en mí, les debo un profundo reconocimiento por ser mi fuente de inspiración y aliento en cada paso que he dado.

A mis docentes, asesores académicos y todos aquellos que han compartido su sabiduría y experiencia, les agradezco por su dedicación y orientación y dirección de este proyecto, así como en mi formación académica y profesional.

Resumen

El presente estudio tiene como objetivo determinar el efecto de la adición de resina de pino (RP) en las propiedades físico-mecánico de la subrasante de suelos arcillosos. Para ello se utilizaron especímenes de suelo extraídas de la carretera Humaccata – Kerapata de la ciudad de Abancay, a las cuales se les aplicaron porcentajes de (RP) del 0%, 2%, 4% y 6%. En la metodología el estudio presenta un nivel explicativo y tipo aplicada. Los resultados indicaron que la (RP) influye en la desinada máxima seca (DMS) pasando de 1.75gr/cm³ (patrón) a 1.85gr/cm³, 1.87gr/cm³ y 1.83gr/cm³. Respecto al (CBR al 95% de MDS, 0.1” de penetración), incremento de 2.60% (grupo patrón) a 5.45%, 9.15%, y 7.50% paras adiciones de 2%, 4%, y 6% de (RP), respectivamente y para el (CBR100% de MDS, 1”), mejoro de 3.80% a 7.40%, 10.90%, y 9.55% para las mismas adiciones. Además, en los límites de Atterberg el índice de plasticidad (IP) tienden a reducirse pasando de 12.16%, (grupo patrón) a 6.90%, 5.30%, y 4.20% respectivamente. Se concluyo que el valor más óptimo del CBR fue al incorporar (RP) en 4%, categorizando la subrasante de pobre (S₀) a buena (S₃) según los lineamientos del MTC, sin embargo, para adiciones de (RP) mayores al 6% los valores del (CBR) tienden a disminuir ligeramente. Por otro lado, los límites de Atterberg siendo el índice plástico el valor que determina la plasticidad del suelo, reduce constantemente al incorporar niveles de (RP) cambiando de un suelo de plasticidad media a baja.

Palabra clave: resina de pino, propiedades físico-mecánico, subrasante, suelo arcilloso

Abstract

The objective of this study is to determine the effect of pine resin (PR) addition on the physical-mechanical properties of the subgrade of clayey soils. For this purpose, soil samples were extracted from the Humaccata – Kerapata road in the city of Abancay, to which PR percentages of 0%, 2%, 4%, and 6% were applied. The study methodology presents an explanatory level and is applied in nature. The results indicated that PR influences the maximum dry density (MDD), increasing from 1.75 g/cm³ (control) to 1.85 g/cm³, 1.87 g/cm³, and 1.83 g/cm³. Regarding the CBR at 95% MDD, 0.1" penetration, it increased from 2.60% (control group) to 5.45%, 9.15%, and 7.50% for the 2%, 4%, and 6% PR additions, respectively. For the CBR at 100% MDD, 1" penetration, it improved from 3.80% to 7.40%, 10.90%, and 9.55% for the same additions. Furthermore, in the Atterberg limits, the plasticity index (PI) tends to decrease, going from 12.16% (control group) to 6.90%, 5.30%, and 4.20%, respectively. It was concluded that the optimal CBR value was achieved with a 4% PR addition, categorizing the subgrade from poor (S0) to good (S3) according to the MTC guidelines. However, for PR additions greater than 6%, the CBR values tend to slightly decrease. On the other hand, the Atterberg limits, with the plasticity index determining soil plasticity, consistently decreased with PR levels, changing the soil from medium plasticity to low plasticity.

Keywords: pine resin, physical-mechanical properties, subgrade, clayey soil

Índice

Portada.....	i
Acta de sustentación.....	ii
Reporte de similitud.....	iii
Metadatos.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract	viii
Índice	ix
Índice de tablas.....	xii
Índice de figuras.....	xiii
Índice de anexos.....	xiv
I. Introducción.....	16
II. Planteamiento del Problema.....	17
2.1. Descripción y formulación del problema	17
2.2. Objetivos	19
2.2.1. <i>Objetivo General</i>	19
2.2.2. <i>Objetivos Específicos</i>	19
2.3. Justificación e importancia.....	20
2.4. Hipótesis	20
2.5. Variable	22
III. Marco Teórico.....	23
3.1. Antecedentes	23
3.2. Bases teóricas.....	33
3.2.1. <i>Relación de Capacidad Soporte California (CBR) ASTM D 1883</i>	33
3.2.2. <i>Límites de Atterberg método estándar (ASTM D - 4318)</i>	36
3.3. Definición de términos	39

Índice de Tablas

Tabla 1 Operacionalización de variables	22
Tabla 2 <i>Categoría de subrasante según el CBR</i>	36
Tabla 3 <i>Factor (K) de corrección</i>	37
Tabla 4 <i>Relación entre el punto de expansión y el L. líquido</i>	38
Tabla 5 <i>Categoría de suelo arcilloso en función al índice plástico (IP)</i>	38
Tabla 6 <i>Categoría de suelo de subrasante en función al índice de grupo (IG)</i>	39
Tabla 7 <i>Mallas para análisis Granulométrico</i>	42
Tabla 8 <i>Simbólica de clasificación (SUCS)</i>	43
Tabla 9 <i>Relación de tipos de suelos según AATHO - SUCS</i>	44
Tabla 10 <i>Margen de confiabilidad de alfa-Cronbach</i>	53
Tabla 11 <i>Progresivas y coordenadas de las calicatas</i>	54
Tabla 12 <i>Dosificación de resina de pino (RP) en peso al suelo natural (SN)</i>	55
Tabla 13 <i>Elementos del ANOVA MR</i>	59
Tabla 14 <i>Resultado de los ensayos del grupo patrón</i>	62
Tabla 15 <i>Resultado - máxima densidad seca (DMS) en gr/cm³</i>	63
Tabla 16 <i>Resultado – Índice de Soporte California (CBR) al 95% DMS, 1" de penetración</i>	64
Tabla 17 <i>Resultado – Índice de Soporte California (CBR) al 100% DMS, 1" de penetración</i>	65
Tabla 18 <i>Resultado - Limite líquido de suelo</i>	66
Tabla 19 <i>Resultado - Limite Plástico</i>	67

Tabla 20 <i>Resultado – Índ. plástico</i>	68
Tabla 21 <i>Condición de normalidad por test de Shapiro-Wilk de la DMS</i>	72
Tabla 22 <i>Condición de homocedasticidad por Levene de la DMS</i>	73
Tabla 23 <i>Condición de esfericidad test de Mauchly de la DMS</i>	73
Tabla 24 <i>Media (M) y desviación estándar (DE) de la DMS</i>	74
Tabla 25 <i>Resultado del analizas ANOVA MR de la DMS</i>	74
Tabla 26 <i>Resultado de test de Bonferroni de la DMS</i>	75
Tabla 27 <i>Condición de normalidad por test de Shapiro-Wilk del CBR</i>	75
Tabla 28 <i>Condición de Homocedasticidad por Levene del CBR</i>	76
Tabla 29 <i>Condición de esfericidad por Mauchly del CBR</i>	76
Tabla 30 <i>Media (M) y desviación estándar (DE) del CBR</i>	77
Tabla 31 <i>Resultado del análisis ANOVA M.R. del CBR</i>	77
Tabla 32 <i>Resultado del test Bonferroni para el CBR</i>	78
Tabla 33 <i>Condición de normalidad test Shapiro-Wilk del Índice Plástico</i>	79
Tabla 34 <i>Condición - homocedasticidad por Levene del Índice Plástico</i>	79
Tabla 35 <i>Condición de esfericidad test Mauchly del I. Plástico</i>	80
Tabla 36 <i>Media (M) y Desviación Estándar (DE)</i>	80
Tabla 37 <i>Resultado del análisis estadístico del ANOVA M.R del I. Plástico</i>	81
Tabla 38 <i>Resultado del test Bonferroni del Índice Plástico</i>	81

-

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Curva corregida de penetración vs presión</i>	35
Figura 2 <i>Curva de máxima densidad seca (DMS) vs (CBR)</i>	35
Figura 3 <i>Grafico para la determinación del L. líquido perteneciente a los 25 golpeteos.</i> ..37	
Figura 4 <i>Estructura tetraédrica y laminar de silicato de aluminio de suelo arcilloso</i>	41
Figura 5 <i>Estructura octaédrica y laminar de alúmina de suelo arcilloso</i>	41
Figura 6 <i>Carta de plasticidad (SUCS)</i>	44
Figura 7 <i>Componentes química beta pineno y alfa pineno de Trementina – colofonia de pino</i>	48
Figura 8 <i>Estructura química - Colofonia de pino</i>	48
Figura 9 <i>Resina de pino (colofonia) en estado sólido después del tratamiento</i>	49
Figura 10 <i>Resultado de la DMS en gr/cm³</i>	63
Figura 11 <i>Resultado – Índice de Soporte California (CBR) al 95% DMS 1" de penetración</i>	64
Figura 12 <i>Resultado – Índice de Soporte California(CBR) al 100% DMS, 1" de penetración</i>	65
Figura13 <i>Resultado – Limite. Liquido del suelo</i>	66
Figura 14 <i>Resultado - Limite Plástico</i>	67
Figura 15 <i>Resultado - Índice plástico del suelo</i>	68

Índice de Anexos

Anexo 1: Matriz de consistencia.....	94
Anexo 2 <i>Matriz de operacionalización de variables</i>	95
Anexo 3 Declaración de originalidad de trabajo de investigación.....	97
Anexo 4: Instrumento de recolección de datos.....	98
Anexo 5: Registro fotográfico de pruebas de campo y laboratorio.....	119
Anexo 6: Mapa de ubicación del proyecto.....	121
Anexo 7: Certificados de calibración	122

I. Introducción

El desempeño de una infraestructura vial depende en gran medida de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante, ya que esta constituye la base sobre el cual descansan todas las capas de un pavimento. Sin embargo, las infraestructuras viales con suelos arcillosos presentan desafíos recurrentes en la ingeniería de transportes. Los suelos de tipo arcillosa, debido a su limitada capacidad de resistencia y alta plasticidad generan problemas que afectan negativamente la estabilidad en la carretera (Gallardo et al., 2019). Por lo tanto, es crucial implementar tratamientos que mejoren las características geotécnicas del terreno, reduciendo estas fallas y asegurando una mayor durabilidad de las vías.

Según el (MTC), un índice de capacidad de soporte California (CBR) de 6% o menos indica que la subrasante es técnicamente deficiente. Para mejorar esta situación, el MTC recomienda varias técnicas para optimizar la consistencia del suelo, como el tratamiento mecánico, sustitución de material, las estabilizaciones químicas y el uso de geo-sintéticos, entre otros (Ministerio de Transporte y Comunicaciones [MTC], 2014, P.41).

En ese contexto, la investigación propone explorar la adición de resina de pino como un agente estabilizante para suelos arcillosos, ofreciendo una alternativa sostenible, ya que el material es renovable y accesible. Además, se centra en la evaluación del desempeño físico-mecánico de los sustratos arcillosos en la carretera tramo Humaccata – Kerapata, de la ciudad de Abancay, analizando el efecto al añadir resina de pino en indicadores clave como los márgenes de consistencia y el (CBR), para determinar si la inclusión de resina de pino mejora el rendimiento de los suelos arcillosos, ofreciendo una solución en proyectos viales.

II. Planteamiento del Problema

2.1. Descripción y formulación del problema

Las infraestructuras de transporte son medios claves para el progreso económico y mejora la calidad de vida en cualquier nación o región. Sin embargo, por diversas situaciones se han ido deteriorando, aún más con los factores climáticos que han causado significativas pérdidas en el sector del transporte, dejando así una necesidad insatisfecha importante en una población (Espinet et al., 2022). Por lo que es de interés identificar este problema existente para dar soluciones efectivas. Además, para que un país logre un crecimiento económico, debe tener una buena infraestructura vial, pero América Latina tiene tales problemas que el foro económico mundial (FEM) realizó un estudio con el propósito de examinar el desempeño de la red de carreteras en diferentes países, midiendo en serie del 1- 7, siendo 1 muy defectuosa y 7 muy bueno, encontrando a Haití con una puntuación máxima de 2.1, Perú con puntuación 3 y Venezuela con puntuación 2.5 el cual muestran un gran déficit en todo América Latina (Velásquez, 2020).

En Colombia, los suelos arcillosos con plasticidad alta en las carreteras son un serio problema, estos suelos muestran inestabilidad volumétrica, con baja resistencia y capacidad de carga, además de ser deformables presentan baja permeabilidad. Esta condición resulta problemática para las cimentaciones de cualquier tipo de estructuras, ya que las cargas aplicadas pueden comprimir las capas de arcilla, forzando la expulsión de aire o agua, lo que provoca un reordenamiento de los componentes y variaciones en el volumen del material (Gallardo et al., 2019, p.6).

En Perú, en factores de niveles de pobreza, según el programa de camino rurales afirma que el 48% de la población total es pobre y con mayor incidencia en la zonas rurales con 70% de la población rural pobre y 35.6% en extrema pobreza, entre los factores que determina la pobreza destaca las redes viales en vista que tiene una gran importancia social y desarrollo económico ya que gracias a ello las comunidades en Perú lograron establecer conexiones que facilitaron la expansión de nuevos mercados, el acceso a los

servicios básicos como educación, salud, empleo etc., lo que contribuye gradualmente al crecimiento económico y a una mayor sostenibilidad (MTC, 2020, p.6).

En Chachapoyas, región Amazonas, las vías en la intersección de la Av. Los Libertadores y el Jr. Las Orquídeas presentan dificultades debido a los suelos arcillosos de la zona. Este terreno, caracterizado por su alta plasticidad, baja densidad y limitada capacidad portante, genera deformaciones, pérdida de estabilidad y problemas de compactación. Esto impacta directamente en la infraestructura vial, aumentando los costos de mantenimiento y reduciendo la vida útil de las carreteras (Linares et al., 2021).

En la localidad de Abancay específicamente en la vía de evitamiento según los estudios realizados identificaron suelos arenosos con arcilla (SC) y arcilla de plasticidad media (CL) con más del 37 % de humedad. Estos suelos, caracterizados por su alta concentración de finos y baja granulometría, presentan una resistencia insuficiente frente a las cargas aplicadas, lo que genera una serie de problemas en la red vial de la ciudad, afectando directamente a los moradores del lugar, quienes experimentan dificultades y peligros al transitar, especialmente en temporada de lluvias (Alvarado et al., 2022).

Luego de realizar la verificación del lugar que es objeto de estudio, en la carretera tramo Humaccata – Kerapata ubicado en la provincia de Abancay - Apurímac, se pudo constatar que la zona presenta sustratos de suelo arcilloso. Además, el informe de estudio de suelos evidenció tipos de suelo arcillosos de plasticidad media (CL) y suelo arenoso con limo y arcilla (A-6(4)), de acuerdo con el sistema de categorización SUCS y AASTHO, así mismo se encontró CBR mínimo de 3.80% las cuales no cumplen con los estándares para su uso como una infraestructura vial debido a las fallas que presenta por fenómenos de cambios volumétricos en la subrasante arcillosa como asentamientos aislados, huecos, fisuras, surcos. hundimiento ahuellamientos, afectando negativamente a los residentes del lugar, además su vida útil se acorta aún más por presencia de lluvias constantes, mantenimientos deficientes y el desinterés de las autoridades para su mantenimiento.

2.1.1. Problema General

- ¿Cuál es la influencia de la adición de resina de pino en las propiedades físico-mecánico de la subrasante de suelo arcilloso en la carretera Humaccata – Kerapata, Abancay 2024?

2.1.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es la influencia de la adición de resina de pino en la densidad máxima seca de la subrasante de suelo arcilloso en la carretera Humaccata – Kerapata, Abancay 2024?
- ¿Cuál es la influencia de la adición de resina de pino en el CBR de la subrasante de suelo arcilloso en la carretera Humaccata – Kerapata, Abancay 2024?
- ¿Cuál es la influencia de la adición de resina de pino en los límites de Atterberg de la subrasante de suelo arcilloso en la carretera Humaccata – Kerapata, Abancay 2024?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

- Determinar la influencia de la adición de resina de pino en las propiedades físico-mecánico de la subrasante de suelo arcilloso en la carretera Humaccata – Kerapata, Abancay 2024.

2.2.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la influencia de la adición de resina de pino en la densidad máxima seca de la subrasante de suelo arcilloso en la carretera Humaccata – Kerapata, Abancay 2024.
- Avaluar la influencia de la adición de resina de pino en el CBR de la subrasante de suelo arcilloso en la carretera Humaccata – Kerapata, Abancay 2024.

- Evaluar la influencia de la adición de resina de pino en los límites de Atterberg de la subrasante de suelo arcilloso en la carretera Humaccata – Kerapata, Abancay 2024.

2.3. Justificación e importancia

La tesis se justifica debido a la necesidad de mejorar las características físico-mecánicas de la subrasante compuestos de suelos arcillosos mediante un método innovador dado que no se han encontrado estudios a nivel local sobre esta tecnología. Así mismo se justifica porque soluciona un problema de inestabilidad del suelo existente en el lugar de estudio, debido a que La resina de pino tiene el potencial de mejorar la capacidad de carga y reducir la plasticidad del suelo, optimizando la subrasante para su utilización y diseño de un pavimento.

La tesis es relevante porque aporta nuevo conocimiento en un área poco explorada, que podría establecer la base para investigaciones similares. Además, promueve el desarrollo de infraestructura vial más sostenible, debido a que la resina de pino es un recurso de origen natural, renovable, accesible con propiedades aglutinantes y resistente al agua con el potencial de mejora las subrasantes problemáticas, reduciendo las inversiones de mantenimiento, construcción y ampliando la vida útil de la infraestructura viales impactando directamente en el progreso económico y social de la población.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

- La adición de resina de pino influye en las propiedades físico-mecánico de la subrasante de suelo arcilloso en la carretera Humaccata – Kerapata, Abancay 2024.

2.4.2. Hipótesis Específica

- La adición de resina de pino influye en la densidad máxima seca de la subrasante de suelo arcilloso en la carretera Humaccata – Kerapata, Abancay 2024.
- La adición de resina de pino influye en el CBR de la subrasante de suelo arcilloso en la carretera Humaccata – Kerapata, Abancay 2024.
- La adición de resina de pino influye en los Límites de Atterberg de la subrasante de suelo arcilloso en la carretera Humaccata – Kerapata, Abancay 2024.

2.5. Variables

Variable independiente (VI): Adición de Resina de pino

Variable dependiente (VD): Propiedades físico-mecánico de la subrasante

Tabla 1

Operacionalización de variables

Título: Influencia de la adición de resina de pino en las propiedades físico-mecánico de la subrasante de suelo arcilloso en la carretera Humaccata - Kerapata, Abancay 2024.

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	Instrumento
V.I. Adición de Resina de pino	Compuesto natural con propiedades adhesivas secretado por árboles de pino, que se utiliza en una variedad de aplicaciones industriales, comerciales (Telleria-Mata et al., 2019).	La resina de pino, en su estado endurecido y triturado, fue añadida al suelo arcilloso en diferentes proporciones, en relación al peso seco del suelo, según la necesidad de cada ensayo conforme al MTC-2016.	Proporción de resina de pino en peso	Resina al 0% Resina al 2% Resina al 4% Resina al 6%	Razón	Formato de recolección de datos
V.D. Propiedades físico-mecánico de la subrasante	La compactación es un proceso mecánico de estabilización del suelo mediante el cual se incrementa la densidad al eliminar vacíos del suelo (Das 2013).	La DMS se determina con el ensayo Proctor modificado sometiendo una muestra a condicione de humedades diferentes y energía de compactación.	Grado de Compactación	DMS (gr/cm ³) y OCH (%)	Razón	Formato de recolección de datos
	Los Límites Atterber son parámetros que proporcionan información sobre la plasticidad y expansión de un suelo fino (Martínez, 2016).	Los límites de Atterber se determina en laboratorio midiendo el contenido de humedad del suelo para calcular el (L.L) Y (LP) para evaluar la plasticidad del suelo.	Límites de Atterberg	% L. Líquido % L. plástico %Índice de plasticidad		Formato de recolección de datos
	El CBR es una medida de la capacidad de soporte bajo carga. Se utiliza para diseñar pavimentos y carreteras(Mérida, 2017).	El CBR Se determina en laboratorio aplicando una carga gradual a una muestra de suelo bajo condiciones controladas de humedad y densidad. Se mide la resistencia del suelo mientras se incrementa la carga.	Capacidad de soporte del suelo (CBR)	% CBR al 100% DMS,1" % CBR al 95% DMS,1"	Razón	Formato de recolección de datos

Nota: variable independiente (V.I), variable dependiente (V.D)

III. Marco Teórico

3.1. Antecedentes

Ajagbe et al. (2024), en su estudio cuyo propósito fue, examinar la incidencia de la goma del árbol acacia, en las características geotécnicas del suelo para subrasante, como una alternativa sostenible e innovador para tratamientos de suelos, donde el universo de estudio fue consentido por los componentes de la subrasante de las carreteras dentro de la zona Oyo – Nigeria. La extracción de los especímenes representativos S1: arcilloso, S2: arenoso, S3: arenosos arcilloso, fue en las diferentes vías de Ibadan. El método de este estudio fue aplicado en su tipo y experimental en cuanto a su diseño, donde se realizaron evaluaciones al suelo con adición de goma del árbol acacia del 1.5%, 3%, 6% y 12%, esto para concebir progreso en los aspectos geotécnicos del material.

En consecuencia, en los hallazgos, en cuanto a los límites de Atterberg siendo el índice plástico quien mide la plasticidad del suelo paso para S1: de 30.1% (patrón) a 25%, 38%, 12%, 21%, para incorporación de (1.5%, 3%, 6% y 12%) respectivamente mientras que para S2: de 0% (patrón) a 2%, 5%, 1.5%, 8%, para la misma adición, para S3: paso de 9% (patrón) a 11%, 15%, 12%, 10%, así mismo revelaron valores máximos de CBR para los especímenes S1, S2 y S3, con incorporación de goma arábica (GA) al 1.5%, 6% y 1.5% respectivamente, alcanzando (8.4%, 28.7% y 16.9%). en comparación de del grupo patrón de (1.5%, 16.5%, 12%) de CBR, mientras que para los CBR sin saturar obtuvieron con un tratamiento de (GA) del 3% fueron (32,1%, 81,7% y 48,7%), en comparación del grupo patrón de (18%, 60%, 28%) respectivamente.

En las conclusiones definió que la utilización de este aditivo optimiza positivamente las cualidades geotectónicas del material además fomenta la infraestructura vial sostenible, así mismo la adición de 3% para CBR sin saturar y (1.5 y 6%) para CBR saturadas trascendieron ser la dosis ideal para tener éxito en la estabilización de un suelo.

Retuerto y Gonzales (2022), en su trabajo de investigar cuyo objetivo fue tasar la estabilidad de sustratos arcilloso para potenciar la capacidad de carga mediante la inclusión de biopolímeros, donde el área de investigación es los suelos arcillosos en la de las Av. Naranjales Sanmartín de Porres – Lima. La metodológico planteada fue de enfoque cuantitativo, tipo aplicativo, experimental en cuanto al diseño, ya que los investigadores realizaron evaluaciones al suelo con adición de biopolímero lignina del 0.75%, 1.5%, y 2.5% esto para encontrar mejoras en su potencial de carga del suelo.

En consecuencia, en los hallazgos determinaron que el suelo patrón tenía plasticidad baja con IP igual a 14%, componente de humedad de 18.90%, densidad máxima (DMS) de 1.769gr/cm³ y CBR al 95% con 0. 2" de penetración de 13.70%, ahora bien en las muestras con adición de biopolímero en 0.75%, 1.5%, y 2.5% se mostraron mejoras en cuanto a la (DMS) de 1.83 g/cm³, 1.860 g/cm³ respectivamente a cada adición, en cuanto al CBR, para curado de 8 días se obtuvieron mejoras de 13.70% del suelo patrón a 95.30%, 118% y 74.50% respectivamente al porcentaje de adición mencionada anteriormente, para curado de 16 días obtuvieron mejoras de CBR de 13.70% del suelo natural a 105%, 100% y 69.70% correspondientemente.

En las conclusiones afirmaron que los datos del (CBR) con tratamiento de 8 y 16 días en las muestras con biopolímero, se evidencio que con 8 días se consiguió mayor aumento de capacidad de carga, consiguiendo un valor de CBR de 118% con 1.50% de adición de biopolímero, en comparación con el curado de 16 días con un valor de CBR de 96.30% con 1.00% de biopolímero Lignina, por lo que el óptimo porcentaje de aditivo para el progreso de CBR, está en emplear el 1.50 % y 1.00% de biopolímero Lignina

Ojeda-Farías et al. (2018), en su investigación cuyo propósito fue experimentar la incidencia de la ceniza de residuos de caña de azúcar (CBCA) a modo de remplazo arbitrario del Cemento Compuesto portan (CPC) en el suelo-arcillosos con el fin de mejorar sus tipologías mecánicas y ser utilizados en el pavimento, donde el universo de estudio fue el suelo granular-arenoso, donde utilizaron 06 muestra de suelo granular-arenoso

obtenidos del banco de materia prima de la población de Xalapampa. El método de investigación fue cuantitativo en su enfoque, tipo aplicada y experimental en su diseño, en vista que determinaron la conducta de la superficie natural añadiendo (CPC - CBCA) en 3%, 5%, 7% al espécimen, igualmente la implicación a causa de la añadidura de la disposición (CPC-CBCA) en esos idénticos comisiones (3%, 5%, 7%) pero en composiciones de (75%CPC y 25%CBCA) y (50%CPC y 50%CBCA).

Seguidamente en los Resultados, en efectos del CBR los especímenes con añadiduras en 3%, 5%, 7% de la composición de (75%CPC y 25%CBCA) exhiben un buen resultado. En el análisis de CBR añadiendo al espécimen con 3%, 5% de dicha composición se obtiene un CBR 95% y CBR 107% independientemente, estos datos de CBR son muy parecidos a los logrados por los especímenes con complemento de 3%, 5% de CPC, el espécimen con 7% de la mezcla (75%CPC y 25%CBCA) poseyó un dato de (CBR) de 137% permaneciendo por encima de los especímenes sin añadiduras en un 112.5%. Para los especímenes con composición de (CPC50% y CBCA50%) en un 3% exhibió un CBR de 142%, pero estos efectos van reduciendo acorde se va añadiendo más adición lo que forjó que el suelo con 5%, 7% exhibiendo un CBR de 83% y CBR de 70% respectivamente.

En las conclusiones manifestaron que la sustitución arbitraria de CBCA por 25% de CPC es el adecuado, en vista que se puede identificar como el nivel ideal en suelos arenosos, expresado en porcentaje debido a su buen desempeño en ensayo de consolidación, firmeza a compresión simple y (CBR), siendo su comportamiento muy alto, lo que implica que es posible utilizar (CBCA) como alternativa arbitraria del cemento Portland para potenciar las tipologías mecánicas de los sustratos usados en la construcción de carreteras.

Pineda y Martínez (2021), tuvo como objetivo en su investigación, determinar la resistencia al corte y rigidez de suelos sometiendo a tratamiento con adición de biopolímero natural, donde el universo de estudio fue consentido por los componentes de la subrasante

de las rutas del distrito urbano de Colombia. La metodología en este estudio fue cuantitativa en cuanto a su enfoque y diseño experimental, donde se realizaron evaluaciones al suelo con adición de biopolímero de 0.5%, 1%, 2%, 3% esto para potenciar en cuanto a sus pertenencias mecánicas del suelo.

En consecuencia, en los resultados los definieron que el suelo patrón no tratadas mostraron resistencia al corte de 25 KPa, ahora bien, en las muestras de suelos tratados con adición de 0.5% biopolímeros aumento en 60KPa para 7 días de curado, sin embargo para adiciones de 3% en siete días se obtuvo 120KPa y para los porcentajes de 1%, 2% oscilan entre 70KPa y 90KPa , por lo cual la adiciones más óptimas para la estabilización es de 3% ya que mejoro significativamente el índice de resistencia al corte. Además, en el desenlace definieron que la adición de 3% de biopolímero natura trascendió ser la dosis ideal para tener éxito en elevar Los índices de fuerza de corte del suelo de la subrasante, haciéndole ideal para estabilización de infraestructuras viales con problemas inestabilidad a diferencia de métodos tradicionales que por lo general demandan elevados costos en su mantenimiento y diseño además no contribuyen con el medio ambiente.

Villacís et al. (2022), en su investigación cuyo propósito fue, comparar las peculiaridades de los suelos arcillosos hinchables sostenidos con una sustitución de ceniza de desechos de arroz (CCA) y ceniza volcánica (CV). Se utilizó un suelo de arcilla expansiva de Quito Ecuador, donde usaron tres especímenes representativos de arcilla expansiva y se compararon con los especímenes ya tratadas con añadiduras de ceniza . De acuerdo con la metodología, el proyecto experimental consistió en experimentos para indagar las peculiaridades físicas-mecánicas del suelo de arcilla hinchables, equilibrándolo reemplazando el suelo con diferentes porcentajes de ceniza. Se utilizan dos ejemplos de ceniza, en primer lugar, del volcán y en segundo lugar de origen orgánico (CCA) en adiciones de 10%, 20%, 30% y combinaciones iguales (50-50% en peso).

Por lo tanto, el resultado que presentaron fue que las proporciones que mejores resultados dieron es de 20% y 30%, a partir del 30% los resultados demostraron ser menos

viable, es decir existe una condición de reemplazo. En cuanto a los especímenes estabilizados mostraron mejoras en la resistencia al corte promedio del 5.6% a 15 %, en el enlace de 0.2 kg/cm² hasta 1.07kg/cm² y el ángulo de rozamiento de 22, 9° a 46.4°, en comparación con los especímenes de cenizas volantes modificadas en el índice de flexibilidad de 49% a 31%, fundamento una deflación en el índice de expansión de 131 .48 (potencial de expansión muy alto) a 65.32 (potencial de expansión medio). Además, Los factores de afianzamiento (C.V) se agrandan a régimen que acrecienta la proporción de ceniza, en las comisiones de 20%, 30% existe un acrecentamiento del valor de (C.V).

Por otro lado, concluyeron que el uso de una mezcla de dos cenizas (CCA Y CCV) favorece las características físicas mecánicas y composiciones de superficies arcillosos con propiedades hinchables. Asimismo, el nivel ideal de reposición de cenizas es del 20%, en vista que a más relación no hay progreso en las características de los especímenes. La gravedad específica de los especímenes afianzadas decrementa con el reemplazo de cenizas especialmente con (CCA).

More, S. y Ydrogo, E. (2021), en su trabajo cuyo propósito fue, manifestar la consolidación de suelos arcillosos con añadiduras del eco estabilizante a partir de resina de Musa SPP, en que el universo de estudio fue consentido por los componentes de la subyacente de la ruta de Cacatachi-Chirapa Tarapoto. La extracción de los especímenes representativos del suelo arcillosos fue en el trecho km.0+000 al kilómetro .100+06, de La carretera. El método de este estudio fue de enfoque aplicado y se basó en un diseño empírico, en vista que en el estudio evalúan incorporación de resina de Musa en diferentes porcentajes para luego medir el progreso en las peculiaridades mecánicas del suelo

En los resultados definieron que los especímenes del grupo patrón tenía una expansividad critica además encontraron resultados de resistividad muy bajas y CBR con valores que están por 4.5% - 6.4%. en visita a estos resultados lo estudiosos adicionaros proporciones de (Musa SPP) en proporciones de 1.5.%, 2.5% y 5% al espécimen donde se mostró un incremento en el CBR del suelo al 95% en las combinaciones de 2.5% y 5%.

Incrementar sus valores en todas las muestras en un 12.50% y 11% respectivamente. Se logro tener disminución de expansión de 1.62% a 1.54% además una ideal humedad relativa de 11% y MDS de 2.06 gr/cm³ y 2.02gr/cm³ respectivamente. Así mismo en la conclusión las peculiaridades mecánicas del suelo arenosos arcillosos son inestables por deformación volumétricas, además de tener un CBR de .4%, el cual se considera técnicamente deficiente según MTC si un CBR es ≤ 6%. Necesita equilibrio. Entonces un aumento de CBR al 12.50% gracias a la adición de (Musa) en un 2.5% trascendió ser la dosis ideal para tener éxito en el equilibrio de un suelo arenoso arcilloso

Huayllani y Velarde (2022), en su trabajo investigativo, cuyo propósito fue designar la proporción de colofonia de pino para el afianzamiento aplicado a subrasantes, donde el universo quedó dispuesta por todas las superficies arcillosas de las AV. Primavera y Pillao del centro poblado San Gerónimo – Cuzco. El método fue experimental en cuanto a su diseño y aplicada en su tipo, en vista que se manejaron incorporaciones de colofonia de pino (CP) para afianzar la subrasante en porciones de 3% - 5% - 7%

En los resultados determinaron que el CBR al 95% DMS 1" de penetración de 4% (patrón) mostró aumento en 6.74%, 7.49%, 8.25% respectivamente, mientras que la DMS de 1.76gr/cm³ (patrón) decreció a 1.74gr/cm³, 1.72gr/cm³ y 1.70kg/cm³, en cuanto a índ. Plástico del espécimen grupo patrón con 20% disminuye y permanece entre el 18% - 17%. Así mismo concluyeron que las cualidades mecánicas del suelo arcillosos inestables por deformación volumétricas, además de tener un CBR entre 4% inicialmente se pudo mejorar en gran medida con porcentajes de (CP) en 7% siendo con este el valor del CBR más optimo.

Callo y Yapu (2022),cuyo estudio tuvo como objetivo instaurar el efecto del Oxido de cal con Resina de Pino (RP), en las características de la subrasante en la red vial Vilcapaza – Puno. Dentro del marco metodológico se refiere al estudio con tipo aplicada y nivel explicativo, en vista que se realizaron evaluaciones al suelo fino patrón compuestos (C1, C2, C3), donde los resultados patrón mostraron una DMS de 1.79gr/cm³, 1.77gr/cm³,

1.76gr/cm³ y un CBR de 5.13%, 5.40%, 5.37% así mismo el (IP) de 17.54%.17.54% y 19.47% respectivamente y con tratamiento óptimo de 8%RP-3%OaC pasaron a valores de CBR (10.50%, 15.70%, 15.10%) y una DMS (1.813gr/cm³, 1.83gr/cm³, 1.82gr/cm³ y para IP (11.24%, 14.87%, 17.83%) para cada muestra C1-C2-C3 respectivamente. En su conclusión definieron que los resultados con la incorporación del compuesto óptimo de 8%RP-3%OaC, representa resultados más favorables para mejorar las propiedades físico-mecánica de la base de fundación evaluada.

Gutiérrez y Muñiz (2021), en su investigativo tuvo como objetivo, manifestar la firmeza de subrasantes con la incorporación de colofonia de ciprés (CC), donde el universo de estudio fue consentido por los componentes de la carretera Checaupe-Cuzco. La extracción de los especímenes representativos del suelo arcillosos fueron de la trocha carrozable Tiquiña. La metodología de este estudio fue aplicada en cuanto al tipo y de experimental en el diseño.

En cuanto a los resultados determinaron que los suelos en su estado natural tenían una expansivita critica además también tenían resultados de resistividad muy bajas y CBR con valores que están por 5.4% e l. plástico de 22%, en visita a estos resultados lo estudiosos adicionaros proporciones de resina de ciprés (RC) en porcentajes de 1.5.%, 3.0% y 6%, ahora bien para la adición de 6% de (RC) revelaron un aumento en el CBR del de 5.4% a 16.70%, además Se logro tener disminución de expansión, (DMS) de 1.981 g/cm³ a una tasa de humedad de 7.36%. Así mismo en la conclusión definieron que las peculiaridades mecánicas de la subrasante mejoraron en gran medida con adición de (RP) en 6% siendo el CBR (100% MDS 0,.1") = 16.70%, DMS = 1.981 g/cm³, L. liquido 38.0%, L. plástico 21%, IP =17% y CH = 7.36%, gracias a la adición de (RC) en un 6%, el cual trascendió ser la dosis ideal para tener éxito en el equilibrio de la subrasante.

Bautista (2023), en su trabajo de investigar el cual tuvo como propósito examinar la proporción óptima para estabilizar la subrasante con sustratos arcilloso con añadiduras de resina de pino. Donde la población de estudio fue el sector de Puma Marca de San-

Sebastián Cuzco y la muestra son los especímenes extraídos de la subrasante de la carretera de Puma Marca el cual se detallan con un elevado contenido de superficies-finos. En la metodología, fue aplicada en cuanto al tipo y experimental en su diseño, donde se adicionaron resina de pino (RP) en patrones de 2%, 4%, 6% para estabilización de subrasante.

Por otro lado en los resultados determinaron que para los suelos patrón, los espécimen en estudio tenía una expansivita critica además también tenían resultados de resistividad muy bajas (CBR al 100% DMS,1") de 4.63%, así mismo humedad y densidad seca más alta con valores que están por 14% y 1.678 gr/cc respectivamente, en visita a estos resultados lo estudiosos adicionaros proporciones de resina de pino (RP) en proporciones de 2.%, 4% y 6% a las muestras en estudio donde se mostró un aumento en el (CBR al 100% a 0.1")de 6.75%, 10.32%, 9.93%, respectivamente para cada adición

En consecuencia, para los aditamentos de (RP) de 2%, se encontraron mejoras en la (DMS) y optima humedades dé 1.70gr/cc y 14.65% respectivamente, ahora bien, en cuanto la adición de (RP) en 4% la (DMS) y optima humedades dé 1.725gr/cc y 13.8% respectivamente. En cuanto a las conclusiones definieron que para los valores de CBR con añadiduras de (RP) de 4% el valor es de 10.32% sin embargo para adiciones (RP) de 6% los resultados disminuyen de (10.32% a 9.93%) haciendo que los investigadores recomienden como adición más optimo es hasta el 4% ya que a más porcentaje de (RP) en el suelo demuestra resultados desfavorables respecto al CBR.

Pareja (2022), en su trabajo investigativo el cual tuvo como propósito establecer el dominio de añadir ceniza sichinus molle (CSM) en el afianciamieto de la sub-rasante, donde la población de estudio fue todos los elementos estudiar considerada la carretera rural Yanakillca-Antabamba, Apurímac. Donde la muestra comprendió la obtención de cinco especímenes desde el (Km 00+000 a Km 08+0000) de la ruta rural. La metodología de estudio fue experimental en cuanto a su diseño, tipo aplicada, nivel descriptivo, en vista

que se añadieron (CSM) al 3%, 5%, 7%, 10% y 13% en los especímenes para pretender mejorar sus atributos mecánicos del suelo.

En cuanto a los hallazgos. Para la combinación de suelo con 13% de (CSM), en cuanto el índice de soporte californiano (CBR) en las calicatas (1, 3, 5) demuestran que el valor CBR aumentó significativamente, en vinculo al suelo sin la incorporación. El (CBR pasó de 1.88% -22.5%) y de (1.843% - 22.4%), del (1.739% - 21.9%), lo que señala que las (CSM) agrandaron el (CBR) 10 veces más del estrato natural. Seguidamente se visualiza que I. Plástico es de 9.10 (grupo patrón), al añadir esta ceniza en 13% se evidencio una disminución de 0.4%.

Además, la densidad seca máxima (DMS) del modelo base es de 1.987, al incorporar la (CSM) en las diferentes proporciones, se nota una subida de 0.09, 0.092, 0.106, 0.111 y 0.120% en la (MDS). Asimismo, se observó que el espécimen base presenta un 1.88% de (CBR), y con la adición. (CSM) en las dosificaciones respectivas, se evidencia un aumento que pasa de 1.888% a 22.5% siendo más de 10 veces el incremento de CBR. Como conclusión definieron que los porcentajes recomendados podrían potenciar las características mecánicas del suelo, pero el más optimo fue de 13% de (CSM) ya que potencio la facultad de soporte. Es así, que el CBR procedió de 1.888%-22.5%, 1.843%-22.4%, y de 1.739%-21.9%, lo que señala que la (CSM) acrecentaron el valor del (CBR).

Bermúdez y Ortiz (2021), en su trabajo de investigar el cual tuvo como finalidad examinar la incidencia de la ceniza de paja de anís (CCDA) y cal para optimizar las características de la superficie. Donde tuvo como universo de estudio la ruta de Curahuasi-Cachora-Apurímac y la muestra son los especímenes extraídos del tramo gradual 2+500 km hasta 3+500 de la carretera, que detallan con un alto contenido de superficies-finos. En el procedimiento del estudio el enfoque fue cuantitativo, tipo de indagación es aplicada y de estructura casi experimental, en vista que busca resolver la inestabilidad de suelo con adiciones 4%, 6% y 8% de cal y 5%, 10% y 14%, de ceniza al suelo. En los resultados se determinaron que del C.B.R en suelo patrón tiene valores de hasta 7%, sin embargo, con

adición cal al 4% incrementa de 7% a 15.25%, para 6% incrementa 23.26%, para 8% incrementa CBR (100%) de 36.48%. EN consecuencia, con añadidura de (CCDA) en porcentajes de (5%,10,14%) se consiguieron resultados para el C.B.R, con una compactación al 100% de su (MDS) de (15.25%,17.30%, 27.60%) respectivamente.

Por otra parte, en los efectos que produce 4 porciento de cal al suelo grupo patrón, la (DMS) del suelo decrece de 1.973 g/cm^3 a 1.9 g/cm^3 , además de añadidura de 6 por cien de cal el dato disminuye a 1.95 d/cm^3 y al 8% de cal el valor obtiene 1.9 g/cm^3 . Como conclusión definieron que la adición de ceniza dio mejores resultados con adición al 14% ya que de la (DMS) y (optimo C.H) con añadiduras de (CCDA), al 10% tiene resultados que acrecienta hasta 1.975 g/cm^3 y por postrimero añadiéndole el 14% de (CCDA) el dato llega a 1.980 g/cm^3 . Respecto al CBR con aditamentos de cal al 14% (CCDA) pasa de 7% a 27.60%. de CBR.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Relación de Capacidad Soporte California (CBR) ASTM D 1883

Compactación

- **Vol. agua de mezclado**

Para muestra seca

$$V_w = \frac{W_s \cdot OCH}{y_w} \text{ (cm}^3\text{)} \quad (1)$$

Para muestra húmeda

$$W = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100 \text{ (\%)} \quad (2)$$

$$V_w = \frac{W_s(OCH - W\%)}{W\%} \text{ (cm}^3\text{)} \quad (3)$$

Donde:

V_w: Vol. De agua a añadir.

W: Contenido de humedad (%)

W_s: P. seco del espécimen (g)

y_w: densidad del agua (1g/cm³)

OCH: Optimo contenido de humedad

- **Densidad húmeda**

$$y_h = \frac{W_h}{V_m} \quad (4)$$

Donde:

W_h: Peso húmedo del espécimen (g)

V_m: Vol. Del molde (m³)

- **Humedad de verificación de compactación**

$$\%W_c = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100 \quad (5)$$

- **Densidad seca de verificación de compactación**

$$y_d = \frac{y_h}{1 + w_c/100} \quad (6)$$

Expansión

$$\% \text{ Expansión} = \frac{l_2 - l_1}{H} \times 100 \quad (7)$$

Donde:

L1: Lect. de inicio en (mm)

L2: Lect. de final en (mm)

H: Altura del espécimen compactado

Curva de esfuerzo - deformación

Por norma el valor de (CBR) se define para deformaciones de 0.1 pulgadas y 0.2 pulgadas. Para estas medidas, el esfuerzo unitario patrón es de 1000 psi (70.49 kg/cm²) y 1500 psi (105.68 kg/cm²), respectivamente (Mérida, 2017).

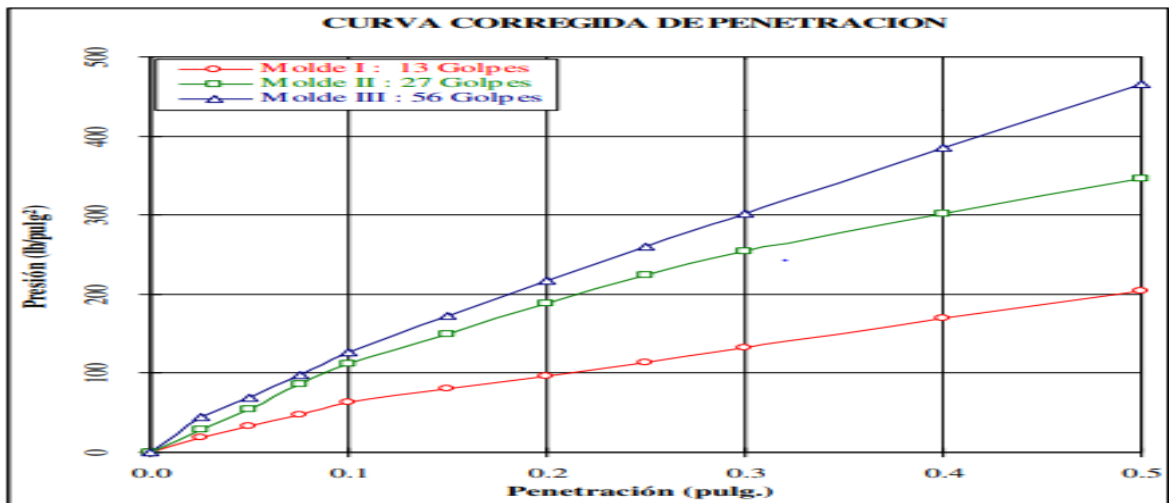
$$\% \text{ CBR}(0.1") = \frac{\sigma (0.1")}{1000 \text{psi}} \times 100 \quad (8)$$

$$\% \text{ CBR}(0.2") = \frac{\sigma (0.2")}{1500 \text{psi}} \times 100 \quad (9)$$

Con (σ) : esfuerzo a la penetración expresado en psi.

Figura 1

Curva corregida de penetración vs presión



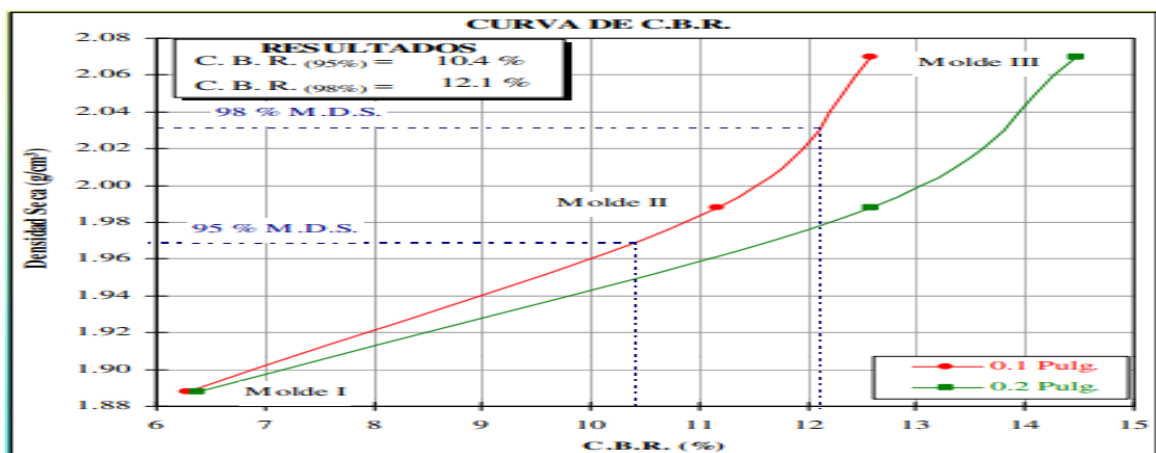
Nota. La figura muestra la relación entre la presión aplicada y la penetración del pistón en el ensayo CBR. Adaptado del reporte de laboratorio de suelos y pavimentos, (Mérida, 2017).

índice de soporte california (CBR)

El cálculo de la capacidad de soporte california (CBR), se define en función de la densidad máxima seca (DMS) a 100% y 95%. la imagen 2 representa gráficamente la relación entre el (CBR) y (DMS).

Figura 2

Curva de máxima densidad seca (DMS) vs (CBR)



Nota: La figura muestra el valor del CBR en función a la máxima densidad seca. Adaptado del reporte de laboratorio de suelos y pavimentos, (Mérida, 2017).

Grado de subrasante según el (CBR)

De acuerdo al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2014), para categorizar una subrasante se desarrolla a medida de la prueba de (CBR), tal como se observa en el cuadro N°1.

Tabla 2

denominación de subrasante según el CBR

Grados de sub rasante	CBR
S5: excelente	CBR >30%
S4: muy buena	CBR (20% - 30%)
S3: buena	CBR (10% - 20%)
S2: regular	CBR (6% - 10%)
S1: baja	CBR (3% - 6%)
S0: pobre	CBR (< 3%)

Nota: Esta tabla muestra la clasificación de la subrasante en función al CBR. Tomado de la guía de carreteras: sección, Suelos y Pavimentos (MTC, 2014, p.37).

3.2.2. Límites de Atterberg método estándar (ASTM D - 4318)

Limite Liquido

- **Contenido de humedad**

$$W(\%) = \frac{p. \text{ de suelo humedo} - p. \text{ de suelo seco al horno}}{p. \text{ de suelo seco al horno}} \quad (10)$$

- **Limite Liquido (un punto)**

$$Ll = w^n * \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121} \quad (11)$$

$$LL = KW^n \quad (12)$$

Donde:

W^n : contenido de humedad del espécimen para n golpes

N: cantidad de golpeteos necesarios para cerrar la hendidura

K: coeficiente de ajuste

Tabla 3

Factor (K) de corrección

Cantidad de golpes	Factor (K) de corrección para L. Líquido
20	0.974
22	0.985
24	0.995
25	1.000
26	1.005
28	1.018
30	1.022

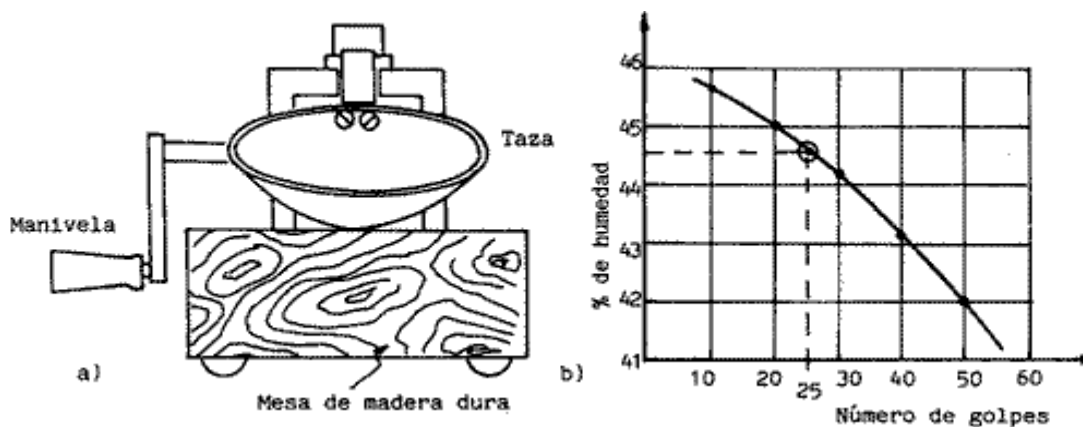
Nota: La tabla muestra el factor (k) de corrección para el L. líquido. Obtenida de la guía de ensayo de materiales (p.71), MTC (2016).

- **Limite Líquido (multipunto)**

Se representará mediante una hoja semilogarítmica donde las ordenadas representan la humedad y la abscisa representa el número de golpes ver figura 3, donde el L. Líquido pertenece al comprendido de humedad justamente a los 25 golpazos,

Figura 3

Grafico para la determinación del L. líquido perteneciente a los 25 golpeteos.



Nota: La figura muestra el % de humedad exactamente a los 25 golpes. Adaptado de "Consistencia, Límites de Atterberg" de Ingeniero Civil (2011).

Tabla 4

Relación entre el punto de expansión y el L. líquido

L. líquido (%)	Grado de expansión
0-20	No hay
20-35	Bajo
35-50	medio
50-70	Alto
70-90	Muy alto
Mayor que 90	extra alto

Nota: Esta tabla muestra el grado de expansión del suelo fino en relación al % del L. Líquido. Obtenida de “taller básico de mecánica de suelos” por Gutiérrez (2006).

L. Plástico e Índice de plasticidad

- L. plástico

$$LP = \frac{P. del agua}{P. del suelo seco al horno} \times 100 \quad (13)$$

- Índice de plasticidad

$$IP = L. líquido - L. Plástico \quad (14)$$

Tabla 5

Categoría de suelo arcilloso en función al índice plástico (IP)

IP	Plasticidad	Características del suelo
IP >20	Alta	muy arcillosos
7 < IP <20	Medio	arcillosos
IP <7	Bajo	poco arcilloso
IP=0	No plástico	libres de arcilla

Nota: La tabla muestra el nivel de arcilla en el suelo en relación al índice plástico. Adaptado de Manual de carreteras: sección, Suelos y Pavimento, (MTC, 2014, P.34).

Índice de grupo (IG)

$$IG = (F - 35)(0.2 + 0.005(L.L - 40) + 0.01(F - 15)(IP - 10) \quad (15)$$

Donde:

F: % de material que atraviesa por la malla N0 200

L.L: L. Líquido

I.P: I. plástico

Tabla 6

Categoría de suelo de subrasante en función al índice de grupo (IG)

Índice de grupo (IG)	Suelo de subrasante
IG (0-1)	Muy bueno
IG (1-2)	bueno
IG (2 a 4)	Regular
IG (4 a 9)	Insuficiente
IG > 9	Inadecuado

Nota: La tabla muestra la categoría de subrasante en relación al índice de grupo. Obtenida de la guía de carreteras: sección Suelos y pavimentos, MTC, 2014.

3.3. Definición de términos

3.3.1. Suelos

Material natural compuesto por partículas minerales u orgánicas y contienen variaciones en contenido de agua y aire, y se encuentra en depósitos. Según la Normas de método de clasificación SUSCS y AASHTO, los suelos se dividen en gravas, arenas, limos y arcillas, estos a su vez se agrupan en dos categorías principales, suelos gruesos y suelos finos (Gutiérrez, 2006).

3.3.2. Tipos de suelos arcillosos

Suelo arcilloso con alta plasticidad: Se categoriza como materiales arcillosos limoso, son aquellos que representan más del 35% que atraviese por el tamiz No. 200. Se encuentran en el marco del Grupo A-7 que cuenta con subgrupo A-7-6 de acuerdo al

sistema de Clasificación AASHTO, incluye índice de plasticidad elevados, sujeto además a cambios volumétricos esenciales. (Junco del Pino y Tejada, 2013)

Suelos arcillosos colapsables: Este tipo de suelo tiene las siguientes peculiaridades comunes: Distribución macro porosa con una relación de poros respectivamente alta a muy alta. Primariamente fracciones finas, importantemente limos y arcillas (Redolfi, 2007).

Suelos arcillosos expansivos: El suelo expansivo se puede definir como hinchamiento y contracción dañina, a menudo suelo con alto contenido de emulsiones, alto límite líquido, alta-plasticidad. Pueden ser de varios comienzos, siendo duros cuando se secan, pero se vuelven blandos cuando se les permite impregnar agua y pueden causar altas coacciones de dispersión. La permeabilidad es muy baja a menos que el suelo esté agrietado, seco y el agua pueda circular a través de las grietas abiertas (Junco del Pino y Tejada, 2013).

3.3.3. Composición de minerales de la arcilla

Las arcillas están formadas principalmente de silicatos de aluminio y muestran estructuras minerales laminares, ya sea tetraédricas u octaédricas. Se dividen en tres subgrupos principales Caolinitas, Illitas y minerales Montmorillonitas (Das, 2015, P.28). Las medidas de los fragmentos de arcilla suelen ser menores a 0.002mm

Lamina silícica: Se componen de un átomo de silicio situado en el núcleo de cuatro átomos de oxígeno, formando estructuras tetraédricas. Estas unidades se organizan en capas de seis elementos, dando lugar a redes laminares que conforman diferentes tipos de minerales(Das, 2015).

entrada de agua. Son de plasticidad media, tienen mayor permeabilidad y fricción interna en comparación con otros tipos de arcillas. (Das, 2015)

Las illitas: Este grupo de arcillas tiene una estructura con 02 capas de silicatos y 01 de alúmina, y cuenta con una alta capacidad de interacción catiónico de 40 me/100 g, lo que provoca una gran expansión volumétrica. Las capas de alúmina están intercaladas entre las de silicatos y unidas por iones de potasio, que proporcionan estabilidad. Estas arcillas tienen menor permeabilidad y fricción interna que la caolinita, pero mayor que la montmorillonita. (Das, 2015)

Las Montmorillonitas: Estas arcillas, compuestas por dos capas de silicatos y una de brucita, poseen una alta capacidad de intercambio catiónico (120 me/100 g), lo que las hace muy expansivas. La repetición de estas capas facilita la infiltración de agua debido a la débil unión entre los minerales, provocando expansiones. Son muy plásticas y, al secarse, se contraen, aumentando su resistencia y volviéndose impermeables. (Das, 2015)

3.3.4. Clasificación granulométrica por tamizado

Gradación de las partículas del suelo mediante ensayo granulométrico. Este procedimiento determina las proporciones de suelo que atraviesan distintos tamices hasta el 0.075mm (N.º 200) (MTC, 2016).

Tabla 7

Mallas para evaluación Granulométrico

Mallas	Abertura (mm)
3"	75.0
2"	50.8
1 ½"	38.1
1"	25.40
¾"	19.00
⅜"	9.50
Nº4	4.760
Nº10	2.00
Nº20	0.84
Nº40	0.43
Nº60	0.26

N°140	0.106
N°200	0.075

Nota: La tabla muestra la el tamaño de tamiz en pulgadas y la abertura de la malla en milímetros, (MTC, 2016, P.45)

3.3.5. Sistema de clasificación del suelo

Categorización de Suelos Sistema Unificado (SUCS): Este sistema categoriza los suelos en función del material retenido en

las mallas N.º 04 y N.º 200. A partir del Tamiz N.º 200, se diferencian en suelos de partículas gruesas y finos. La malla número 04 distingue las arenas de las gravas y los suelos finos se identifican por el L. Líquido (L.L) y el índice de plasticidad (IP) (Das, 2015). Esta clasificación se basa en símbolos, como se detalla en el cuadro N°7.

Tabla 8

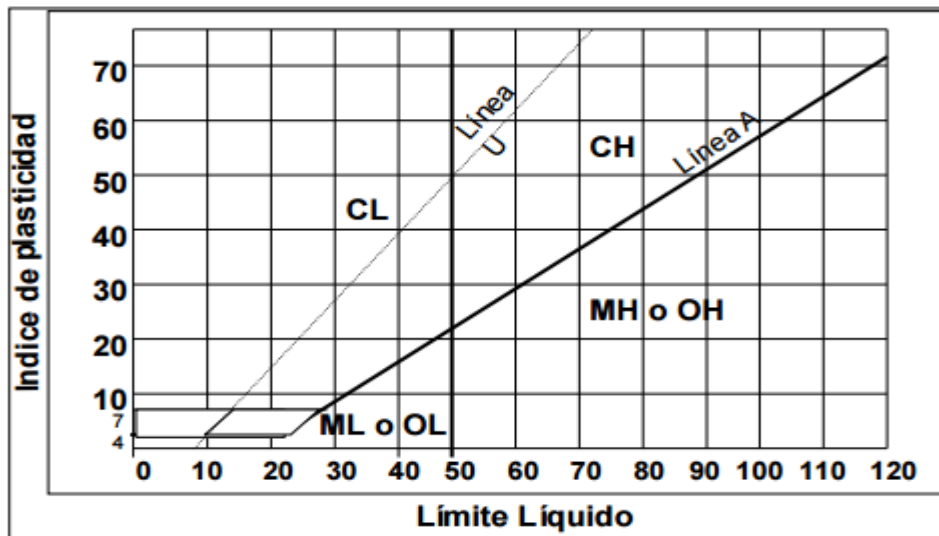
Simbólica de clasificación (SUCS)

Tipo de suelo	Prefijo	Subgrupo	Sufijo
Arena	S	Pobremente graduado	P
Grava	G	Bien graduado	W
Arcilla	C	Arcilloso	C
Limo	M	Limoso	M
Orgánico	O	L. liquido alto >50%	H
Turba	pt	L. liquido medio <50%	L

Nota: La tabla muestra las simbologías para la caracterización de suelos según SUCS, Bañón y Beviá, (2000, p. 22).

Figura 6

Carta de plasticidad (SUCS)



Nota: Esta figura muestra la carta de clasificación SUCS, de suelos finos en relación con el L. Líquido e índice de plasticidad. Taller básico de Mecánica de Suelos, Gutiérrez (2006).

Asociación Americana de funcionarios de Carreteras y Transporte (AASHTO):

El sistema categoriza los suelos en 08 grupos, de A-1 hasta A-7, según su dispersión granulométrica, L. líquido e índ. de plasticidad. Las categorías A-1 hasta A-3 son materiales granulares, y A-4 hasta A-7 se consideran de grano fino. Los suelos orgánicos, como el fango y la turba, se clasifican en A-8 (Das, 2015). En el cuadro N°8 se presenta la correlación de tipo de material según AATHO – SUCS.

Tabla 9

Relación de tipos de suelos según AATHO - SUCS

Clasificación del material (AASHTO)	Clasificación del material (SUCS)
A1-a	SM, SW, GM, GP, GW, SP
A1-b	SM, GP, GM, SP
A2	GC, SM, SC, GM
A3	SP
A4	CL, ML
A5	CH, ML, MH
A6	CH, CL

Nota: La tabla muestra la relación del tipo de suelo según los sistemas de clasificación AATHO – SUCS, publicado por MTC, 2014.

3.3.6. Compactación del suelo

Proceso que implica la disminución del volumen de vacío entre los fragmentos del suelo, acrecentando su densidad y, por ende, su capacidad portante. Con el fin de evaluar la respuesta del suelo durante la consolidación, se utilizan dos parámetros críticos:

Humedad Óptimo (CHO): Es la proporción necesaria de agua que permite alcanzar la mayor consolidación del suelo.

Densidad Seca Máxima (DMS): es la mayor cantidad de peso por unidad de volumen que un suelo puede tener cuando está bien compactado y con la cantidad ideal de humedad.

3.3.7. Índice de Soporte de California (CBR).

Es un índice de medida crucial de la capacidad última de soporte de un suelo al someterlo a una carga, especialmente para el diseño de pavimentos y estructuras de carreteras (Mérida, 2017).

Resistencia del suelo: Es la capacidad del material para soportar cargas externas sin experimentar fallas o cambios volumétricos excesivas. La resistencia del suelo es fundamental en ingeniería civil y geotécnica, ya que determina la estabilidad y la capacidad de carga para fundar estructuras como cimentaciones, pavimentos y terraplenes, etc. (MTC, 2014)

3.3.8. Límites de Atterberg

Límites líquido (LL): Es el nivel de humedad bajo el cual el suelo adquiere propiedades plásticas con resistencia baja o nula. Es el estado intermedio entre lo semilíquido y lo plástico (Gutiérrez, 2006).

Limites plástico (LP): Punto entre el estado plástico y semisólido, cantidad de humedad, bajo la cual el suelo se clasifica como no plástico (Gutiérrez, 2006).

Índice de plasticidad (IP): Es una medida para evaluar la plasticidad del suelo, es decir su capacidad permanente de sufrir deformaciones sin fracturarse bajo la aplicación de una carga (Gutiérrez, 2006)

3.3.9. Estabilización de suelo

Según el (MTC, 2014), El tratamiento de suelos se define como el proceso de mejorar las características mecánicas y físicas del material a través de la incorporación de aditivos químicos, naturales, sintéticos o medios mecánicos de sustitución de material.

3.3.10. Afirmado

El afirmado se refiere a un estrato compactado compuesta por material granular, que puede ser natural o procesado, y que presenta una gradación determinada. Esta capa es responsable de soportar de manera directa las cargas y esfuerzos generados por el tráfico. Además. (MTC, 2014).

3.3.11. Pavimentos

Estructura compuesta por base, subbase y capa de rodadura:

Capa de rodadura: Capa superior del pavimento puede estar compuesta por varios materiales, como asfalto, concreto Portland o adoquines. Su función principal es soportar el tráfico de manera directa (MTC, 2014).

Base: Ubicada en la parte inferior de la superficie de rodadura, esta capa tiene la función de soportar y distribuir las cargas del tráfico. Puede estar formada por material granular drenante con un CBR de 80% o más (MTC, 2014).

Sub base: Capa diseñada para soportar la base y carpeta, además funciona como sistema encargado del drenaje. Puede estar compuesto por material granular con un CBR superior o igual al 40% (MTC, 2014).

Subrasante: Capa del terreno que proporciona el soporte principal para el pavimento. Se considera adecuada si el índice CBR es superior al 6%; de lo contrario, se plantearán diversas soluciones, dependiendo de las características del suelo, se podrán considerar opciones como la mejora mecánica, la sustitución del suelo de cimentación, la modificación química y la implementación de geo sintéticos. La solución seleccionada será la más conveniente en términos técnicos y económicos (MTC, 2014).

3.3.12. Resina de pino

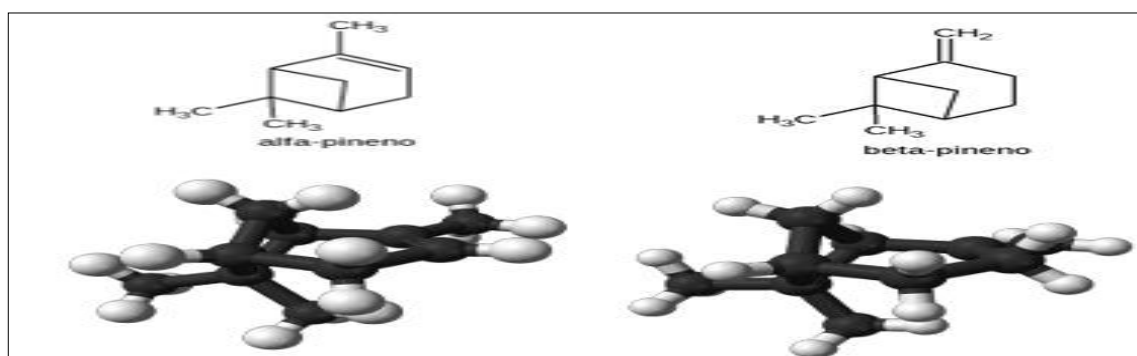
Se refiere al compuesto natural secretado por árboles de pino, que se emplea en diversas aplicaciones industriales, comerciales y medicinales. La resina de pino es un líquido viscoso y pegajoso que se produce en las vesículas de las células de las coníferas y se libera a través de heridas en la corteza del árbol. Esta sustancia presenta propiedades adhesivas, antimicrobianas y aromáticas, y su composición química puede variar según la especie de pino y las condiciones ambientales (Telleria-Mata et al., 2019).

3.3.13. Composición de la resina de pino

Trementina: Es un líquido con fórmula $C_{10}H_{16}$, formado principalmente por un 25-30% de beta pineno y un 50-60% de alfa pineno (ver figura N°7). Muestra una baja solubilidad en alcohol diluido, aunque es insoluble en éter y en alcohol. Su temperatura de ebullición es de 155 °C, y su densidad relativa oscila entre 0,85 y 0,88 g/cm³ (De La Rosa, 2018).

Figura 7

Componentes química beta pineno y alfa pineno de Trementina – colofonia de pino

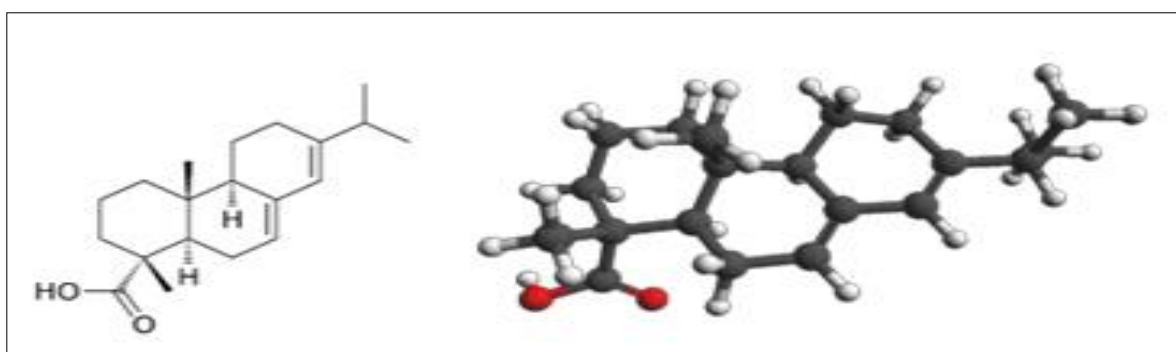


Nota: La figura muestra los componentes químicos de la colofonia de pino, De la Rosa (2018).

Colofonia: es una mezcla que incluye ácidos resínicos como levopimárico (30-35%), ácido abiético (15-20%), neoabiético (15-20%) y pimárico (16%). Estas cantidades pueden variar según el método de obtención, como la destilación de la resina (De La Rosa, 2018).

Figura 8

Estructura química - Colofonia de pino



Nota: La figura muestra la estructura química de la colofonia de pino, formada principalmente por ácidos resinóleos con anillos ciclánicos y grupos carboxilo. De la Rosa (2018).

3.3.14. Cambios químicos de la resina de pino

La resina tiene una estabilidad limitada debido a la falta de enlaces de hidrógeno, lo que hace que se utilice mayormente en su forma modificada como colofonia. Estas

modificaciones suelen incluir procesos como la esterificación, hidrogenación, dimerización o una combinación de ellos (De La Rosa, 2018). Tras la modificación de los componentes químicos las colofonias de pino ofrecen buena estabilidad y un rendimiento excelente aumentando su resistencia.

En el mercado actual, se encuentra disponible una gran diversidad de productos que provienen de la resina de pino, utilizados tanto en su forma natural como en versiones modificadas. La resina de pino, presenta una apariencia solidificada en fragmentos de tonalidad amarillo oscuro y un aspecto vítreo (ver figura 9), con una pureza del 100%. Su densidad es de 1,034 gr/cm³ y no es compatible con agentes oxidantes. Su solubilidad en agua es de 0,0009 g/l, lo que indica que no se disuelve en agua, y su temperatura de inflamación es de 188 °C (De La Rosa, 2018).

Figura 9

Resina de pino (colofonia) en estado sólido después del tratamiento



Nota: La figura muestra la resina de pino en su estado sólido tras la modificación de sus componentes químicos. *Fuente: Mercado Libre (s.f.).*

IV. Metodología

4.1. Tipo y Nivel de Investigación

Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicada. Vargas (2009, p.159), define que La indagación aplicada busca la concepción de juicio con aplicación directa a las dificultades de la sociedad. Es un tipo de investigación que se centra en dar resolución de problemas prácticos que pueden ser implementadas en la vida cotidiana.

Por otro lado, este proyecto busca aplicar conocimientos teóricos para desarrollar soluciones prácticas que optimicen las cualidades mecánicas y físicas de los sustratos arcilloso mediante el aditamento de resina de pino. La finalidad es abordar el problema con soluciones que puedan aplicarse de manera efectiva en el entorno real, mejorando la infraestructura vial contribuyendo al bienestar social

Nivel de investigación

El nivel de la investigación es explicativo y correlacional, Hernández et al. (2014, P.83) define, es aquel que intenta establecer las razones de los eventos o fenómenos, es decir está orientada a explicar el porqué de las relaciones causales entre conceptos variables o hechos en un contexto concreto.

De acuerdo con este autor, este estudio se enfocó en evaluar no solo la relación entre las variables, sino también en explicar cómo la manipulación deliberada de la (VI): inclusión de resina de pino genera un efecto en la (VD): propiedades físico-mecánico de la subrasante.

Diseño de investigación

El diseño de esta investigación es experimental. Según Hernández et al. (2014, p.121), se trata de un diseño donde que el investigador manipula deliberadamente una o

más variables independientes para observar y analizar el efecto en la otra variable dependiente bajo condiciones controladas.

4.2. Ámbito Temporal y Espacial

- **Temporal**

El presente estudio se desarrolló desde su aprobación del proyecto de tesis en el transcurso del año 2024.

- **Espacial**

El estudio se delimita espacialmente” por la carretera en el tramo Humaccata – Kerapata, Abancay – Apurímac.

4.3. Población y Muestra

- **Población**

De acuerdo con Hernández et al. (2014, P.174), describe población como el conjunto del análisis de la investigación, delimitado según el investigador mediante los parámetros establecidos y el requerimiento del estudio. Grupo de elementos donde los que se investiga o conciben estudios. En ese contexto en esta investigación, el universo de estudio está integrada por toda la carretera Humaccata – Kerapata que conforma un total de 3km + 660m.

- **Muestra**

Es un subgrupo de del universo de investigación en el que se recopilan, definen y delimitan con la mayor precisión posible los datos necesarios, que debe ser una parte representativa de la población, en este sentido los hallazgos encontrados en la muestra son dominantes en la población (Hernández et al., 2014, p.175).

La muestra para el presente estudio se extrajo, partiendo del sector Kerapata, por las progresivas (Km:0+500, km:01+100, km 01+890), donde se

ejecutaron 03 calicatas, la elección de esta progresiva se debe a que el lugar se encuentra con presencia de suelo arcilloso, además se tomó en cuenta los lineamientos del MTC, el cual recomienda ejecutar 01 calicatas cada 500 m, de 1.5 metros de profundidad, para carreteras de bajo vol. de tránsito.

4.4. Instrumentos

Baena Paz (2017, p.68), define que es una herramienta que el estudioso utiliza para recopilar y registrar datos o información relevante del estudio. En ese contexto donde el objeto de estudio es el suelo donde se sometió a exámenes en laboratorio para analizar las peculiaridades mecánicas del suelo, se empleó fichas de redacción de datos para recoger información de los ensayos bajo las normas.

Instrumentos para la recolección de información:

- Fichas para prueba de granulométrica por tamizado. MTC E 107
- Fichas para prueba de contenido de humedad del suelo. MTC E 108
- Fichas para prueba límites de Atterberg. MTC E 110, MTC E 111
- Fichas para prueba Proctor modificado. MTC E115
- Fichas para prueba índice de capacidad de soporte de california (C.B.R.). MTC E 132

El método de validación de los formatos de recopilación de información incluyó la revisión por especialistas en ingeniería civil, quienes evaluaron las preguntas y respuestas del instrumento, realizando observaciones y validándolo. Para asegurar la confidencialidad, se aplicó el método Alfa de Cronbach a los datos obtenidos, logrando un factor de confiabilidad de 0.824.

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum Vi}{Vt}\right)$$

Donde

K: es la cantidad de ítem.

Vi: es la dispersión de cada ítem.

Vt: es la dispersión total del test

Con 0.824, según la escala de Cronbach es descrito como una escala buena, de esta forma se constata que el instrumento es legítimo y honesta para ser utilizado en el estudio. Hernández et al. (2014), sostiene que el método alfa de Cronbach calcula la confabulación de una escala de mediada y que oscila entre 0-1, cuando más cerca estén a uno más consistentes serán los ítems, además señala que el valor límite para aceptar un alfa de Cronbach es de 0.

Tabla 10

Margen de confiabilidad de alfa-Cronbach

Alfa de Cronbach	Consistencia
$\alpha \geq 0.9$	Excelente
$0.8 \leq \alpha \leq 0.9$	Bueno
$0.7 \leq \alpha \leq 0.8$	Aceptable
$0.6 \leq \alpha \leq 0.7$	Cuestionable
$0.5 \leq \alpha \leq 0.6$	Pobre
$\alpha < 0.5$	Inaceptable

Nota: La tabla muestra los rangos de interpretación del coeficiente alfa de Cronbach, que determinan el nivel de confiabilidad del instrumento de medición, Pérez-León (2016)

4.5. Procedimientos

Los procedimientos de esta experimentación se desarrollaron en etapas claras, siguiendo la normativa vial del MTC y los lineamientos de la ASTM para la evaluación del suelo. Se describen a continuación las fases del proceso.

4.5.1. Recolección de Muestras

- **Obtención de Resina de pino**

Se procedió a obtener 10 kilogramos de resina de pino, también denominada colofonia, en su forma seca sólida y con una textura pegajosa. Este material fue adquirido de la empresa PINOTIDOL, localizada en la región de Cusco.

- **Recolección de especímenes de suelo arcilloso**

Se procedió a acceder al lugar de estudio que se ubica en el segmento de la carretera Humaccata – Kerapata ubicado en la provincia de Abancay - Apurímac, donde se extrajo la muestra de las calicatas C-01, C-02, C-03, que se encuentran en las progresivas que se detallan en el cuadro N°10.

Tabla 11

Progresivas y coordenadas de las calicatas

Descripción	Coordenadas		Profundidad (m)	Norma
	Este	Norte		
C-01 km 00 + 500	730569.0 7	8494680. 63	1.50	
C-02 km 01 + 100	730266.0 3	8494460. 39	1.50	MTC
C-03 km 01 + 890	729750.2 4	8494433. 24	1.50	

Nota: En la tabla se observa las coordenadas y progresivas de las calicatas (C-01, C-02, C-03), basadas de acuerdo a la guía de carreteras MTC 2014.

Durante la investigación en lugar de estudio, se efectuaron tres excavaciones a cielo abierto, donde se obtuvieron muestras alteradas, las cuales fueron clasificadas y descritas visual y manualmente conforme los lineamientos de la Normativa Peruana NTP 339.150.

4.5.2. Preparación de Muestras:

- **Muestra de resina de pino**

La colofonia de pino, fue procesada mediante trituración hasta obtener partículas finas y posteriormente tamizada con tamiz de malla N°40 (0.43mm). El material que atravesó la malla se utilizó para la incorporación y mezcla con el suelo arcilloso.

- **Muestra de suelo natural**

Tras la extracción los ejemplares se almacenaron en bolsas plásticas y se colocaron en sacos para facilitar su transporte, siguiendo el método B del reglamento MTC E 104. En laboratorio la muestra se secó al aire sobre una superficie plana, se desmenuzó y se procedió al cuarteo manual, conforme al método B del reglamento MTC E 105, para obtener una muestra representativa para los ensayos.

4.5.3. Incorporación de resina de pino (RP) en las muestras patrón:

A partir de los hallazgos derivados del ensayo de suelos y el entendimiento de las propiedades físico-mecánico de las muestras patrón, se ejecutó el procedimiento de dosificación. Esta mezcla se realizó en proporciones de 0%, 2%, 4% y 6%, basadas en el peso conforme al MTC-2016, para muestras de suelo arcillosos.

Tabla 12

Dosificación de resina de pino (RP) en peso al suelo natural (SN)

Ensayos	SN 100%	RP 0%	SN 98%	RP 2%	SN 96%	RP 4%	SN 94%	RP 6%
Ensayo de granulométrica	1000g	0g	980g	20g	960g	40g	940	60g
Ensayo límites de Atterberg	250g	0g	245g	5g	240g	10g	235g	15g
Ensayo Proctor modificado	8000g	0g	7840g	160g	7680g	320g	7520	480g
Ensayo de CBR	12000g	0g	11760g	240g	11520g	480g	11280	720g

Nota: En la tabla se observa la dosificación de (R.P) en peso al suelo natural en niveles de dosificación 0%, 2%, 4%,6% para cada ensayo. Elaboración propia.

4.5.4. Procedimiento de pruebas de laboratorio con especímenes tratados con resina de pino

Con el fin de fortalecer las peculiaridades físico-mecánico del material arcilloso, se decidió analizar la calicata con las propiedades más desfavorables. En este caso, se seleccionó la calicata C-01 para la intervención. Se evaluaron 02 muestras, a las

cuales se les aplicaron 04 niveles de incorporación de resina de pino: 0%, 2%, 4% y 6%.

- **Ensayo de Granulometría**

Para el procedimiento se empleó la norma MTC E 107, este modo operativo describe las proporciones de partículas de suelo que Intersectan por las distintas mallas de la serie empleada en la prueba, hasta la malla N°200 (0.075mm).

Preparación de muestra:

Los especímenes de suelo, previamente cuarteadas y secadas al aire, fueron acondicionadas para el ensayo de granulometría. Se seleccionaron las fracciones representativas del sustrato natural y con adiciones de resina de pino al 2%, 4%, y 6%, asegurando que estuvieran libres de impurezas.

Tamizado:

El tamizado se realizó con una serie de tamices estandarizados (ver tabla 6). Cada muestra fue pasada a través de esta serie de mallas, dividiendo las partículas según su tamaño. Las fracciones retenidas en cada tamiz se recolectaron y prepararon para su posterior análisis.

Cálculos:

Una vez finalizado el tamizado, se procedió a pesar cada fracción retenida en los tamices. Con estos datos, se calcularon los porcentajes de cada fracción en relación con el peso del espécimen. Esto permitió obtener una curva granulométrica y evaluar la dispersión de los fragmentos del material.

- **Prueba Proctor Modificado**

Con la finalidad de definir la densidad seca optima (DMS) y el contenido óptimo de humedad (OCH). Se llevo acabó las pruebas del Proctor modificado

según el MTC E-115, en 02 muestras con incorporación de resina de pino en 04 niveles

Preparación de muestra:

Se tamizo el suelo para remover las partículas mayores a 4.75 mm (Tamiz N°4), luego se dividió la muestra en varias porciones para añadir agua de manera controlada para obtener diferentes contenidos de humedad

Compactación:

El procedimiento constituyo en consolidar el espécimen con 25 golpes en 5 capas para definir la relación entre el contenido de humedad y el peso específico seco de los suelos. Se efectuó en un molde con un diámetro de 4 pulgadas, utilizando un pisón que pesa 44.5 N (10 lbf) y que fue dejado caer desde una altura de 457 mm (18 pulgadas). Esto resultando en una energía de compactación de 2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³).

Cálculos:

Para el cálculo de las densidades, se registraron los pesos y volúmenes, así mismos se calculó contenido de humedad correspondiente en cada punto medido para 05 repeticiones, para luego representarlo en una gráfica curva densidad seca vs humedad para el cálculo de la (DMS) y el nivel de humedad optimo (CHO).

- **Prueba Relación de Soporte California (CBR)**

A partir de los resultados logrados del ensayo Proctor, se procedió con la prueba del CBR acorde al MTC E 132.

Preparación de muestra:

El espécimen que pasó más del 75% del tamiz N°4 (4.75 mm) se mezcló con diferentes niveles de resina de pino a la cual se añadió cantidad de agua necesaria, obtenida mediante el ensayo Proctor.

Compactación:

Se compactó el material en un molde cilíndrico en capas, aplicando golpes estandarizados, de 55, 26 y 12 golpes por capa. Posteriormente, se definió el peso de la muestra consolidada y el volumen del molde para calcular su densidad, lo que posibilita la evaluación de la efectividad de la compactación y acondicionar los especímenes para el ensayo de CBR

Inmersión:

Los especímenes compactados se sumergieron al proceso de inmersión en agua durante 4 días para saturarla y simular condiciones de campo, posteriormente se calculó el grado de expansión.

Cálculos:

Después de la saturación se calcularon los valores unitarios del CBR (ver Ec. 8) para deformaciones de 0.1 y 0.2 pulgadas tras someter las muestras a esfuerzos unitarios de 1000 psi (70.45 kg/cm²) y 1500 psi (105.68 kg/cm²), para diferentes niveles de golpes (56, 25, 12), posteriormente se halló el CBR en la curva densidad seca vs CBR unitarios para densidades máximas secas (DMS) al 95% y 100%, respectivamente.

- **Ensayo de Límites de Atterber**

Con la finalidad de identificar la plasticidad del material se procedió a definir los parámetros de consistencia según la norma MTC E 110 y MTC E111.

Preparación de muestra:

Se tomo los especímenes de suelo que pasaron por el tamiz No. 40, las cuales se añadió niveles de colofonia de pino y se humedeció con agua destilada para formar una pasta uniforme.

Cálculo del L. liquido (L.L):

Tras preparar la muestra, se añadió una porción en la copa de Casagrande para formar un surco de 12.7mm en el centro para luego interceptarlo con promedio de golpes por el método multipunto de 40-30, 25 -30, 20 - 25, luego se estimó el peso húmedo y peso seco del espécimen el cual se obtuvo del secado en horno a 110 ± 5 °C, para calcular los contenidos de humedad (ver Ec. 10), para 03 repeticiones. El valor del (L.L) es el (CH) exactamente al número 25 de golpes.

Cálculo del L. Plástico:

Se moldeó y amasó una porción del espécimen sobre vidrio esmerilado, aplicando presión para formar un cilindro. Al no romperse antes de alcanzar 3,2 mm de diámetro, se repitió el proceso hasta conseguir el diámetro requerido. Se registraron los pesos húmedos posteriormente se hornearon las muestras hasta obtener una masa constante, tras lo cual se registraron los pesos secos para obtener el nivel de humedad (ver Ec 13).

Cálculo del Índice plástico:

Con los valores previamente logrados, se calculó el índice de plasticidad (IP) restando el L. Plástico (LP) del L. Líquido (LL). Este dato es clave para evaluar si la adición de resina mejora o reduce la plasticidad del suelo arcilloso.

4.6. Análisis de datos

Para la evaluación de datos se utilizó el método estadístico de varianza con medidas repetidas (ANOVA MR), debido a que se realizaron múltiples observaciones del mismo grupo sometido a diferentes niveles de tratamiento (Nel, 2010). En el cuadro N°12 se expone el esquema de análisis de varianza con medidas repetidas.

Tabla 13

Elementos del ANOVA MR

Fuente de variación	Suma de los cuadrados	Grados de libertad	varianza	sig
Entre grupos	$CS_e = \sum \frac{T^2}{n} - \frac{G^2}{N}$	$gle = k - 1$	$CS_e^2 = \frac{SCe}{gle}$	p - value
Intra grupos	$CS_i = CS_1 + CS_2 + CS_K$	$gli = k(n - 1)$		
Varianza total	$CS = CS_e - CS_i$	$gl = kn - 1$	$F = \frac{CS_e^2}{S_{error}^2}$	p - value
Entre sujetos	$CS_{es} = \sum \frac{p^2}{k} - \frac{G^2}{N}$	$gles = n - 1$		
error	$CS_{error} = CS_i - CS_{es}$	$gl_{error} = gle - gli$	$S_{error}^2 = \frac{SC_{error}}{gl_{error}}$	p - value

Nota: la tabla muestra los elementos del método estadístico del ANOVA de medias repetidas Datos tomados de ANOVA (MR) [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=93IKhWia6s0>.

Donde:

n: Total de participantes

N: Total de observaciones

G: Suma total de puntuaciones

K: Numero de tratamiento

T: Suma de cuadrados por condición

p^2 : Total por cada participante al cuadrado

Antes de proceder con la prueba de hipótesis según el diseño elegido, es esencial validar cuatro supuestos. Para ello, se empleó SPSS Statistics para comprobar los supuestos de normalidad por Shapiro-Wilk, supuesto de homocedasticidad con Levene, y el supuesto de esfericidad mediante Mauchly. Tras estas verificaciones, se realizó el (ANOVA MR). Posteriormente, se efectuaron las pruebas post hoc de Bonferroni, siempre y cuando se cumpliera la condición de homocedasticidad, para detectar diferencias significativas entre los grupos.

4.7. Consideraciones éticas

Un procedimiento de investigación éticamente aprobado eleva los estándares entre los investigadores, ya que la ética es clave para el estudio legítimo de cuestiones morales, requiriendo que los investigadores mantengan altos principios al realizar sus indagaciones (González et al., 2012). En ese contexto esta investigación presenta información genuina y redactada originalmente por mí autoría, evitando el plagio. Reconociendo las ideas de otros investigadores así mismo se trabajó con datos reales, garantizando la integridad de los datos y resultados sin manipulación.

V. Resultados y discusiones

5.1. Resultados

5.1.1. Resultados de los ensayos del suelo natural

Los hallazgos se presentan en función del orden de los objetivos. Tras Los resultados encontrados del grupo patrón, se evaluaron las muestras con inclusión de resina de pino en 2%, 4%, y 6% para cada ensayo. Se seleccionó la calicata C-01 para la intervención debido a que las propiedades del suelo son más críticas. A continuación, la tabla N°13 presenta los hallazgos del grupo patrón.

Tabla 14

Resultado de los ensayos del grupo patrón

Características	GRUPO PATRON		
	Calicatas		
	C-01	C-02	C-03
Categorización (SUCS)	CL	CL	SC
Categorización (AASHTO)	A - 6 (4)	A - 6 (4)	A-2-6
Humedad natural (%)	19.50	19.35	15.64
L. Liquido (%)	34.60	33.90	33.50
L. plástico (%)	22.44	22.20	23.50
Índ. de plasticidad (%)	12.16	11.70	10.00
Máxima densidad seca (DMS) (gr/cm ³)	1.75	1.77	1.80
California bearing ratio CBR (95% DMS,01")	2.60	3.50	4.90
California bearing ratio CBR (100%DNS,01")	3.80	4.60	6.10

Nota: En la tabla se presenta los hallazgos de las características físico-mecánico del suelo grupo patrón

5.1.2. Resultado del efecto de adición de resina de pino en la densidad máxima seca de la subrasante de suelo arcilloso.

Según la norma MTC E 115, método de prueba para evaluar la consolidación del suelo por el método Proctor modificado, donde se añadió 0% 2% ,4%, 6% de resina de pino (RP) al suelo natural (SN).

Tabla 15

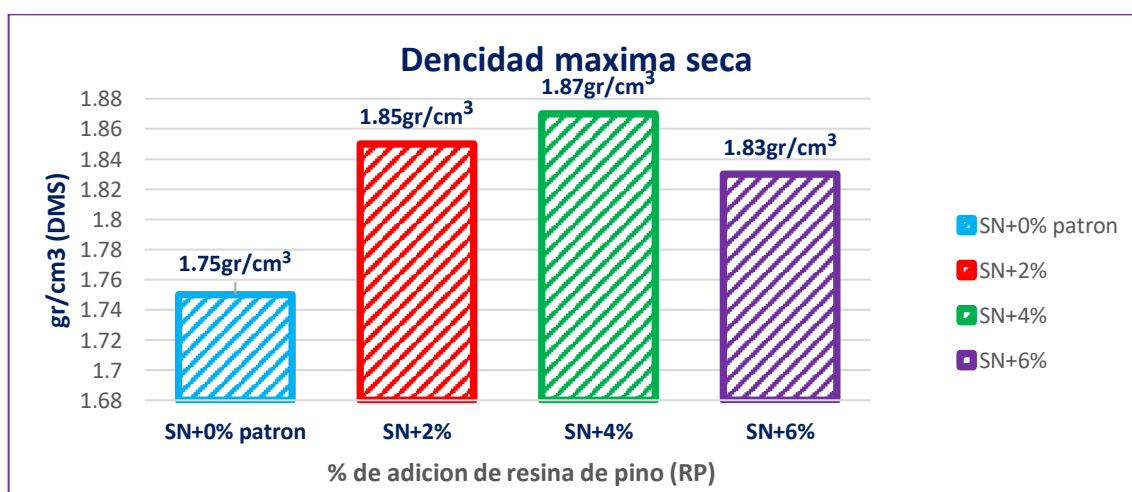
Resultado - máxima densidad seca (DMS) en gr/cm^3

Suelo natural (SN) más niveles de resina de pino (RP)				
Muestra	SN+0% patrón	SN+2%(RP)	SN+4%(RP)	SN+6%(RP)
M-1	1.75	1.85	1.90	1.84
M-2	1.75	1.85	1.85	1.83
(DMS) promedio	1.75	1.85	1.87	1.83

Nota: En la tabla se aprecia los datos de la prueba de la DMS en gr/cm^3 del suelo con niveles de adición de resina para cada muestra.

Figura 10

Resultado de la DMS en gr/cm^3



Nota: La figura evidencia los valores promedio de la DMS, incrementa de $1.75 gr/cm^3$ (patrón) a $1.85gr/cm^3$, $1.87gr/cm^3$ y $1.83gr/cm^3$.

5.1.3. Resultado de la influencia de incorporación de resina de pino en el (CBR) de la subrasante de suelo arcilloso

Según la norma MTC E 132, correspondiente al método de prueba para detallar la relación de soporte californiana (CBR), donde se añadió 0% 2% ,4%, 6% de (RP) al suelo natural (SN).

Tabla 16

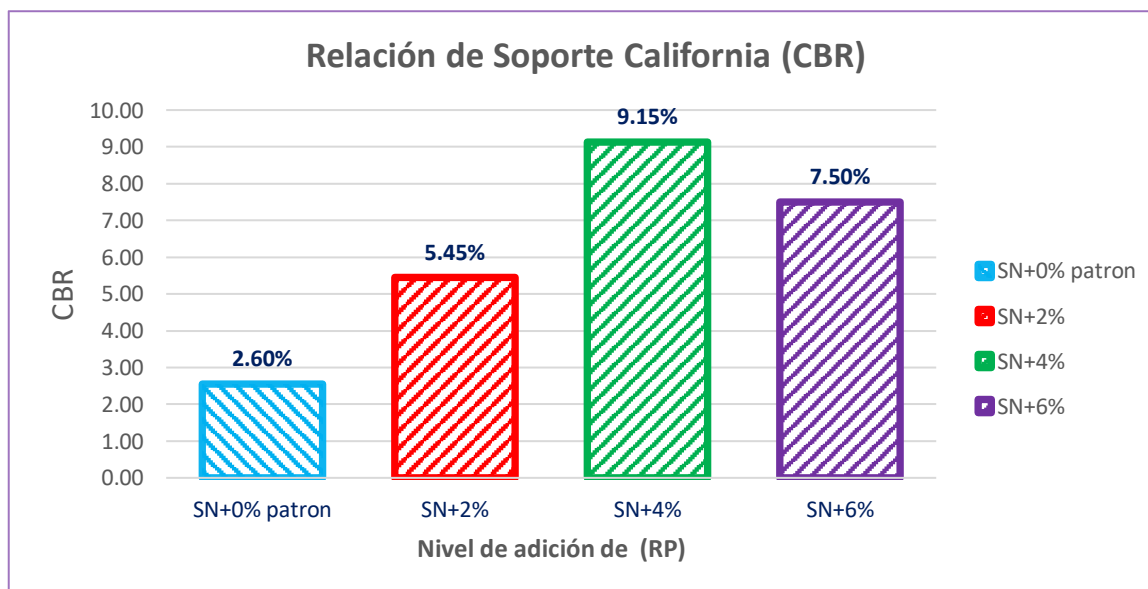
Resultado – Índice de Soporte California (CBR) al 95% DMS, 1" de penetración

Suelo natural (SN) más niveles de resina de pino (RP)				
Muestra	SN+0% patrón	SN+2%(RP)	SN+4%(RP)	SN+6%(RP)
M-1	2.60	5.80	9.10	8.00
M-2	2.60	5.10	9.20	7.00
CBR promedio al 95%DMS,1"	2.60	5.45	9.15	7.50

Nota: En la tabla se observa los datos de la prueba del CBR al 95% de (DMS) con 1" de penetración del material con niveles de adición de resina para cada muestra.

Figura 11

Resultado – Índice de Soporte California (CBR) al 95% DMS 1" de penetración



Nota: En la figura muestra el valor del CBR promedio al 95% de MDS y 1" de penetración, incrementa de 2.60% (grupo patrón) a 5.45%, 9.15%, 7.50% para adiciones de 2%, 4%, 6% de resina de pino (RP) respectivamente.

Tabla 17

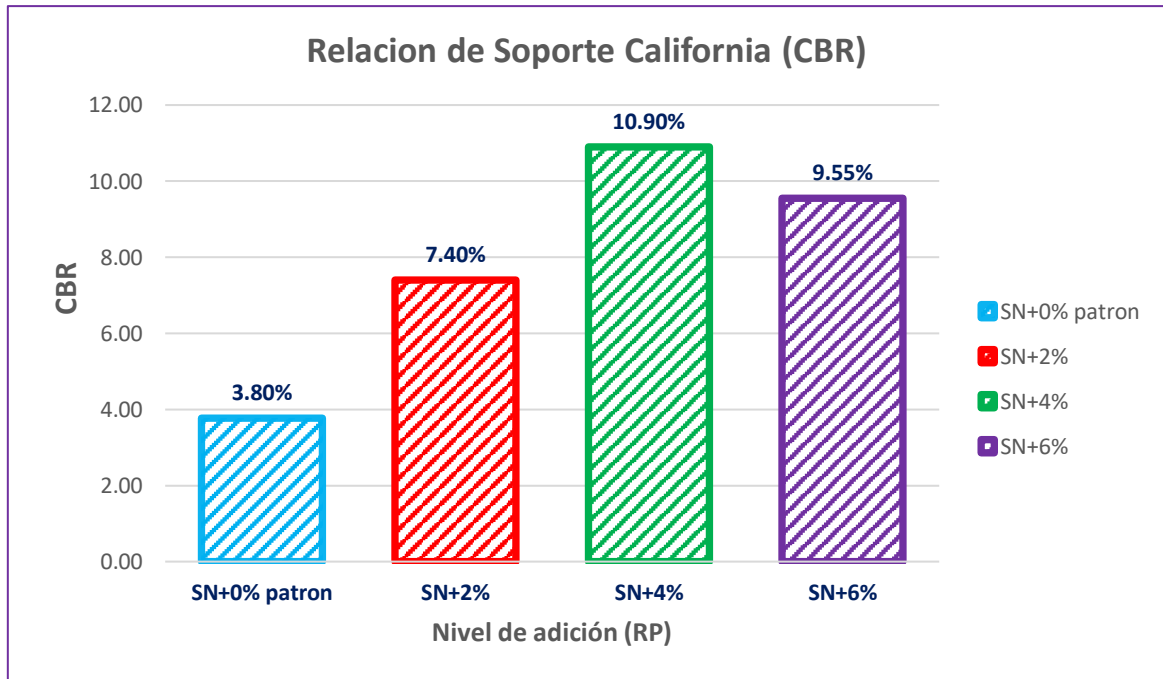
Resultado – Índice de Soporte California (CBR) al 100% DMS, 1" de penetración

Suelo natural (SN) más niveles de resina de pino (RP)				
Muestra	SN+0% patrón	SN+2%RP	SN+4%RP	SN+6%RP
M-1	3.80	7.50	10.70	9.60
M-2	3.80	7.20	11.00	9.50
CBR promedio al 100%DMS,1"	3.80	7.40	10.90	9.55

Nota: La tabla muestra los datos de la prueba del CBR al 100% de (DMS) con 1" de penetración del suelo con niveles de adición de resina de pino para cada muestra.

Figura 12

Resultado – Índice de Soporte California (CBR) al 100% DMS, 1" de penetración



Nota: La figura evidencia el valor del CBR promedio al 100% de MDS y 1" de penetración incrementa de 3.80% (grupo patrón) a 7.40%, 10.90%, 9.55% para adiciones de 2%, 4%, 6% de (RP) respectivamente.

5.1.4. Resultado del efecto de adición de resina de pino en los Límites de Atterberg de la subrasante de suelo arcilloso

La evolución se realizó siguiendo los lineamientos de la normativa (MTC E 110, MTC E 111), para 0% ,2%, 4% y 6% de incorporación de (RP) al suelo natural

Tabla 18

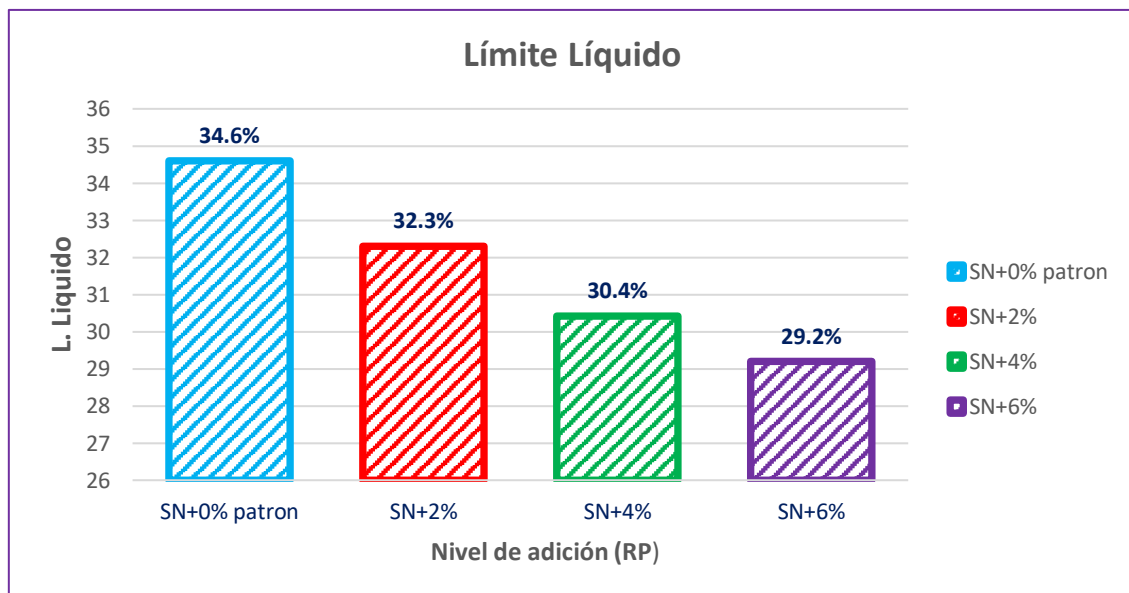
Resultado - Límite líquido de suelo

Suelo natural (SN) más niveles de resina de pino (RP)				
Muestra	SN+0% patrón	SN+2%RP	SN+4%RP	SN+6%RP
M-1	34.60	33.10	30.50	30.30
M-2	34.60	31.50	30.30	28.10
L. Líquido promedio	34.60	32.30	30.40	29.20

Nota: En la tabla se observa los datos de la prueba del L. Líquido del suelo con niveles de adición de resina de pino para cada muestra.

Figura13

Resultado – Límite. Líquido del suelo



Nota: En la figura se aprecia que el L. líquido (L.L) promedio reduce de 34.60 con 0% de adición de RP a 32.30%, 30.40%, 29.20% para adición de RP en 2%, 4%, 6% respectivamente.

Tabla 19

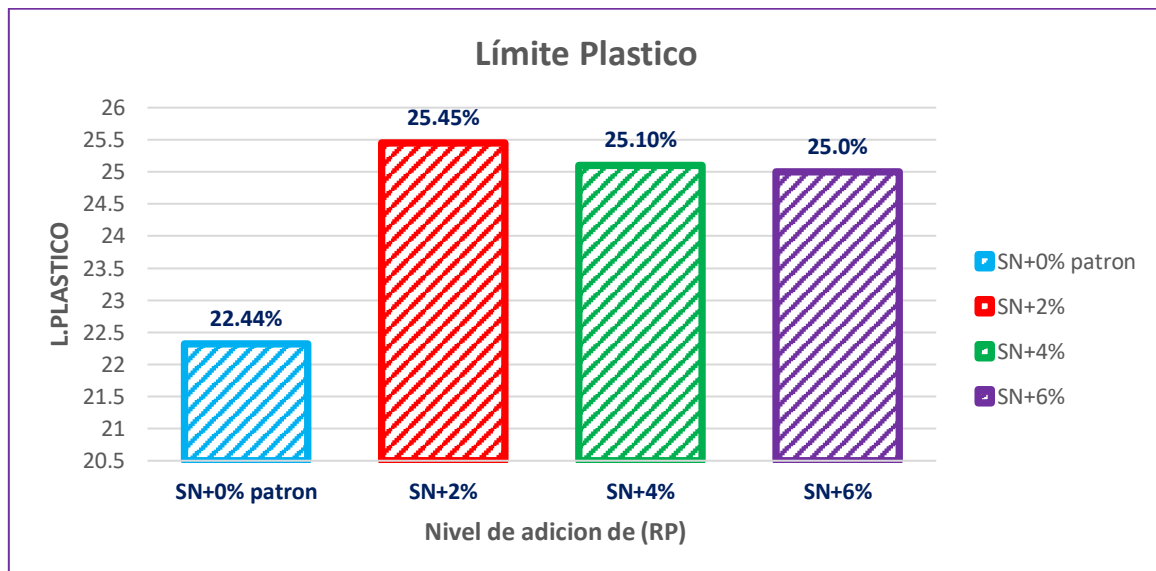
Resultado - Límite Plástico

Suelo natural (SN) más niveles de resina de pino (RP)				
Muestra	SN+0%Patron	SN+2%RP	SN+4%RP	SN+6%RP
M-1	22.44	25.40	25.20	24.95
M-2	22.44	25.50	24.90	25.10
L. Platico promedio	22.44	25.45	25.10	25.0

Nota: La tabla evidencia los datos de la prueba del L. Plástico del suelo con niveles de adición de resina de pino para cada muestra.

Figura 14

Resultado - Límite Plástico



Nota: la figura evidencia que el L. Plástico promedio incrementa de 22.44% (patrón con 0%RP) a 25.45%, 25.10%, 25.0% para adiciones de RP en 2%, 4%, 6% respectivamente.

Tabla 20

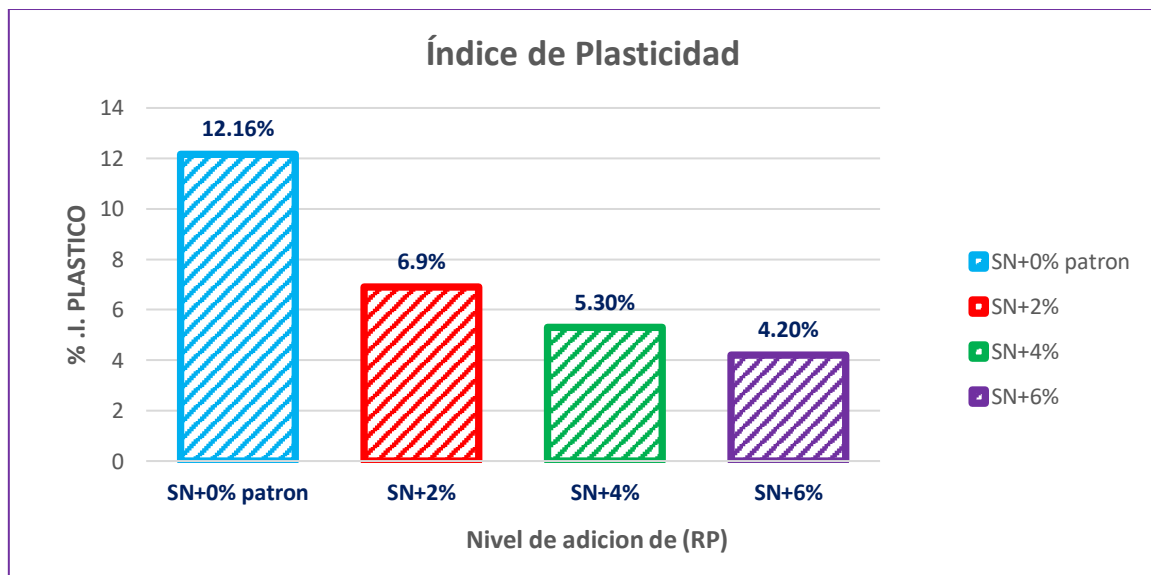
Resultado – Índ. plástico

Descripción		Suelo natural (SN) más niveles de resina de pino (RP)			
		SN+0%Patron	SN+2%RP	SN+4%RP	SN+6%RP
Límites de Atterberg	L. Líquido	34.60	32.30	30.40	29.20
	L. Plástico	22.44	25.45	25.10	25.0
Ind. Plástico		12.16	6.90	5.30	4.20

Nota: En la tabla se aprecia el Índ. Plástico que es la relación entre el L. Líquido y el L. Plástico

Figura 15

Resultado - Índice plástico del suelo



Nota: en la figura se aprecia que el índ. Plástico (I.P) promedio disminuye de 12.16% con 0% de adición de RP a 6.90%, 5.32%, 4.20% para adiciones en 2%, 4%, 6% respectivamente.

5.2. Discusión de resultado

5.2.1. Del objetivo específico 01

Al evaluar el efecto de adición de resina de pino en la densidad máxima seca (DMS) de la subrasante de suelo arcilloso, se apreció que los valores de la (DMS), incrementan al incorporar resina de pino (RP) si comparamos con el valor de la DMS grupo patrón, pasando de 1.75gr/cm^3 a 1.85gr/cm^3 , 1.87gr/cm^3 , 1.83gr/cm^3 para adiciones de 2%, 4%, 6% de (RP) respectivamente, se observa una ligera disminución al 6% de incorporación de (RP).

Al respecto More y Ydrogo (2021), reporto un aumento en la DMS del suelo arcillosos arenoso al incorporar resina de Musa SPP en 1.5%, 2.5%, 5%. En su estudio, los investigadores evidenciaron que la (DMS) paso de 1.96gr/cm^3 (patrón) a 1.98gr/cm^3 , 2.06gr/cm^3 , 2.02gr/cm^3 respectivamente para cada adición.

Huyllani y Velarde (2022), considero que la DMS tienden a disminuir con la incorporación de colofonia de pino en 3%, 5%, 7% al suelo arcillosa de plasticidad alta pasando de 1.77gr/cm^3 (patrón) a 1.74gr/cm^3 , 1.72gr/cm^3 , 1.70gr/cm^3 respectivamente para cada adición.

Los hallazgos logrados en esta investigación se alinean con los resultados de la investigación de More y Ydrogo dado que mostraron que el tratamiento con Musa SPP incremento el valor de DMS para adiciones de 1.5%, 2.5%, 5%. Sin embargo, el otro investigador observó una disminución de la DMS al añadir colofonia de pino en 3%, 5% y 7%, lo que podría indicar que concentraciones altas de resina interfieren con el reacomodo de las partículas, reduciendo la eficiencia de la compactación y dificultando la formación de una estructura densa.

5.2.2. Del objetivo específico 02

Al analizar el efecto de la incorporación de resina de pino en el CBR de la subrasante de suelo arcilloso, se apreció que los valores del California Bearing Ratio (CBR), incrementan al incorporar (RP) en todas las proporciones si comparamos con el valor del CBR grupo patrón pasando de 2.60% a 5.45%, 9.15%, 7.50% para adiciones de 2%, 4%, 6% de (RP) respectivamente, siendo de mejor característica mecánica al 4% de adición de (RP), alcanzado un valor óptimo de 9.15% para (CBR al 95% DMS, 0.1"). Para el (CBR al 100% de MDS y 1") incrementa de 3.80% (grupo patrón) a 7.40%, 10.90%, 9.55% para adiciones de 2%, 4%, 6% de (RP) respectivamente, siendo con valor más óptimo alcanzado de CBR al adicionar 4% de RP, logrando 10.90% de (CBR).

Al respecto, Bautista (2023), identificó un aumento en el CBR al incorporar resina de pino en suelos con características arcillosas en 2%, 4%, 6%. En su estudio, el investigador encontró que el uso de (RP) incrementó el CBR al (100% de DMS a 0.1") de 4.63% con 0% de adición a 6.75, 10.32% y 9.93 respectivamente siendo de mayor característica mecánica al 4% de edición de (RP).

Callo y Yapu (2022) expresa que entre los compuestos C1, C2, C3 de (RP) más óxido de cal, el óptimo alcanzado fue el C2 con 8%RP+3%OaC, mejorando el material fino donde el CBR al 95% DMS paso de 5.40 (patrón) a 15.70, revelando una mejora positiva del material.

Los hallazgos logrados en esta investigación se alinean con los resultados de las investigaciones de los referidos autores, mostrando que el tratamiento tanto con resina de pino como el compuesto son eficaces para incrementar el valor de CBR, logrando cumplir con el valor de CBR mínimo superior al 6% según el MTC, para garantizar la adecuación de la base de fundación para el diseño de la superficie vial. Cabe mencionar que el valor más óptimo, es decir de mejor característica mecánica alcanzada, puede variar según el tipo de resina utilizada, las peculiaridades del suelo y la proporción del aditivo.

5.2.3. Del objetivo específico 03.

Al examinar el efecto de la incorporación de colofonia de pino en los límites de Atterberg de la subrasante de suelo arcilloso, conforme a los resultados logrados se notó una reducción constante en cuanto al L. líquido pasando de 34.60% (patrón con 0%RP) a 29.20% para incorporación de 6% de (RP), siendo este el valor más bajo. Para L. Plástico se observó un incremento pasando de 22.44% (patrón con 0%RP) a 25.45% para incorporación de 2% RP, siendo este el valor más alto. El Índice de Plástico (IP) del espécimen arcilloso patrón fue de 12.16%, mientras que con la adición de 2%, 4% y 6% de RP, los valores de (IP) disminuyeron constantemente a 6.90%, 5.30% y 4.20%, respectivamente.

Al respecto, Gutiérrez & Muñiz (2021), tras incorporar resina de ciprés al material arcilloso en 1.5%, 3%, 6%, mostro que el más optimo fue al añadir RC en 6%, donde el (LL) paso de 40% (patrón) a 38%, (LP) incremento de 18%(patrón) a 21% y el IP=22%(patrón) disminuyo a IP=17.00%.

Huayllani y Velarde (2022), Considero que los parámetros de los límites de Atterberg se mantienen cercanos a los valores del espécimen de referencia. Por ejemplo, cuando agregaron colofonia de pino en proporciones de 0%, 3%, 5%, 7%, el L. Líquido varía de 43% (grupo patrón) a 41%, 40% y 39%, respectivamente. En cuanto al L. Plástico, se observa un cambio de 23%(grupo patrón) a 23%, 23% y 22%, respectivamente. Esto implico que el índice plástico del espécimen de referencia disminuye a 20% y se mantiene dentro del rango de 18% - 17%.

Los hallazgos logrados en esta investigación se alinean con la investigación de los referidos autores dado que (IP) encontrado de cada estudio, reduce tanto para tratamientos suelo con resina de pino o de ciprés, pasando de suelos arcillosos de plasticidad media a baja para el estudio presente, mientras que para los dos autores paso de plasticidad alta a media de acuerdo con el manual de carreteas del MTC 2014.

5.3. Prueba de hipótesis

- **Prueba de hipótesis específica 01**

El método estadístico ANOVA de medidas repetidas (MR), es idóneo para analizar datos recolectados de las mismas unidades experimentales bajo condiciones variables. Este método exige cumplir ciertas condiciones, para asegurar la validez del resultado el cual se muestra a continuación.

Condición de normalidad por test de Shapiro-Wilk de la DMS

Hipótesis nula (H_0): Los datos desarrollan una distribución gaussiana.

Hipótesis alternativa (H_1): Los datos no desarrollan una distribución gaussiana.

Tabla 21

Condición de normalidad por test de Shapiro-Wilk de la DMS

Variable	% de adición RP	Estadístico	Shapiro-Wilk (gl)	sig.
Densidad máxima seca (DMS)	SN+0%	0.997	6	0.242
	SN+2%	0.818	6	0.393
	SN+4%	0.950	6	0.457
	SN+6%	0.891	6	0.224

Nota: la tabla muestra que el p – valor son superiores al nivel (alfa=0.05), por lo que no se puede rechazar la hipótesis nula (H_0), suponiendo que los elementos siguen una distribución normal.

Condición - homocedasticidad por Levene de la DMS.

Hipótesis nula (H_0): las varianzas de los grupos son iguales.

Hipótesis alternativa (H_1): Al menos una de las varianzas de los grupos es diferentes.

Tabla 22*Condición de homocedasticidad por Levene de la DMS*

Estadístico de Levene	gl1.	gl2.	Sig.
0.883	3	15	0.466

Nota: la tabla muestra que el p – valor (0.466) es superior al valor (alfa = 0.05); por lo tanto, no se puede desestimar la hipótesis nula (H_0), asumiendo que las variables poseen varianzas similares.

Condición de esfericidad test Mauchly de la DMS.

Hipótesis nula (H_0): la esfericidad se satisface.

Hipótesis alternativa (H_1): la esfericidad no se satisface.

Tabla 23*Condición de esfericidad test de Mauchly de la DMS*

Efecto Intra-Sujeto	Estadístico	gl.	sig
DMS	0.827	5	0.073

Nota: La tabla muestra que el p-valor (0.073) es superior al nivel (0.05) de significancia. Por lo que no se descarta la hipótesis nula (H_0), lo que indica que se cumple el supuesto de esfericidad.

Estadísticos descriptivos.

Se presentan los valores medios y las desviaciones estándar del análisis de la DMS para definir la distribución de los datos y la variabilidad en las mediciones.

Tabla 24*Media (M) y desviación estándar (DE) de la DMS*

% de adición de RP	M	DE	n
SN+0%	2.7167	1.8495	6
SN+2%	4.999	1.0655	6
SN+4%	8.3833	1.3570	6
SN+6%	7.9400	1.1892	6

Nota: Datos obtenidos del IBM SPSS Statistics, © IBM 2022.**Análisis estadístico ANOVA M.R. de la DMS**

Hipótesis nula (H_0): La inclusión de (RP) no influye en la DMS de la subrasante de suelo arcilloso en la carretera Humaccata – Kerapata

Hipótesis alternativa (H_1): La inclusión de (RP) influye en la DMS de la subrasante de suelo arcilloso en la carretera Humaccata – Kerapata

Tabla 25*Resultado del análisis ANOVA MR de la DMS*

Fuente de variación	gl.	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado (tamaño del efecto) (η^2)	Potencia observada ($\beta-1$)
Intra sujeto	3	75.36	<0.001	0.949	1.000
Error	15				

Nota: la tabla evidencia diferencias estadísticamente significativas entre las medias en el análisis de la DMS entre los cuatro niveles de resina de pino, con un efecto considerable $F(3,15) = 75.36$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.949$, $(\beta-1) = 1.00$. Dado que el p – valor es menor que el valor (alfa= 0.05) de significancia, se rechaza la hipótesis nula (H_0), y con un nivel de confianza de 95% se puede afirmar que la RP influye en la DMS de la subrasante.

Análisis de comparación entre grupos por Bonferroni.

Dado que la Resina de Pino (RP) afecta en la DMS, según el ANOVA MR, es crucial identificar qué adición de (2%, 4%, 6%) genera diferencias respecto al suelo patrón con 0%.de adición.

Tabla 26*Resultado de test de Bonferroni de la DMS*

Dosificación (I)	Dosificación (J)	Dif. de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	95% de rango de confianza (IC)	
					Inferior	Superior
SN+0%	SN+2%	-1.617	0.487	0.012	-3.770	-0.663
	SN+4%	-5.667	0.435	0.000	-7.602	-3.932
	SN+6%	-4.523	0.520	0.001	-6.716	-2.330

Nota: Datos obtenidos del IBM SPSS Statistics, © IBM 2022.

Del análisis de la prueba de Bonferroni se evidencia que el valor de la DMS con incorporación del 2% de resina de pino RP, con (M = 4.999, DE = 1.0655, p = 0.012 [IC 95%: -3.770, 0.663]) es menor en comparación con el valor de la DMS al añadir un 4% de RP con (M = 8.3833, DE = 1.3507, p <0.001 [IC 95%, -7.602, -3.932]). Además, la DMS obtenido con un 4% de resina de pino es ligeramente mayor que la DMS al añadir un 6% de RP con (M = 7.9400, DE = 1.1892, p=0.001 [IC 95%: -6.716, -2.330]). Asimismo, los valores de la DMS con 2% ,4%,6% de RP superan a los resultados obtenidos con 0% de RP con (M = 2.7167, DE = 1.8495).

- **Prueba de hipótesis específica 02**

Condición de normalidad por test de Shapiro-Wilk del CBRHipótesis nula (H_0): Los datos desarrollan una distribución gaussiana.Hipótesis alternativa (H_1): Los datos no desarrollan una distribución gaussiana.**Tabla 27***Condición de normalidad por test de Shapiro-Wilk del CBR*

Variable	% de adición RP	Estadístico	Shapiro-Wilk (gl)	sig.
Relación de soporte	SN+0%	0.897	6	0.242
	SN+2%	0.818	6	0.493

california (CBR)	SN+4%	0.850	6	0.157
	SN+6%	0.891	6	0.324

Nota: La tabla muestra que el p – valor son superiores al nivel ($\alpha=0.05$), por lo que no se puede descartar la hipótesis nula (H_0), suponiendo que los elementos siguen una distribución normal.

Condición - homocedasticidad por Levene del CBR.

Hipótesis nula (H_0): Las varianzas de los grupos son iguales.

Hipótesis alternativa (H_1): Al menos una de las varianzas de los grupos es diferentes.

Tabla 28

Condición de Homocedasticidad por Levene del CBR

Estadístico de Levene	gl1.	gl2.	Sig.
0.983	3	15	0.433

Nota: La tabla evidencia que el p – valor (0.433) es superior al valor ($\alpha = 0.05$); por lo tanto, no se puede desestimar la hipótesis nula (H_0), asumiendo que las variables poseen varianzas similares.

Condición de esfericidad test Mauchly del CBR.

Hipótesis nula (H_0): la esfericidad se satisface.

Hipótesis alternativa (H_1): la esfericidad no se satisface.

Tabla 29

Condición de esfericidad por Mauchly del CBR

Efecto Intra-Sujeto	Estadístico	gl.	sig
CBR	0.927	5	0.063

Nota: La tabla muestra que el p-valor (0.063) es superior al nivel (0.05) de significancia. Por lo tanto, no se descarta la hipótesis nula (H_0), lo que indica que se cumple el supuesto de esfericidad.

Estadísticos descriptivos.

Se presentan los valores medios y las desviaciones estándar del análisis del CBR para definir la distribución de los datos y la variabilidad en las mediciones.

Tabla 30

Media (M) y desviación estándar (DE) del CBR

% de adición de RP	M	DE	n
SN+0%	2.6167	0.9495	6
SN+2%	5.3333	2.0655	6
SN+4%	9.3833	1.3570	6
SN+6%	7.1400	2.1892	6

Nota: Datos obtenidos del IBM SPSS Statistics, © IBM 2022.

Análisis estadístico ANOVA M.R. del CBR

Hipótesis nula (H_0): La incorporación de (RP) no influye en el CBR de la subrasante de suelo arcilloso en la carretera Humaccata – Kerapata

Hipótesis alternativa (H_1): La incorporación de (RP) influye en el CBR de la subrasante de suelo arcilloso en la carretera Humaccata – Kerapata.

Tabla 31

Resultado del análisis ANOVA M.R. del CBR

Fuente de variación	gl.	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado (tamaño del efecto) (η^2)	Potencia observada ($\beta-1$)
Intra sujeto	3	65.35	<0.001	0.929	1.000
Error	15				

Nota: la tabla evidencia diferencias estadísticamente significativas entre las medias en el análisis del el CBR entre los cuatro niveles de resina de pino, con un efecto considerable $F(3,15) = 65.35$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.929$, $(\beta-1) = 1.00$. Dado que el p – valor es menor que el valor (alfa= 0.05) de significancia, se rechaza la hipótesis nula (H_0), y con un nivel de confianza de 95% se puede afirmar que la RP afecta en el CBR de la subrasante.

Análisis de comparación entre grupos por Bonferroni.

Dado que la Resina de Pino (RP) afecta en el CBR, según el ANOVA MR, es crucial identificar qué adición de (2%, 4%, 6%) genera diferencias respecto al suelo patrón con 0% de adición.

Tabla 32

Resultado del test Bonferroni para el CBR

Dosificación (I)	Dosificación (J)	Dif. de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	95% de rango de confianza (IC)	
					Inferior	Superior
SN+0%	SN+2%	-2.717	0.487	0.015	-4.770	-0.663
	SN+4%	-6.767	0.435	0.000	-8.602	-4.932
	SN+6%	-4.523	0.520	0.002	-6.716	-2.330

Nota: Datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics, © IBM 2022.

Del análisis de la prueba de Bonferroni se evidencia que el valor del CBR con incorporación del 2% de resina de pino RP, con (M = 5.333, DE = 2.0655, p = 0.015 [IC 95%: -4.770, 0.663]) es menor en comparación con el CBR al añadir un 4% de RP con (M = 9.3833, DE = 1.3570, p <0.001 [IC 95%, -8.602, -4.932]). Además, el CBR obtenido con un 4% de resina de pino es significativamente mayor que el CBR al añadir un 6% de RP con (M = 7.1400, DE = 2.1892, p=0.002 [IC 95%: -6.716, -2.330]). Asimismo, los valores del CBR con 2% ,4%,6% de RP superan a los resultados obtenidos con 0% de RP con (M = 2.6167, DE = 0.9495).

- **Prueba de hipótesis específica 03**

Condición de normalidad por Shapiro – Wilk del Índice Plástico

Hipótesis nula (H₀): Los datos presentan una distribución gaussiana.

Hipótesis alternativa (H₁): Los datos no presentan una distribución gaussiana.

Tabla 33*Condición de normalidad test Shapiro-Wilk del Índice Plástico*

Variable	% de adición RP	Estadístico	Shapiro-Wilk (gl)	sig.
Índice de plasticidad	SN+0%	0.906	6	0.412
	SN+2%	0.863	6	0.963
	SN+4%	0.887	6	0.302
	SN+6%	0.960	6	0.822

Nota: La tabla muestra que el p - valor son superiores con un valor de (alfa = 0.05) de significancia, no es posible desestimar la hipótesis nula (H_0), suponiendo que las variables se ajustan a una distribución gaussiana.

Condición de homocedasticidad por Levene del I. Plástico.

Hipótesis nula (H_0): las varianzas de los grupos son iguales.

Hipótesis alternativa (H_1): Al menos una de las varianzas de los grupos es diferentes.

Tabla 34*Condición - homocedasticidad por Levene del Índice Plástico*

Estadístico de Levene	gl1.	gl2.	Sig.
0.34	3	20	0.80

Nota: En la tabla se observamos que el p – valor de (0.80) es superior al nivel de significación (alfa = 0.05); por lo tanto, no se puede descartar la hipótesis nula (H_0), bajo la suposición que las variables contienen varianzas similares.

Condición de esfericidad test Mauchly del Índice Plástico.

Hipótesis nula (H_0): la esfericidad se cumple.

Hipótesis alternativa (H_1): la esfericidad No se cumple.

Tabla 35*Condición de esfericidad test Mauchly del I. Plástico*

Efecto Intra-Sujeto	gl.	sig
Índice de plasticidad	5	0.073

Nota: En la tabla se observa que el p-valor de (0.073) es superior al nivel ($\alpha=0.05$) de significancia, no se rechaza la hipótesis nula (H_0), lo que indica que se cumple el supuesto de esfericidad.

Estadísticos descriptivos.

Se detallan en la tabla 26, los valores promedio y las desviaciones estándar (DE), del análisis del CBR para definir la distribución de los datos y la variabilidad en las mediciones.

Tabla 36*Media (M) y Desviación Estándar (DE)*

% de adición de RP	M	DE	n
SN+0%	12.1417	2.2578	6
SN+2%	7.0650	1.9018	6
SN+4%	5.6950	1.72657	6
SN+6%	4.2917	1.6740	6

Nota: Datos obtenidos del IBM SPSS Statistics, © IBM 2022

Análisis estadístico ANOVA M.R del Índ. plástico.

Hipótesis nula (H_0): La incorporación de (RP) no incide en el índice plástico de la subrasante de suelo arcilloso en la carretera Humaccata – Kerapata

Hipótesis alternativa (H_1): La incorporación de (RP) influye en el índ. plástico de la subrasante de suelo arcilloso en la carretera Humaccata – Kerapata

Tabla 37*Resultado del análisis estadístico del ANOVA M.R del I. Plástico*

Fuente de variación	gl	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado (tamaño del efecto) (η^2)	Potencia observada ($\beta-1$)
Intra sujeto	3	99.47	< 0.001	0.952	1.000
Error	15				

Nota: En la tabla se evidencia diferencias estadísticamente significativas entre las medias en el análisis del I. Plástico entre los cuatro niveles de resina de pino, con un efecto considerable $F(3) = 99.47$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.952$, $(\beta-1) = 1.00$. Dado que el p – valor es bajo que el nivel de significancia de (alfa =0.05), se descarta la hipótesis nula, y con un 95% de índice de confianza (IC), se acepta la hipótesis alterna (H_1), se puede afirmar que la (RP) afecta en el I. Plástico.

Análisis de comparación entre grupos por Bonferroni

Dado que el (RP) afecta en el (IP), según el ANOVA MR, es crucial identificar qué incorporación de (2%, 4%, 6%) genera diferencias respecto al suelo patrón con 0%.de adición.

Tabla 38*Resultado del test Bonferroni del Índice Plástico*

Dosificación (I)	Dosificación (J)	Dif. de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	95% de intervalo de confianza (IC)	
					Inferior	Superior
SN+0%	SN+2%	5.077	0.479	0.001	3.055	7.009
	SN+4%	6.447	0.251	0.000	5.386	7.508
	SN+6%	7.850	0.676	0.000	4.997	10.703

Nota: Datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics, © IBM 2022

Del análisis de prueba de Bonferroni se señala que el I. Plástico al añadir 6% de RP con (M=4.917, DE=1.6740, $P < 0.001$ [IC 95% 4.997, 10.703]) y al añadir 4% RP con (M=5.6950, DE=1.7265, $P < 0.001$ [IC 95% 5.386 7.508]) fueron menores al añadir 2% de

(RP) con (M=7.0650, DE=1.9018, P=<0.001[IC 95% 3.055 7.009]). Asimismo, los resultados mencionados fueron menores a resultados del suelo con 0% de (RP) con (M=12.1417, DE=2.2578).

- **Prueba de hipótesis general**

Tras evaluar las hipótesis específicas. Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna en la hipótesis general. Por ende, se puede afirmar que la incorporación de resina de pino influye en las peculiaridades físico-mecánico de la subrasante de suelo arcilloso en la carretera Humaccata – Kerapata, Abancay 2024.

VI. Conclusiones

- **Conclusión del objetivo específico 01**

Se evaluó el efecto de la resina de pino en la DMS de la sub rasante en la carretera Humaccata – Kerapata, donde la (DMS) incrementan al incorporar resina de pino (RP) en todas las proporciones, siendo el valor más óptimo al añadir 4%, sin embargo para concentraciones mayores a este mostraron resultados variables, incluso una disminución ligera de la DMS, apreciando que un exceso de resina puede interferir en la eficiencia del proceso de compactación debido que dificultaría la distribución homogénea del agua en el material, lo que exigiría mayor energía de compactación para lograr el óptimo valor de la (DMS) dado que el contenido de humedad necesaria actúa como componente lubricante reduciendo la fricción entre las partículas. En general, la incorporación de resina de pino es una opción viable para mejorar la (DMS) del suelo, aunque su uso debe ser cuidadosamente controlado para evitar efectos negativos.

- **Conclusión del objetivo específico 02**

Se evaluó la incidencia de la aplicación de resina de pino en el CBR de la subrasante de suelo arcilloso en la carretera Humaccata – Kerapata, donde el (CBR), tiene un efecto positivo al añadir (RP) en 2%, 4%, 6%, siendo de mayor característica mecánica al 4% de adición de (RP), con 9.15% para el (CBR al 95% DMS, 0.1”) así mismo con 10.90% para (CBR al 100% DMS, 0.1”), sin embargo, para adiciones de 6% los resultados tienden a disminuir ligeramente para ambos casos si comparamos con la adición del 4%, debido a que las concentraciones superiores interfiere en el (CHO) para la compactación y homogenización adecuada del suelo disminuyendo su cohesión, limitando su capacidad para resistir al esfuerzo de penetración en la prueba de CBR. Esto es porque la resina de pino al endurecerse, forma una estructura molecular que es hidrófoba (repelente al agua) y resistente a la humedad. Por otro lado, para afirmar el efecto, del análisis de datos con el método estadístico ANOVA MR donde se ha observado que el p-valor (<0.001), es

considerablemente inferior al nivel de significación ($\alpha = 0.05$), se afirma que hay una diferencia considerablemente notable, lo que indica que las adiciones de (RP) propuestas afectan positivamente en el CBR.

- **Conclusión del objetivo específico 03**

Se evaluó el efecto de la inclusión de (RP) en los límites de Atterberg de la subrasante de suelo arcilloso en la carretera Humaccata – Kerapata, donde el índ. de plasticidad (I.P) que se obtuvo a partir del L. Líquido y L. Plástico, reduce de forma decreciente a partir del grupo patrón cuando añadimos 2%, 4% y 6% de resina de pino (RP), pasando de 12.16% (grupo patrón) a 4.20% para adición de 6% de RP siendo este el valor más bajo logrado, esto se debe a que la (RP) actúa como un elemento no plástico vale decir no tiene la facultad de absorber agua, lo que reduce la calidad del suelo arcilloso para retener humedad y deformarse. Además, para afirmar esta variación, en el análisis estadístico se determinó que el p-valor (<0.001) es inferior al valor de significación ($\alpha = 0.05$) según el ANOVA de medidas repetidas (MR), lo que indica que existe una diferencia en el índ. plástico del suelo patrón en comparación con los especímenes con niveles de tratamiento de 2%, 4%, 6% de (RP), es decir la resina de pino incluye en los límites de Atterberg del suelo.

- **Conclusión del objetivo general**

Se determinó la incidencia de la integración de la (RP) en las características físico-mecánicas de la subrasante de suelo arcilloso en la carretera Humaccata – Kerapata, Abancay, donde se concluye que la (RP) mejora notablemente en las peculiaridades geotécnicas del suelo dado que la (DMS) mejora es decir la cohesión entre las partículas del suelo aumento permitiendo una mayor compactación. La incorporación del (RP) reduce significativamente de forma decreciente el L. Líquido (L.L), aumenta el valor del L. Plástico (L.P) y reduce significativamente el índice plástico (I.P), mostrando mejoras en todas las proporciones evaluadas (2%, 4% y 6%), clasificando un material de plasticidad media a

plasticidad baja así mismo de grado de expansión media a baja, de acuerdo al manual del MTC, además según el índice de grupo (IG) parámetro para categorizar suelo de subrasante en función a los límites de Atterberg normado por (AASHTO), pasaron de subrasantes insuficiente a bueno, cumpliendo para la utilización de la subrasante, diseño y fundación del pavimento.

Por otro lado, el valor del CBR presenta una tendencia a mejorar con la adición de resina pino, logrando su valor más óptimo con 4% de adición, lo que conlleva a un cambio, de subrasante pobre (S₁) a subrasante buena (S₃), según la categorización del MTC en función del CBR de las subrasantes. De los resultados mencionados y la verificación de hipótesis realizado en este estudio se concluye que la (RP) afecta en las características físico-mecánico de la sub rasante clasificándolo aptos para base de pavimento o afirmado.

VII. Recomendaciones

Recomendación 1

Se sugiere emplear adiciones hasta un 6% de (RP) para optimizar las características físicas mecánicas del suelo, en vista que aminora eficazmente el Índice de Plástico (I.P.) del suelo arcilloso y en especial la incorporación de 4% ya que el valor del CBR mejoro significativamente, dado que esta dosificación proporcione un balance óptimo entre resistencia y estabilidad estructural. Sin embargo, es importante tener en cuenta que un exceso de resina podría afectar el (OCH) necesario para la consolidación, lo que podría influir negativamente en el valor de soporte (CBR) y en la densidad máxima seca (DMS) del suelo.

Recomendación 2

Se sugiere investigar el uso de la (RP) como estabilizante en diferentes tipos de suelos y bajo simulación de distintas condiciones climáticas extremas, para evaluar la durabilidad y la efectividad del tratamiento a lo largo del tiempo de uso de estas infraestructuras viales.

Recomendación 3

Se recomienda explorar la asociación de resina de pino con otros estabilizadores para evaluar posibles sinergias que puedan mejorar aún más el comportamiento físico-mecánico del suelo

Recomendación 4

Se recomienda realizar un análisis de costo-beneficio que evalúe la viabilidad económica de la adición de resina de pino en proyectos de infraestructura, comparando sus resultados con los métodos tradicionales de estabilización de suelos.

Recomendación 5

Se recomienda consultar referencias que detallen las características técnicas de la resina de Pino (RP), así como la información necesaria sobre posibles riesgos y precauciones de salud asociados a su manipulación y uso experimental, dado que la pulverización de este material para el tratamiento de suelos arcillosos podría resultar peligroso.

VIII. Referencias

- Ajagbe, W. O., Akolade, A. S., Ogunlade, O. D., & Olaomotito, P. A. (2024). Goma Arábica en las Características Geotécnicas de Materiales de Sub-rasante. *Acta Technica Jaurinensis*, 20(1), 25–35. <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.00748>
- Baena Paz, G. (Ed). (2017). *Metodología de la investigación* (3ra ed.). Grupo Editorial Patria. archivo digital: http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf
- Bautista, L. (2023). *Mejoramiento de las propiedades mecánicas del material arcilloso con resina de pino de la subrasante de carretera Pumamarca de San Sebastián, Cusco* [Tesis de Pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13039>
- Bermúdez, E., y Ortiz, N. (2021). *Estudio comparativo entre la Cal y Ceniza de cascarilla de anís para mejorar las características del suelo, ruta Curahuasi-Cachora, Apurímac-2021* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio UCV. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/89318/Bermudez_TEE-Ortiz_RN-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Callo, I. R., y Yapu, W. E. (2022). *Influencia de la Resina de pino con Oxido de Cal en las Propiedades de la Subrasante, carretera Vilcapaza - Ayrampuni, Puno, 2022* [Tesis de pregrado, Univercidad Ceasar Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/104663>
- Das, B. M. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica* (4ta Ed.). Cengage Learning Editores, S.A. de C.V. recuperado de https://www.academia.edu/36776734/Fundamentos_de_ingenieria_geotecnica_braja_m_das_4ta_edicion

<https://es.scribd.com/document/245661804/TALLER-DE-MECANICA-DE-SUELOS-pdf>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación, 5ta Ed* (5ta ed). McGraw-Hill Interamericana.
<https://www.smujerescoahuila.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/Sampieri.Met.Inv.pdf>

Huayllani, B., y Velarde, J. (2022). *Incidencia de la Colofonia de Pino en las características físico – mecánico del material arcillosos con fines de subrasante para pavimentos, mediante la incorporación del 3%, 5% y 7% en la av. primavera de San Jerónimo – Cusco* [Tesis de Pre Grado, Universidad Andina del Cusco].
<https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/5000>

Junco del Pino, M., y Tejada, E. (2013). Consideraciones acerca de la actividad de las arcillas en la estabilización de suelos con sales cuaternarias de amonio. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 7(3), 1–12.
<https://www.redalyc.org/pdf/1939/193930080004.pdf>

Linares, R. R., Aguilar, M. E., & Rojas, E. E. (2021). Estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante con adición de bolsas de polietileno fundido. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 3(2), 33.
<https://doi.org/10.25127/ucni.v3i2.612>

Mérida, A. (2017). California Bearing Ratio(CBR). *Laboratorio de Suelos y Pavimetos*.
<https://pavimentosulacivil.files.wordpress.com/2018/01/prc3a1ctica-nc2b0-7-cbr.pdf>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de Carreteras Suelo, Geología Geotecnia y Pavimentos*.
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones Vivienda y Construcción. (2002). *Plan estratégico del programa de Caminos Rurales*.
<https://www.proviasdes.gob.pe/Transparencia/transparencia/PLAN%20ESTRATEGICO%20PCR.pdf>
- More, S., & Ydrogo, E. (2021). *Estabilización de la subrasante en suelos adicionando resina de Musa Spp en el tramo Cacatachi – Chirapa, 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. .archivo digital.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/46162>
- Ojeda Farías, O. F., & Baltazar Zamora, M. Á. (2018). Incidencia de la incorporación de ceniza de bagazo de caña de azúcar sobre la consolidación, CBR de un suelo granular tipo subrasante. *Revista ALCONPAT*, 8(2), 194–208.
<https://doi.org/10.21041/ra.v8i2.282>
- Pareja, B. (2022). *Sostenimiento de subrasante con incorporación de ceniza schinus molle en la trocha carrozable Yanakillca, Provincia Antabamba, Apurímac-2022* [Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio UCV.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/87709>
- Pérez-León, G. (2016). Metodología de la Investigación y Análisis Estadístico. *Gplresearch*.
https://gplresearch.com/coeficiente-alfa-de-cronbach/#google_vignette
- Pineda, A., & Martinez, C. (2021). *Revisión de las tendencias investigativas acerca de la respuesta mecánica de suelos estabilizados con biopolímeros* [Tesis de Pregrado, Universidad Distrital Francisco José De Caldas]. Archivo digital.
[https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/28329/\(REV3%20-%20JAP\)%20-%20TG-2021-09-15.pdf?sequence=1](https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/28329/(REV3%20-%20JAP)%20-%20TG-2021-09-15.pdf?sequence=1)
- Redolfi, E. R. (2007). Suelos colapsables. *Area de Geotecnia*.
https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Redolfi_2007_Suelos%20Colapsables.pdf

- Retuerto, G., & Gonzales, A. (2022). *Incremento de la capacidad de soporte de los suelos inestables de la Av. Naranjal en San Martín de Porres- Lima, mediante estabilización con biopolímero Lignina* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Archivo digital.
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/660232>
- Tellería-Mata, N., Villanueva, S., & Henríquez, M. (2019). Obtención de trementina y colofonia a partir de la resina de pino. estado del arte. *Agroindustria, Sociedad y Ambiente*, 1(12), 17–17.
<https://revistas.uclave.org/index.php/asa/article/view/2189/1230>
- Vargas, Z. R. (2009). La Investigación Aplicada un método para comprender las verdades con confirmaciones Científica. *Revista Educación*, 33(1), 155–165.
<https://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>
- Velásquez, M. (2020). Que Países de Latinoamérica tiene las mejores Vías. *CNN*.
<https://doi.org/https://cnnespanol.cnn.com/2018/09/28/que-paises-de-america-latina-tienen-las-mejores-vias/>
- Villacís Troncoso, E. de las M., Luna Hermosa, G., & Escadeillas, G. (2022). Estabilización de arcillas expansivas con ceniza volcánica y ceniza de cascara de arroz. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 34(2), 14–27. <https://doi.org/10.37815/rte.v34n2.821>

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes