

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**Mejora de la resistencia a la superficie de rodadura mediante la
adición del Mucílago de Penca de Tuna, Pasco 2023**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Bach. Rodrigo Nabarro CHAUCA LOPEZ

Asesor:

Mg. Hebert Carlos CASTILLO PAREDES

Cerro de Pasco - Perú – 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**Mejora de la resistencia a la superficie de rodadura mediante la
adición del Mucílago de Penca de Tuna, Pasco 2023**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Luis Villar REQUIS CARBAJAL

PRESIDENTE

Mg. José Germán RAMIREZ MEDRANO

MIEMBRO

Mg. Pedro YARASCA CORDOVA

MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides
Carrión Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 165-2023-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

Mejora de la resistencia a la superficie de rodadura mediante la adición del Mucilago de Penca de Tuna, Pasco 2023

Apellidos y nombres de los tesisistas

Bach. CHAUCA LOPEZ, Rodrigo Nabarro

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Civil

Apellidos y nombres del Asesor

Mg. CASTILLO PAREDES, Hebert Carlos


Indici de Similitud

12 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 27 de noviembre del 2023


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
Luis Villa Requis Garbajal
DOCTOR EN CIENCIAS - DIRECTOR

DEDICATORIA

A mi madre Lizandra que ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores lo cual me ha ayudado salir adelante. Tu bendición desde el cielo me protege y me lleva por el camino del bien por eso este trabajo va en tu honor a ti madre mía, te amo.

A mi padre Teofanes, aunque no está físicamente conmigo, sus enseñanzas siguen guiándome día a día. Este logro es en tu honor porque fue gracias a tu amor incondicional y dedicación que aprendí a nunca rendirme. Mi corazón aún llora por tu ausencia, pero sé que estás orgulloso de mi desde el cielo iluminas mi camino para seguir adelante con mis metas.

AGRADECIMIENTO

A mi alma mater la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, la cual me permite realizar el proceso de titulación y así seguir llevando con orgullo el nombre de la UNDAC a donde quiera que vaya.

A mi Asesor el ingeniero Hebert CASTILLO PAREDES por su dedicación y esfuerzo compartiendo sus conocimientos y enseñanzas para el éxito del presente trabajo de investigación.

A mi familia que siempre estuvieron a mi lado para guiarme y aconsejarme para seguir adelante con mis metas trazadas y por las fuerzas que me dieron y apoyo incondicional de todas que tomaron su tiempo para ayudarme para crecer como un buen profesional.

RESUMEN

La estabilización de suelos en ingeniería práctica, especialmente en carreteras, es una técnica ampliamente utilizada para mejorar el comportamiento tensión – deformación de los suelos. La reparación de suelo cumple con una variedad de requisitos, que incluyen: resistencia al esfuerzo cortante, deformabilidad o compresibilidad, estabilidad volumétrica en presencia de agua, etc. Nuestro objetivo es lograr un buen comportamiento ante el estrés en los casos. Deformaciones estructurales que se instalan sobre él durante toda su vida útil. Los suelos arcillosos, especialmente en climas áridos o semiáridos, tiene muchas más probabilidades de experimentar problemas relacionados con la inestabilidad volumétrica al aumentar o disminuir el agua. En la práctica, existen varios métodos para estabilizar dichos suelos. Cada método utiliza un estabilizador diferente: la cal, el cemento, productos asfálticos, ácidos orgánicos, resinas, sales entre otros. Se utilizan mezclas de suelo y combinaciones de varios productos estabilizadores para encontrar la solución óptima a un problema particular. En este estudio analizamos el comportamiento de suelos arcillosos potencialmente expansivos adicionando Mucilago de Penca de Tuna. Estos incluyen cloruro de potasio, cloruro de magnesio, cloruro de bario, nitrato de sodio, carbonato de sodio, cloruro de calcio y cloruro de sodio, entre otros, pero por razones económicas de las carreteras utilizadas, sólo algunas de ellas no están pavimentadas para su estabilización. El Mucilago de Penca de Tuna es un estabilizador natural para carreteras debido a su bajo costo y en algunos casos tiene más o menos éxito dependiendo de cada condición específica. Los suelos investigados corresponden a los sitios del Jr. 15 de mayo del AA. HH. Tupac Amaru. Se analizan los cambios en las propiedades físicas y mecánicas de estos suelos con diferentes adiciones del Mucilago de Penca de Tuna.

Palabras clave: Mucilago de Penca de Tuna, Estabilización, Suelo Estandar.

ABSTRACT

Soil stabilization in practical engineering, especially in roads, is a widely used technique to improve the stress-strain behavior of soils. Soil repair meets a variety of requirements, including: shear strength, deformability or compressibility, volumetric stability in the presence of water, etc. Our goal is to achieve good stress behavior in cases. Structural deformations that are installed on it during its entire service life. Clay soils, especially in arid or semi-arid climates, are much more likely to experience problems related to volumetric instability with increasing or decreasing water. In practice, there are several methods for stabilizing such soils. Each method uses a different stabilizer: lime, cement, asphalt products, organic acids, resins, salts and others. Soil mixtures and combinations of various stabilizing products are used to find the optimum solution to a particular problem. In this study we analyzed the behavior of potentially expansive clayey soils by adding Prickly Pear Mucilage. These include potassium chloride, magnesium chloride, barium chloride, sodium nitrate, sodium carbonate, calcium chloride and sodium chloride, among others, but for economic reasons of the roads used, only some of them are not paved for stabilization. The Mucilage de Pence de Tuna is a natural stabilizer for roads due to its low cost and in some cases, it is more or less successful depending on each specific condition. The soils investigated correspond to the sites of Jr. 15 de mayo of AA. HH. Tupac Amaru. The changes in the physical and mechanical properties of these soils with different additions of Prickly Pear Mucilage are analyzed.

Keywords: Prickly Pear Mucilage, Stabilization, Standard Soil.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo general de mejorar la resistencia de la superficie de rodadura mediante la adición del Mucilago de Penca de Tuna en Pasco 2023 y así demostrar el efecto del Mucilago de Penca de Tuna en suelos arcillosos y limos altamente plásticos, mejorando las propiedades de resistencia mecánica (CBR), plasticidad y extensibilidad en suelos del Jr. 15 de mayo del AA. HH. Tupac Amaru, del distrito de Chaupimarca, provincia de Pasco y departamento de Pasco.

Sí, el sistema de soporte es insuficiente y no brinda la estabilidad y durabilidad para asegurar un buen desempeño de la estructura del pavimento, existen dos opciones, la primera es la opción más tradicional, que consiste en reemplazar la capa de suelo actual que genera grandes movimientos en el suelo y la segunda opción es mejorar las propiedades físicas del suelo mediante el uso del Mucilago de Penca de Tuna para ahorrar costes y respetar el medio ambiente.

Actualmente, la contaminación ambiental es cada vez más preocupante, principalmente por la generación de residuos sólidos urbanos, más la creación de materiales provenientes de movimientos de tierras que actualmente no cuentan con un suministro adecuado.

El propósito de esta investigación es mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo base mediante el del Mucilago de Penca de Tuna, creando una capa base estable que formará parte de la estructura de superposición.

La hipótesis general, en la que se basa el trabajo es como sigue: la adición del Mucilago de Penca de Tuna mejorará la resistencia de la superficie de rodadura en Pasco 2023.

La metodología empleada fue un estudio científico y el diseño de investigación es experimental, para lo cual se han necesitado realizar distintas pruebas exigidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones basadas en las normas ASTM.

Los sujetos de la muestra constituido por el material priman traídos del Jr. 15 de mayo del AA. HH. Tupac Amaru, se han realizado ensayos de granulometría, límites de Atterberg, ensayo de Proctor modificado del suelo estándar y con la adición del Mucilago de Penca de Tuna en proporciones de 20%. 40% y 60% en peso. El tipo de suelo del Jr. 15 de mayo del AA. HH. Tupac Amaru se han identificado utilizando los sistemas AASHTO y SUCS.

Los resultados más importantes del proceso de investigación donde los ensayos de Proctor modificado se emplearon para determinar la dosificación adecuada del Mucilago de Penca de Tuna, en donde se observaron que al adicionar Mucilago de Penca de Tuna se incrementa la densidad máxima seca y los valores del CBR.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema	1
1.2. Delimitación de la investigación	2
1.3. Formulación del problema.....	3
1.3.1. Problema general	3
1.3.2. Problemas específicos.....	3
1.4. Formulación de objetivos	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. Justificación de la investigación.....	5
1.6. Limitaciones de la investigación	6

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio	7
2.2. Bases teóricas – científicas.....	12
2.2.1. Estabilización de suelos	12
2.2.2. Estabilización mecánica	13
2.2.3. Estabilización Química.....	14
2.2.4. Estabilización Física	16
2.2.5. Suelos Arcillosos	16
2.2.6. Suelos Limosos.....	17
2.3. Definición de términos básicos	18
2.3.1. Mucílago de Penca de Tuna.....	18
2.3.2. Ensayo Proctor Modificado	18
2.3.3. CBR	20
2.3.4. Arcilla	21
2.3.5. Suelo	21
2.3.6. Subrasante.....	21
2.4. Formulación de hipótesis.....	22
2.4.1. Hipótesis general	22
2.4.2. Hipótesis específicas.....	22
2.5. Identificación de variables.....	22

2.5.1. Variables independientes	22
2.5.2. Variables dependientes	23
2.6. Definición operacional de variables e indicadores	23

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación	25
3.2. Nivel de investigación	26
3.3. Métodos de investigación.....	26
3.4. Diseño de investigación.....	26
3.5. Población y muestra	26
3.5.1. Población	26
3.5.2. Muestra	27
3.5.3. Muestreo	28
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	28
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	29
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	29
3.9. Tratamiento estadístico.....	30
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica.....	30

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	32
4.1.1. Descripción del Proyecto	32
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	34
4.2.1. Ensayos de laboratorio al suelo estándar	35
4.2.2. Ensayos de laboratorio al suelo estándar adicionando Mucilago de Penca de Tuna	45
4.3. Prueba de hipótesis	58
4.4. Discusión de resultados	62

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variable independiente	23
Tabla 2. Operacionalización de Variable dependiente	24
Tabla 3. Número de calicatas según el IMDA.....	27
Tabla 4. Descripción de la exploración a cielo abierto (calicata).....	34
Tabla 5. Contenido de Humedad del Suelo Estandar	36
Tabla 6. Granulometría de Suelo Estandar	36
Tabla 7. Límites de Consistencia de Suelo Estandar	37
Tabla 8. Clasificación de Suelos – Según IP	38
Tabla 9. Ensayo de Proctor Modificado de Suelo Estandar	39
Tabla 10. Ensayo de CBR de Suelo Estandar.....	41
Tabla 11. Categorías de las Subrasantes de Vías.....	43
Tabla 12. Resumen de las Características Físicas y Mecánicas del Suelo Estandar	44
Tabla 13. Contenido de Humedad del Suelo Estandar con MPT	45
Tabla 14. Límite Líquido del Suelo Estandar con MPT.....	47
Tabla 15. Límite Plástico del Suelo Estandar con MPT.....	48
Tabla 16. Índice de Plasticidad del Suelo Estandar con MPT	50
Tabla 17. Contenido de Humedad Óptima del Suelo Estandar con MPT	52
Tabla 18. Densidad Máxima Seca de Suelo Estandar con MPT	53
Tabla 19. Ensayo de CBR de Suelo Estandar con MPT.....	55
Tabla 20. Resumen Comparativo de la Expansión.....	57

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva de compactación del suelo estándar R – 01.....	39
Figura 2. Curva de compactación del suelo estándar R – 02.....	40
Figura 3. Curva de compactación del suelo estándar R – 03.....	40
Figura 4. Curva de CBR – Densidad Seca del suelo estándar R – 01.	41
Figura 5. Curva de CBR – Densidad Seca del suelo estándar R – 02.	42
Figura 6. Curva de CBR – Densidad Seca del suelo estándar R – 03.	42
Figura 7. Contenido de Humedad de la Muestra R – 01.	46
Figura 8. Contenido de Humedad de la Muestra R – 02.	46
Figura 9. Contenido de Humedad de la Muestra R – 03.	46
Figura 10. Límite Líquido de la muestra R – 01.	47
Figura 11. Límite Líquido de la muestra R – 02.	48
Figura 12. Límite Líquido de la muestra R – 03.	48
Figura 13. Límite Plástico de la muestra R – 01.	49
Figura 14. Límite Plástico de la muestra R – 02.	49
Figura 15. Límite Plástico de la muestra R – 03.	49
Figura 16. Índice de Plasticidad de la muestra R – 01.	50
Figura 17. Índice de Plasticidad de la muestra R – 02.	50
Figura 18. Índice de Plasticidad de la muestra R – 03.	51
Figura 19. Contenido de Humedad Óptima de la muestra R – 01.....	52
Figura 20. Contenido de Humedad Óptima de la muestra R – 02.....	52
Figura 21. Contenido de Humedad Óptima de la muestra R – 03.....	53
Figura 22. Densidad Máxima Seca de la muestra R – 01.....	53
Figura 23. Densidad Máxima Seca de la muestra R – 02.....	54
Figura 24. Densidad Máxima Seca de la muestra R – 03.....	54

Figura 25. Curva de CBR – Densidad Seca del suelo estabilizado R – 01.	56
Figura 26. Curva de CBR – Densidad Seca del suelo estabilizado R – 02.	56
Figura 27. Curva de CBR – Densidad Seca del suelo estabilizado R – 03.	57

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La Ingeniería Civil se encarga de proporcionar infraestructuras de todo tipo a través del diseño, construcción y mantenimiento de obras para satisfacer las necesidades de la sociedad, una de las cuales es la construcción de infraestructuras viales en terrenos, en las que muchas veces nos encontramos con inestabilidad del terreno, lo cual es muy común que tener problemas para realizar este tipo de trabajo; por este motivo es necesario estabilizar el suelo.

La estabilización de suelos incluye procesos mecánicos o químicos en los que se cambian las propiedades esenciales del suelo utilizado para el pavimento, ya sea como capa base, contrapiso o subrasante, para proporcionar una excelente resistencia, para que no se produzcan deformaciones en la carretera. En el distrito de Chaupimarca, el suelo se caracteriza por su contenido de roca, arenisca y arcilla, lo que reduce la capacidad portante del suelo y aumenta su capacidad de deformarse al ser sometido a cargas, muchas veces provenientes del tráfico. Normalmente,

estos suelos se eliminen porque se consideran indeseables, reemplazando el material con otros suelos con mejores propiedades mecánicas, lo que resulta en mayores costos del proyecto. Por lo tanto, el objetivo básico de este estudio fue investigar el potencial del mucilago de la penca de tuna como estabilizador natural de suelos; se trata de mejorar las propiedades del suelo, que será utilizado como material de soporte de la estructura de la carretera.

En la provincia de Pasco también observamos que en la infraestructura de carreteras no pavimentadas desempeña un papel vital en la conectividad regional y el desarrollo económico. Sin embargo, la falta de mantenimiento adecuado y las condiciones climáticas adversas han dado lugar a un problema crónico de generación de polvo en estas carreteras, lo que afecta negativamente tanto a los usuarios como al entorno circundante.

Por lo tanto, la identificación del problema se centra en la necesidad de determinar si la influencia del Mucilago de Penca de Tuna en Pasco es una solución efectiva para mejorar la resistencia de la superficie de rodadura y abordar los desafíos mencionados anteriormente. Esta investigación busca llenar este vacío de conocimiento y proporcionar una base sólida para la toma de decisiones relacionadas con la gestión y el mantenimiento de las carreteras no pavimentadas en Pasco.

1.2. Delimitación de la investigación

La investigación se llevó a cabo específicamente en el asentamiento humano Tupac Amaru sector 3, en Jirón 15 de Mayo, ubicado en el Distrito de Chaupimarca de la Provincia de Pasco de la región de Pasco; esta zona es muy característica por tener suelos con formación rocosa, y hay sectores que contiene areniscas cuarcíferas que son consolidados de colores gris y amarillos, y también

geológicamente está comprendido en el grupo pucara, formación chambara, las cuales son horizontes de calizas fracturadas en condiciones de regular a malas.

La ubicación exacta de la investigación es en el asentamiento humano Tupas Amaru la cual se encuentra ubicado en el Distrito de Chaupimarca, Provincia de Pasco y Región Pasco, el cual tiene una altitud de 4330 m.s.n.m. y con un área aproximadas de 86 hectáreas. Sus coordenadas geográficas son: Latitud 10°41'32.13" Sur y Longitud 70°32'52.90" Oeste; y este distrito está limitado por los distritos: En el norte con el distrito de Yanacancha, en el sur con el distrito de Simón Bolívar, en el este con el distrito de Yanacancha y Vicco, en el oeste por el distrito de Simón Bolívar y Santa Ana de Tusi.

Con respecto a la delimitación temporal, la elaboración y los ensayos del trabajo de investigación se realizó durante el periodo de abril del 2023 a setiembre del mismo año.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es la influencia del Mucilago de Penca de Tuna para mejorar la resistencia de la superficie de rodadura en Pasco 2023?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la dosificación óptima del Mucilago de Penca de Tuna para la mejora de la resistencia de la superficie de rodadura en Pasco 2023?
- ¿Cuáles son las propiedades físicas de la superficie de rodadura al adicionar Mucilago de Penca de Tuna para la mejora de la resistencia en Pasco 2023?

- ¿Cuáles son las propiedades químicas de la superficie de rodadura al adicionar Mucilago de Penca de Tuna para la mejora de la resistencia en Pasco 2023?
- ¿Cuáles son las propiedades mecánicas de la superficie de rodadura al adicionar Mucilago de Penca de Tuna para la mejora de la resistencia en Pasco 2023?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Mejorar la resistencia de la superficie de rodadura mediante la adición del Mucilago de Penca de Tuna en Pasco 2023.

1.4.2. Objetivos específicos

- Calcular la dosificación óptima del Mucilago de Penca de Tuna para la mejora de la resistencia de la superficie de rodadura en Pasco 2023.
- Determinar las propiedades físicas de la superficie de rodadura al adicionar Mucilago de Penca de Tuna para la mejora de la resistencia en Pasco 2023.
- Determinar las propiedades químicas de la superficie de rodadura al adicionar Mucilago de Penca de Tuna para la mejora de la resistencia en Pasco 2023.
- Determinar las propiedades mecánicas de la superficie de rodadura al adicionar Mucilago de Penca de Tuna para la mejora de la resistencia en Pasco 2023.

1.5. Justificación de la investigación

La estabilización de suelos, permite que las vías se puedan mantener aptas para la circulación, (Floréz - Góngora et al., 2020) la aplicación del silicato de sodio, está siendo aplicado en las arcillas, los problemas grandes son con la montmorillonita. La estabilización utilizando cal y ceniza volante según (Gómez et al., 2019), ha incrementado su resistencia en las vías donde se aplicaron 4% de cal, y para la ceniza volante se tiene un incremento en la resistencia de la vía con 8%.

La provincia de Pasco enfrenta desafíos significativos relacionados con el mantenimiento de sus carreteras no pavimentadas debido a sus condiciones geográficas y climáticas únicas. Estas carreteras son vitales para la conectividad de las comunidades locales, el transporte de recursos y el acceso a servicios esenciales. La generación de polvo en estas carreteras ha sido un problema crónico que afecta la calidad de vida de los residentes, su salud y la sostenibilidad económica de la región. Mejorar la resistencia de la superficie de rodadura y reducir la generación de polvo que tiene un impacto directo en la comunidad local. La aplicación de un estabilizador natural representa una posible solución para abordar la generación de polvo y mejorar la resistencia de la superficie de rodadura en carreteras no pavimentadas. Al fortalecer estas carreteras, se puede prolongar su vida útil, reducir la necesidad de costosos trabajos de mantenimiento y mejorar la eficiencia del transporte de bienes y personas en la región. Con respecto a la salud la aplicación de un estabilizador natural representa una posible solución para abordar la generación de polvo y mejorar la resistencia de la superficie de rodadura en carreteras no pavimentadas. Al fortalecer estas carreteras, se puede prolongar su

vida útil, reducir la necesidad de costosos trabajos de mantenimiento y mejorar la eficiencia del transporte de bienes y personas en la región.

1.6. Limitaciones de la investigación

Los resultados deben basarse en la estabilización de los suelos, por lo tanto, es necesario, para la mejora de la resistencia de la superficie de rodadura en Pasco 2023. Las investigaciones fueron realizadas entre los meses de abril y setiembre en el Jirón 15 de mayo del Asentamiento Humano Tupac Amaru, las cuales sufrieron grandes daños porque se tiene la presencia de rocas, areniscas y arcillas, estos dinamismos permiten un mayor desgaste de la superficie de rodadura. El financiamiento económico para realizar los ensayos y compra de los materiales son propias del tesista; el Mucilago de Penca de Tuna no es fácil de obtener, ya que no se tiene una gran demanda en la región de Pasco.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

- En el artículo **“Evaluación de Mucílago de Nopal (*Opuntia ficus-indica*) y de Maguey (*Agave salmiana*) en Formulaciones Espumantes para Remoción de Hidrocarburos en Suelos Contaminados”**, de (Espinosa López et al., 2018), explica que el Mucílago de Penca de Tuna aumenta la viscosidad de la formación de espuma, permitiendo un drenaje más rápido pero también aumenta la estabilidad de la espuma seca al retener la estructura de las laminillas. El mucilago de maguey por si solo no aumenta la viscosidad de la formulación de espuma y no proporciona ninguna estabilidad a la espuma. La tierra utilizada (principalmente arena) no retiene bien el diésel, por lo que eliminarlo mediante desplazamiento de agua es muy eficaz; sin embargo, la presencia de espumas de alta resistencia, como las elaboradas con formulaciones de 0.75 y 1.00% de mucilago de nopal, indica un aumento en el desplazamiento de diésel residual en pruebas de desplazamiento forzado y con

una formulación de 0.50% de mucilago de nopal en inundaciones en las pruebas de desplazamiento. Existe una relación entre la estabilidad del musgo y la resistencia y el coeficiente de detergencia de los contaminantes adheridos a las partículas del suelo. Se continuó con la modificación del proceso de transferencia de diésel a un sistema similar al de campo, utilizando suelo extraído del sitio experimental y con composiciones intermedias de hidrocarburos (aceite vegetal, de motor, combustóleo) y pesada (aceite crudo).

- El desarrollo de la investigación por parte de (Mendizabal Hobispo, 2018), denominada **“Adición del mucilago de penca de tuna para estabilizar suelo arcilloso, Chilca”**, indica que las propiedades físicas y mecánicas del suelo estudiado son insuficientes por lo que no son aptas para su uso como base según el Manual de Carreteras. Las propiedades físicas y mecánicas del suelo con la adición de mucilago de penca de tuna se mejoran en tres dosis, haciéndolos aptos para su uso como suelo base según el Manual de Carreteras. La dosis de 75% de mucilago de penca de tuna fue más efectiva para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo estudiado. La adición de mucilago de penca de tuna al suelo en diferentes dosis ayudará a estabilizar el suelo arcilloso del suelo estudiado, para que pueda ser utilizado como suelo base según el Manual de Carreteras.
- En la tesis de (Huamán Oré, 2020), nominada **“Estabilización de suelos arcillosos con mucilago de penca de tuna y ceniza de madera, en la carretera Cangari, Ayacucho, 2020”**, concluye que el uso de ceniza de madera y mucilago de penca de tuna ha sido evaluado para mejorar las propiedades del suelo arcilloso en el suelo de la carretera estudiada, obteniendo resultados positivos en sus propiedades con la adición de diferentes

proporciones de ceniza de madera y el mucilago de penca de tuna, hubo una mejora en la reducción del índice de plasticidad dentro del límite de Atterberg, el contenido de humedad también disminuyó en las dos primeras pruebas que se hizo, pero en la tercera prueba se obtuvo un alto contenido de humedad. Finalmente, es posible aumentar la resistencia del suelo, catalogándolo como muy buen suelo para realizar cimentaciones. Los límites de consistencia halladas fueron: inicial IP = 21.73%, 14% CMF + 50% MPT (IP = 18.85%), 17% CMF + 60% MPT (IP = 12.41%), 21% CMF + 70% MPT (IP = 7.29%); en estas pruebas de Atterberg se estableció un porcentaje específico de la mezcla de ceniza de madera de fondo y mucilago específico de la mezcla de ceniza de madera de fondo y mucilago de penca de tuna, ya que contribuyó a reducir el índice de plasticidad de 21.73% a 7.29% al agregar 21% de ceniza de madera de fondo y 70% de penca de tuna. El mucilago de las pencas es la producción más favorable. Se concluyó que la adición de ceniza de madera en el fondo reduciría el índice de plasticidad, lo cual quedó comprobado. En el óptimo contenido de humedad se obtuvo los siguientes resultados: inicial OCH = 15.32%, 14% CMF + 50% MPT (OCH = 12.43%), 17% CMF + 60% MPT (OCH = 11.24%), 21% CMF + 70% MPT (OCH = 18.08%); en estas pruebas los porcentajes óptimos de ceniza de madera de fondo y mucilago de penca de tuna se obtuvieron en las pruebas Proctor Modificadas, ya que los dos primeros porcentajes redujeron el contenido de humedad a diferencia del segundo, que aumentó en un alto porcentaje. Se concluyó que las adiciones propuestas de 14%, 17% CMF y 50%, 60% CMF tuvieron el efecto esperado, a diferencia de la adición de 21% CMF y 70% MPT que hubieran obtenido mayor contenido de humedad. Con respecto a la resistencia se obtuvo los siguientes resultados:

inicial CBR al 95% = 6.3%, 14% CMF + 50% MPT (CBR = 19.8%), 17% CMF + 60% MPT (CBR = 43.0%), 21% CMF + 70% MPT (CBR = 56.5%); inicial CBR al 100% = 10.2%, 14% CMF + 50% MPT (CBR = 23.6%), 17% CMF + 60% MPT (CBR = 54.4%), 21% CMF + 70% MPT (CBR = 67.1%); en estos resultados se estableció la dependencia de la proporción de ceniza de madera de fondo y mucilago de penca de tuna en la prueba de CBR, ya que influyo en el aumento de la resistencia del soporte, ya que la adición de la proporción mas alta fue 21% madera y 70% MPT incrementó la intensidad de 6.3 al 56.5% siendo al 95% y en un 67.1% al 100%. Se concluyo que al agregar mayor proporción de ceniza de madera y mucilago de penca de tuna se obtuvieron resultados positivos, lo cual quedo comprobado.

- En la tesis **“Efecto de la adición de mucilago de nopal para estabilización de suelo arcilloso en la zona de Shecta Independencia - Huaraz Ancash”** de (León Trejo, 2021), se utilizaron cuatro porcentajes (6%, 8%, 10% y 12%) de mucilago de nopal, reemplazando la proporción de agua para el medidor estándar con la adición de mucilago de nopal, pero para CBR la suplementación con mucilago de nopal es óptimo al 10% debido a medidas presupuestarias de laboratorio. Para el California Bearing Ratio (CBR) con mucilago de nopal agregado, la curva CBR del suelo no se muestra debido a humedad y/o absorción excesiva y, por lo tanto, no hay resistencia al agua. Las propiedades físicas y mecánicas del suelo al agregar el mucilago de nopal mejoraran la dosificación por lo que es apto para su uso como suelo base según el Manual Vial – MTC. La dosis de 105 de mucilago de nopal fue más efectiva para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo como suelo nace en el área de Shecta. Agregar mucilago de nopal al suelo en dosis ayudara a

estabilizar los suelos arcillosos en la región de Shecta, de modo que el suelo pueda usarse como suelo base de acuerdo con las instrucciones de uso de la carretera.

- La tesista (Veliz Hidalgo, 2023), en su tesis “**Estabilización de suelos con adición de mucilago de linaza a nivel subrasante de una trocha carrozable Pilcomayo, Huancayo 2023**”, considera que el uso de mucilago de linaza mejora las propiedades de los suelos franco arenosos en el sustrato, obteniendo favorablemente resultados muy efectivos en términos de adición, mostrando mejoras en el aumento de la densidad seca máxima y la reducción óptima de la humedad porque también intentamos aumentar su resistencia al suelo. Demostró que la adición del mucilago de linaza mejora la densidad seca máxima del subsuelo de la carretera Pilcomayo. Con base en los resultados obtenidos para suelo natural, la densidad seca máxima obtenida fue de 2.040 gr/cm³, la cual aumento según el porcentaje de mucilago de linaza agregado, dando 2.102 gr/cm³ para el mucilago de linaza se agrego un 55%, pero para la adición de 80% mucilago de linaza, este resultado disminuyó a 2.080 gr/cm³, es por esto que la mejora de la calzada se vincula al porcentaje propuesto y luego se comprueba. Se demostró parcialmente que la adición de mucilago de linaza en la prueba de humedad optima reduce la tasa de adición, teniendo una humedad natural optimo del suelo en 8.30% y cuando se agrega mucilago de linaza al 55% nos da resultados optimo resultado húmedo 7.30%, tratando de reducir la humedad del suelo según la proporción recomendada para mejorar el suelo, esto ha sido comprobado. En cuanto a la dosis de suplementación con mucilago de linaza, esto tiene un efecto favorable en la resistencia del subsuelo, ya que si nuestra dosis aumenta entonces la resistencia también aumenta; al

agregar mucilago de linaza a la prueba de CBR muestra que esto aumenta su durabilidad, dando como resultado suelos naturales con CBR al 100% de 9.8% y al 95% un 8.5%, al agregar mucilago de linaza en un 55% se tiene un CBR al 100% de 11.8% y al 95% un 12.4% por lo que esto nos dice que mejorar nuestro sustrato es relevante directamente al porcentaje recomendado, razón por la cual la adición de mucilago de linaza mejorara el CBR del suelo. La dosis de mucilago de lino a 55% mostro un mejor efecto para mejorar la estabilidad del suelo de la vía.

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Estabilización de suelos

Según lo afirmado por (Yepes Piqueras, 2014) en su blog describe que el suelo necesita ser durable y estable, de tal manera que los suelos de baja capacidad portante y baja calidad, debemos tener presente la técnica de mejora de terreno; el suelo debe incrementar las propiedades mecánicas como es el CBR y el módulo de esfuerzo y deformación; también se logra la estabilización de la vía, realizando trabajos de drenaje y compactación, para la estabilización de suelos se tiene la estabilización mecánica, que se logra al compactar el suelo mezclando los materiales finos con los gruesos. También se tiene la estabilización química, para el cual se adiciona porcentajes pequeños de aditivo, también existen técnicas de mejoramiento in situ, como la inyección de aditivos, por otro lado, se puede hacer la mezcla húmeda mediante lechadas y la mezcla seca con adiciones de cal y cemento.

Según el tesista (Valle Areas, 2010), las principales características a mejorar con la estabilidad son:

Resistencia. El aumento de la resistencia aumenta la estabilidad y la capacidad de carga.

Estabilidad del volumen. Garantizar el control del proceso del hinchazón y colapso provocados por cambios de humedad.

Durabilidad. Una mayor durabilidad mejora la resistencia a la erosión y afronta más eficazmente el cambio climático y el uso del tráfico.

Permeabilidad. Reducir la permeabilidad y por tanto la circulación del agua para mejorar la estabilidad.

También el tesista (Valle Areas, 2010) nos indica la ejecución de un suelo estabilizado in situ incluye las siguientes operaciones:

- Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.
- Preparación de la superficie existente.
- Disgregación del suelo.
- Humectación o desecación del suelo.
- Distribución de la cal o cemento.
- Ejecución de la mezcla.
- Compactación.
- Terminación de la superficie.
- Curado y protección superficial.

2.2.2. Estabilización mecánica

Este es un método que puede mejorar significativamente el suelo sin requerir reacciones químicas importantes. La estabilización mecánica se consigue mediante compactación, por lo que es necesario determinar la dosificación correcta

para el tipo de material utilizado. Estas mejoras generalmente se realizan en la superficie de la carretera, la subrasante y la capa de asfalto.

Según lo escrito en (Estabilización mecánica, s. f.), la estabilidad mecánica implica la densidad del suelo obtenida al exprimir el proceso. En general, la compresión de la tierra es el método económicamente más estable. La estabilización de suelos implica modificar las malas propiedades físicas del suelo para lograr una estructura que resista el desplazamiento y tenga la porosidad deseada sin cambiar su composición básica. Cuando se utilizan otros métodos alternativos, se pueden agregar métodos de compactación, ya que sus estructuras han sido desmanteladas, se realiza a base de corte de taludes, terraplenes, arroyos, suelo de fundación, relleno artificial, terraplenes. terraplén de la carretera, etc.

2.2.3. Estabilización Química

Según (Rivera et al., 2020), en su artículo mencionan que los estabilizadores químicos se pueden utilizar en todo tipo de suelos para mejorar sus propiedades geotécnicas, cambiar las propiedades fisicoquímicas originales de los suelos naturales para paliar algunos problemas, como la inestabilidad de volumen, o aumentar algunas de sus propiedades, como la resistencia mecánica. y la fuerza del suelo labrado. Este tipo de estabilización implica el uso de varios materiales, siendo los más comunes el cemento y la cal; sin embargo, las sales (cloruro de sodio, cloruro de calcio) y otros productos como residuos o subproductos industriales (escorias de voladura, cenizas volantes) también se utiliza para la estabilización de suelos en la construcción de carreteras. Además, la combinación de varias materias primas bien seleccionadas puede tener propiedades sinérgicas que proporcionen una mejor estabilidad del suelo.

(Estabilización de suelos, s. f.), indica que la estabilización química se trata principalmente del uso de determinados productos químicos patentados cuyo uso implica desplazar iones metálicos y modificar la estructura del suelo implicado en el proceso.

- **Cal:** reduce la plasticidad de la arcilla y es muy económico.
- **Cemento Portland:** aumenta la resistencia del suelo y se utiliza principalmente para arena fina o grava.
- **Productos Asfálticos:** es una emulsión muy utilizada para materiales base no adhesivos.
- **Cloruro de Sodio:** son impermeables y reducen el polvo en el suelo, principalmente en suelos arcillosos y limosos.
- **Cloruro de Calcio:** son impermeables y reducen el polvo en el suelo, principalmente en suelos arcillosos y limosos.
- **Escorias de Fundición:** se utiliza comúnmente en revestimientos asfálticos para brindar mejor resistencia, impermeabilización y prolongar su vida.
- **Polímeros:** se utiliza comúnmente en revestimientos asfálticos para brindar mejor resistencia, impermeabilización y prolongar su vida.
- **Caucho de Neumáticos:** se utiliza comúnmente en revestimientos asfálticos para brindar mejor resistencia, impermeabilización y prolongar su vida.
- **Estabilidad Mecánica:** este es un método que puede mejorar significativamente el suelo sin reacciones químicas importantes.
- **Compactación:** esta mejora se suele realizar en el revestimiento, capa base y en las carpetas asfálticas.

2.2.4. Estabilización Física

Según (Rivera et al., 2020), la estabilización física consiste en intervenir algunas de las propiedades del suelo para cambiar sus propiedades y darle nuevas propiedades estructurales. Los métodos físicos incluyen el uso de materiales llamados geosintéticos, como los geotextiles. Los geotextiles suelen estar hechos de fibras sintéticas como el poliéster o el polipropileno. Las geomallas son estructuras tridimensionales, pero se diferencian por ser unidireccionales o bidireccionales y estar hechas de polietileno de alta densidad. Geomembranas, paneles poliméricos impermeables fabricados con policloruro de vinilo (PVC) o polietileno de alta o baja densidad (PEAD/PEBD); los geocompuestos están diseñados específicamente para la estabilización de cimentaciones granulares y suelos que requieren tanto refuerzo como separación de subsuelos muy finos. Está fabricado con una combinación de geotextil no tejido y geomalla que permite una buena interacción con el suelo reforzado. Las Geoceldas son sistemas de contención celular tridimensionales fabricados con paneles de polietileno o polipropileno de alta resiliencia para contener cargas.

2.2.5. Suelos Arcillosos

Según la página de (José Pineda, encolombia, s. f.), se trata de un tipo de suelo o suelo en el que la arcilla, un agregado de partículas minerales muy pequeñas, constituye la mayor parte de su estructura, a diferencia de otras partículas como la arena o limo. Son suelos que están formados por partículas finas y tienen la capacidad de retener o almacenar agua formando charcos.

Características de los Suelos Arcillosos

Hecho de arcilla mineral, tienen una textura pesada, no drena bien, no requiere mucho fertilizante y es impermeable. Además, las más características son los suelos del orden vertisoles, distribuidos por toda la tierra, que tienen poca capacidad de drenar el agua y son propensos a encharcarse. La superficie también es muy activa, capaz de intercambiar sustancias y nutrientes, tiene poca permeabilidad al aire, se erosiona fácilmente, tiene un alto grado de expansión o contracción y tarda mucho en calentarse.

Las principales alternativas y medidas para la modificación o restauración de suelos arcillosos son: adición de cal, cantidad suficiente de compost para aumentar la porosidad, humus para aumentar la fertilidad, proporción adecuada de materia orgánica, proporción suficiente de arena, evitar el exceso de agua o mantener la permeabilidad e instalación de drenajes en el suelo.

2.2.6. Suelos Limosos

Según la página (InfoAgro, s. f.) los limosos son similares al limo arenosos en que está hecho de materiales similares, pero el limo tiene una menor capacidad y retiene más agua, lo que produce charcos. La tierra es blanda y pegajosa, por lo que es muy fácil trabajar con ella.

Características de los Suelos Limosos

Es un tipo de suelo muy compacto, sin llegar a serlo tanto como los suelos arcillosos. Estos suelos resultan producidos por la sedimentación de materiales muy finos arrastrados por las aguas o depositados por el viento. Sabemos que se trata de suelos limosos porque, al igual que los arcillosos, permiten formar bolas, aunque estas se rompen con facilidad. A diferencia de los arcillosos, no nos permiten formar cintas entre los dedos.

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Mucílago de Penca de Tuna

Según la tesis de (Orozco Silvas, 2017) nominada **“Elaboración y caracterización de películas de mucilago de nopal-pectina: efecto de la concentración del mucilago de nopal en las propiedades fisicoquímicas y mecánicas”**, indica que el mucílago de penca de Tuna es una sustancia viscosa conocida comúnmente como mucilago o hidrocoloide, esta formada por carbohidratos de alto peso molecular. Dicho mucilago contiene principalmente dos polímeros orgánicos naturales: amilasa y amilo pectina. La amilasa forma una cadena helicoidal que, en solución, es capaz de formar películas delgadas que, al secarse, tienen una dureza muy alta. La penca es de color verde opaco, se realiza la fotosíntesis porque reemplazan a las hojas que tienen esta función. Están protegidas por una cutícula gruesa que en ocasiones esta recubierta de cera o pelo que ayuda a reducir la pérdida de agua porque tienen mucho parénquima. En este tejido se almacena una cantidad importante de agua, lo que permite a las plantas resistir largos periodos de sequía. La tuna es originaria de América y hoy se encuentra en una variedad de condiciones agroclimáticas, ya sea silvestre o cultivada. Estas plantas pertenecen a la familia Cactaceae. La clasificación de los nopales es sumamente compleja por muchas razones, entre otras porque su fenotipo muestra una gran variación dependiendo de las condiciones ambientales.

2.3.2. Ensayo Proctor Modificado

(Aulacarreteras, 2021), El procedimiento a seguir en el ensayo proctor modificado es prácticamente el mismo que se describe en el ensayo del proctor estándar, aunque modifica algunos de los parámetros básicos. Utilizaremos un

molde metálico con una capacidad de 2320 cm³ y un martillo de 4535 kg, que en este caso se dejara caer una altura mayor (457 mm), generando una mayor energía de compresión. Adicionalmente, en lugar de 3 capas de material granular, se dispondrán 5 capas, teniendo cada capa un total de 25 golpes.

Como en el caso de las pruebas del Proctor Estandar, repetiremos la prueba varias veces con diferentes niveles de humedad para poder representar la curva de compresión a partir de varios valores. Como ya hemos mencionado, este tipo de ensayo utiliza una mayor energía de compresión, por lo que reproduce las condiciones de compresión de la estructura con mayor precisión y por lo tanto PG – 3 muchas veces requiere la compresión de las articulas de las capas de forma en una determinada proporción en comparación con el valor en el ensayo de Proctor Modificado. Por el contrario, los ensayos estándar suelen ser mas útiles en casos de compactación menor, como los correspondientes al relleno de zanjas o la construcción de carreteras.

Con respecto a la normatividad, se usa el (ASTM: D1557 - 78, 2000), la se usa para determinar la relación entre contenido de agua y peso unitario secos de los suelos (curva de compactación).

Curva de Compactación

La hoja de resultados de cualquier prueba Proctor debe indicar la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptima, así como la curva de compresión, esta curva nos permite determinar de forma sencilla y grafica la densidad seca alcanzable para un valor de humedad determinado. A continuación, se puede ver un ejemplo de cómo se ve la curva de compresión:

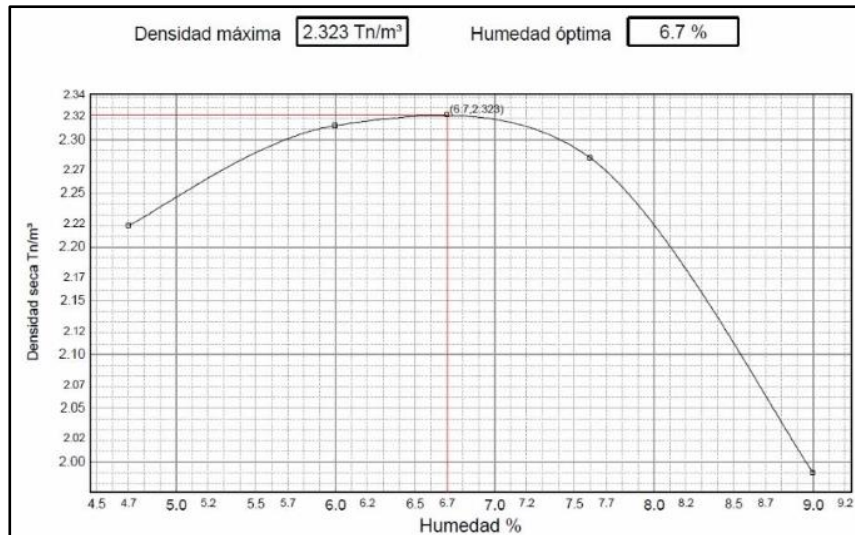


Imagen 1. Curva de Compactación.

2.3.3. CBR

El California Bearing Ratio (CBR) se realiza en laboratorios de materiales de construcción para evaluar la durabilidad de los materiales de base y cimientos. Los diseñadores y constructores de carreteras, pistas de aeropuertos y calles de rodaje, estacionamientos y otras aceras confían en los valores de prueba CBR al seleccionar los espesores de base y pavimento. Las pruebas ASTM D 1880 y AASHTO T 193 para pruebas CBR son un método empírico simple para comparar la resistencia a la penetración de la muestra analizada con una muestra “estándar” de piedra triturada de buena calidad utilizando un embolo de cartón de tamaño estándar. La prueba no describe ninguna propiedad del suelo distinta de la resistencia a la penetración. El departamento de transporte de Florida ha desarrollado una versión modificada de este método llamada prueba FM 5 – 515 Limerock Bearing Ratio (LBR).

Los ensayos CBR también se pueden realizar in situ en el suelo con equipos que utilizan un pistón penetrante del mismo tamaño o con un penetrador de cono dinámico (DCP). La norma ASTM D4429 se utiliza a menudo como prueba

exploratoria para determinar las condiciones de campo del suelo o los cimientos o para confirmar los resultados de las pruebas de laboratorio.

2.3.4. Arcilla

Las arcillas son partículas que tienen tamaño promedio menor de 5 micrones y no dependen del tipo de mineral que este compuesto, en geotecnia el que determina si es arcilla o no, es el tamaño.

2.3.5. Suelo

El suelo es un conjunto de materiales discontinuos, que tienen diferentes tamaños, estos podrían separarse y clasificarse de acuerdo a normas internacionales. Estas partículas adquieren propiedades físicas y químicas de acuerdo a su tamaño y de acuerdo a su composición química.

2.3.6. Subrasante

Es la superficie terminada al nivel excavado y terraplén de la vía, que es el asiento de la estructura vial, debe ser un tipo de suelo con características aceptables, su capacidad portante es decisiva para el diseño de la vía. Los suelos debajo de esta superficie a una profundidad de al menos 0.60 metros deben tener un CBR mayor o igual al 6%, si es menor, se realizará la estabilización del suelo dependiendo de la naturaleza del suelo. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

El espesor del recubrimiento depende de esta capa, para evaluarlo utilizamos la capacidad de soporte, es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en términos de resistencia como de cambios de volumen, los terrenos extensos pueden causar daño en las estructuras que sustentan, por lo que se deben evitar alteraciones estabilizando el suelo con algún tipo de aditivo. (Montejo Fonseca, 2002).

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La adición del Mucilago de Penca de Tuna mejorará la resistencia de la superficie de rodadura en Pasco 2023.

2.4.2. Hipótesis específicas

- La dosificación óptima del Mucilago de Penca de Tuna mejorará la resistencia de la superficie de rodadura en Pasco 2023.
- Las propiedades físicas de la superficie de rodadura al adicionar Mucilago de Penca de Tuna mejorarán la resistencia en Pasco 2023.
- Las propiedades químicas de la superficie de rodadura al adicionar Mucilago de Penca de Tuna mejorarán la resistencia en Pasco 2023.
- Las propiedades mecánicas de la superficie de rodadura al adicionar Mucilago de Penca de Tuna mejorarán la resistencia en Pasco 2023.

2.5. Identificación de las variables

2.5.1. Variables independientes

Definición Conceptual

VII. Mucilago de Penca de Tuna: Es una sustancia viscosa conocida comúnmente como hidrocoloide o mucilago, en su composición encontramos carbohidratos de alto peso molecular. Esta planta contiene amilopectina y amilasa, que son polímeros naturales y orgánicos, respectivamente.

Definición Operacional

Para estudiar el Mucilago de la Penca de tuna se consideró necesaria la dosificación correspondiente en función de los antecedentes (proyectos de

investigación y artículos científicos similares) de su unión a la arcilla en una proporción determinada.

2.5.2. Variables dependientes

Definición Conceptual

VD1. Mejoramiento de la superficie de rodadura: Es un tratamiento o manipulación que se realiza sobre suelos naturales para aprovechar sus ventajas, obteniendo suelos compactados y estables para resistir las cargas creadas por el tráfico, así como cambios climáticos.

Definición Operacional

El mejoramiento del firme del camino se realiza utilizando Mucilago de Penca de Tuna en diferentes porcentajes. Se realizará un estudio detallado sobre la respuesta al adicionar Mucilago de Penca de Tuna en términos de límites de consistencia, humedad y fuerza.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 1. Operacionalización de variable independiente

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Mucilago de Penca de Tuna	Es una sustancia viscosa conocida comúnmente como hidrocoloide o mucilago, en su composición encontramos carbohidratos de alto peso molecular. Esta planta contiene amilopectina y amilasa, que son polímeros naturales y orgánicos, respectivamente.	Para estudiar el Mucilago de la Penca de tuna se consideró necesaria la dosificación correspondiente en función de los antecedentes (proyectos de investigación y artículos científicos similares) de su unión a la arcilla en una proporción determinada.	D1: Propiedades físicas	I1: 20%, 40% y 60% de mucilago de Penca de Tuna.	Experimento adicionando Mucilago de Penca de Tuna en porcentajes al volumen del suelo arcilloso.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Operacionalización de Variable dependiente

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Mejoramiento de la superficie de rodadura	Es un tratamiento o manipulación que se realiza sobre suelos naturales para aprovechar sus ventajas, obteniendo suelos compactados y estables para resistir las cargas creadas por el tráfico, así como cambios climáticos.	El mejoramiento del camino se realiza utilizando Mucilago de Penca de Tuna en diferentes porcentajes. Se realizará un estudio detallado sobre la respuesta al adicionar Mucilago de Penca de Tuna en términos de límites de consistencia, humedad y fuerza.	D1: Límites de consistencia D2: Contenido de Humedad. D3: Resistencia	I1: Análisis granulométrico, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad. I2: Humedad óptima y densidad seca. I3: Capacidad de soporte.	IS1: Ensayo de límite de Atterberg, análisis granulométrico por tamizado. IS2: Proctor modificado (ASTM D1557/ASTM D1883). IS3: CBR ASTM D1883.

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

Aplicada: También conocido como activa, practica o dinámica. Se conoce porque su objetivo es utilizar los conocimientos adquiridos. La investigación aplicada busca confrontar la realidad con la teoría. Es la aplicación y estudio de estudios específicos, realizados de manera inmediata y no para la implementación de sus teorías. Por tal motivo el tipo de investigación aplicada ya que nos ayudó a conocer la posibilidad de mejorar las propiedades del suelo gracias a los aportes de varios sujetos de investigación, también se realizaron pruebas físicas, mecánicas y químicas de los suelos presentes para lograr del objetivo.

Siguiendo su énfasis en la gestión de datos, es cuantitativo en el sentido de que utiliza la recolección de datos para probar hipótesis, basándose en mediciones numéricas y análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar la teoría.

3.2. Nivel de investigación

Debido a la naturaleza del trabajo de investigación, el nivel de investigación es descriptiva – explicativa, ya que la investigación realizada es de naturaleza cuantitativa y busca encontrar las causas de las variaciones en la resistencia de los suelos estudiados.

3.3. Métodos de investigación

La investigación se realizará utilizando el método científico, que es el arte de hacer preguntas y probar las respuestas. A través de este verificamos la hipótesis realizando las pruebas de laboratorio necesarias.

3.4. Diseño de investigación

Es **cuasiexperimental** porque el investigador puede manipular las variables del estudio, un experimento cambia el valor de una variable (la variable independiente) y prueba el cambio que se produce en otra variable (la variable dependiente). Se realizan bajo estrecha supervisión para saber que esta sucediendo o una situación específica.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

También conocidos como universo, son sinónimos que se utilizan para describir todos los componentes. Específicamente, población se refiere al número total de unidades de las que se extrae la muestra, a partir de las cuales se pueden extrapolar los resultados (Pedro Luis López, 2004). Para el proyecto, la población es la región de Pasco, específicamente en el Asentamiento Humano Tupac Amaru

sector 3, en el Jirón 15 de mayo; las calicatas obtenidas también son tomados en cuenta para realizar las pruebas que requiere la región Pasco.

3.5.2. Muestra

A nuestra población la llamamos muestra porque en toda ella podremos recopilar información a través de la observación. En nuestro estudio se tomaron muestras del Jirón 15 de mayo, donde realizamos tres calicatas en las zonas más importantes del suelo, la cual se excavaron a 1.50 metros de profundidad. Es muy importante recalcar que el tipo de vía que se presenta en este estudio es una vía con baja densidad de tránsito, una vía con un IMDA ≤ 200 vehículos/día de vía, esto también nos dice que cada 1 km requiere de una calicata.

Tabla 3. Número de calicatas según el IMDA

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

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

3.5.3. Muestreo

Esta es una herramienta de investigación científica que tenemos disponible para verificar la funcionalidad básica como parte de la actividad de aprendizaje para implementar esta intervención con las personas. Para ello en este estudio se realizaron un muestreo intencional no probabilístico debido a que las muestras que vamos a tomar están seleccionadas de una forma u otra que nos puede proporcionar una solución al problema al que nos enfrentamos en este campo por la zona del Asentamiento Humano Tupac Amaru. Se tomaron tres muestras de la zona afectada, cada una de las cuales pesaba mas de 60 kg.



Imagen 2. Jr. 15 de mayo, sitio estudiado.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

(Castro Márquez, 2016), indica que las técnicas y herramientas de recolección de datos se convierten en materiales y que así nos permiten obtener la información que necesitamos para nuestra investigación. Las técnicas de recolección de datos son diferentes formas de recoger datos como puede ser mediante observación directa, análisis de documentos, etc. En este estudio propongo utilizar la observación como técnica de recolección.

Por lo tanto, se siguieron ciertos pasos para determinar las ubicaciones a estudiar desde que me dirigí hacia la vía donde se ubica el Jr. 15 de mayo del Asentamiento Humano Tupac Amaru, como primer punto se identificaron las áreas más importantes donde pude observar que hay polvo, arcilla y también que vemos hundimientos, es por esto que se realizaron tres calicatas para recolectar muestras y pruebas necesarias. Después se hicieron pruebas en el laboratorio, la técnica utilizada para la recolección de datos fue a través del estudio de mecánica de suelos y el instrumento utilizado para la recolección de datos son las formas de pruebas de laboratorio, fichas de análisis, en los cuales se comparan los datos obtenidos y estarán sujetos a las normas especificadas para cada tipo de prueba.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

Validez significa que podemos observar la calidad de la prueba en términos de medición y podemos verificar que existen dos formas de validez, una es validez externa y la otra es validez interna. En cuanto a la validez extrínseca vemos que se refiere a la generalización de conceptos, en cambio la validez intrínseca nos dice que nos define como la capacidad del instrumento. (Naghi Namakforoosh, 2005).

Para la confiabilidad del proyecto dependió de los resultados que me proporcione el laboratorio de mecánica de suelos, los cuales son válidos para las respectivas normas ASTM y NTP que serán utilizadas y especificadas para cada tipo de ensayo recomendado.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se realizó un análisis del Jr. 15 de mayo del Asentamiento Humano Tupac Amaru, y se notó deficiencias en el terreno y esta es nuestra zona de estudio. Se realizaron 3 calicatas hasta una profundidad de 1.5 metros, que luego se

devolvieron al laboratorio para su análisis y se realizaron las pruebas de los límites de Atterberg, proctor modificado y CBR, se realizaron pruebas de la muestra patron y seguidamente los ensayos adicionando el Mucilago de Penca de Tuna en un 20%, 40% y 60%. Para la obtención de los datos se realizó una observación directa, en la cual pudimos observar cada experimento realizado en el laboratorio y obtener los datos necesarios para realizar los resultados y enfrentar la hipótesis propuesta.

3.9. Tratamiento estadístico

Los datos se presentaron según criterios estadísticos descriptivos y se realizaron pruebas estadísticas para verificar la exactitud de los datos en función de su normalidad.

Se ha generado una importante cantidad de datos gracias a diversos análisis realizados en el marco de este trabajo. Las variables cualitativas y cuantitativas que son consideradas en este trabajo no pueden considerarse como entidades aisladas, sino que deben relacionarse dentro de un mismo grupo de unidades que forman un todo. Por lo tanto, creemos que utilizar métodos estadísticos para procesar los datos es fundamental porque el procedimiento de estos datos está mucho más allá de las capacidades humanas. En fin, el procedimiento estadístico de datos es una herramienta basada en un conjunto de métodos que ayudan a indicar la distribución del objetivo estudiado, utilizando criterios establecidos durante los análisis. (Terradas Batlle, 1995).

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

Como estudiante de la escuela de formación profesión de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, me comprometo a desarrollar esta investigación con toda disciplina y siguiendo los

pasos formales, resoluciones universitarias y herramientas que se han utilizado para determinar definir los objetivos de la investigación, as como a no involucrarme en plagio con información contenida en otras tesis, donde toda la información extraída será citada y referenciada bibliográficamente según las normas (Normas ISO, 2010).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÒN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Descripción del Proyecto

Nombre de la Tesis:

“Mejora de la resistencia a la superficie de rodadura mediante la adición del mucílago de Penca de Tuna, Pasco 2023”

Ubicación del Proyecto:

El presenta trabajo de investigación se realizó en la:

Región : Pasco

Provincia : Pasco

Distrito : Chaupimarca

Ubicación : Asentamiento Humano Tupac Amaru, Jr. 15 de mayo



Imagen 3. Mapa del Perú.

Fuente: Google Search.

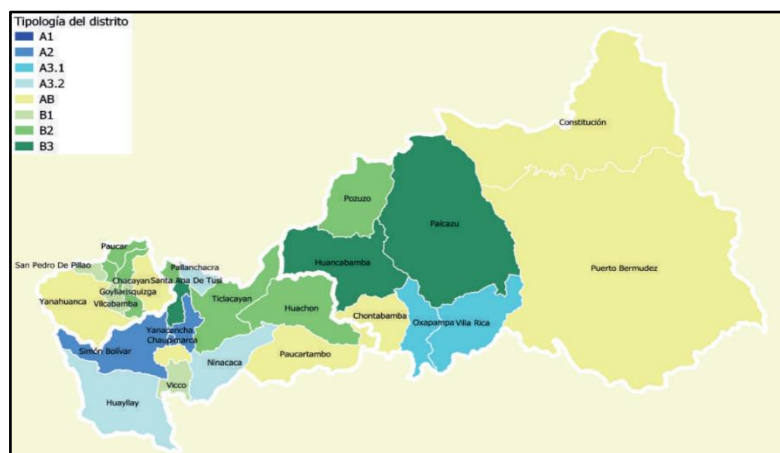


Imagen 4. Mapa de la Región Pasco.

Fuente: (Viceministerio del Gobernanza Territorial, 2017)

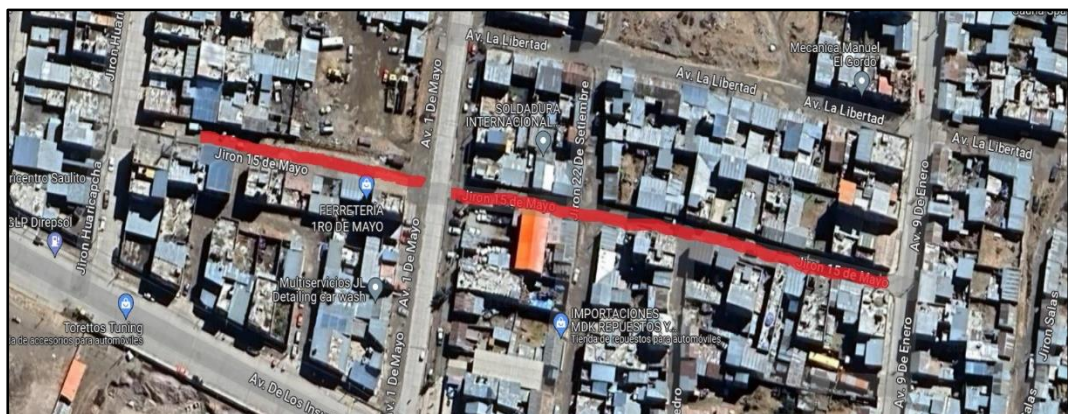


Imagen 5. Distrito de Chaupimarca, Asentamiento Humano Tupac Amaru – Jirón

15 de mayo.

Considerando las líneas anteriores, lo mas importante es caracterizar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, dándole prioridad al índice de CBR porque estos resultados confirmaran las hipótesis. Razón por la cual se implemento de campo con el propósito de identificar el Jr. 15 de mayo en el Asentamiento Humano Tupac Amaru, se deben realizar 3 calicatas en dicho jirón.

Tabla 4. Descripción de la exploración a cielo abierto (calicata)

Calicata N°	Calicata N° 01	Calicata N° 02	Calicata N° 03
Coordenadas	X: 3636.95.00 Y: 8818356.00	X: 363810.00 Y: 8818337.00	X: 363879.00 Y: 8818326.00
Cota de Terreno	4373.00	4373.00	4373.00
Profundidad de Calicata (m)	1.50	1.50	1.50

Fuente: Elaboración Propia



Imagen 6. Ubicación de las Calicatas en el Jr. 15 de mayo.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

El procedimiento de muestreo implicó la realización de tres excavaciones a una profundidad de 1.50 m para evaluar el perfil estratigráfico del suelo y el material portador de materia orgánica. El material extraído se colocó en sacos de 60 kg aproximados cada uno y se transportó al laboratorio de la Escuela de Formación profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Daniel Alcides Carrión para el análisis y pruebas de laboratorio correspondientes para

determinar las propiedades físicas del suelo. Es importante tener en cuenta que cada muestra tomada está etiquetada con la profundidad, ubicación y fecha de excavación para que la muestra esté etiquetada con la profundidad, ubicación y fecha de extracción para que la muestra pueda identificarse más adelante en el laboratorio.

El muestreo implica tomar al menos tres partes aproximando el suelo de cada muestra extraído de una calicata y luego seleccionado aleatoriamente una de las muestras cortada en cuatro partes iguales. El tamaño de la muestra depende de la prueba realizada y de la proporción de partículas grandes en la muestra. El número aproximado de muestras para cada muestra es: Análisis granulométrico y constante de suelos no granulares con 2.50 kg de muestra, ensayo de compactación con 20 kg aproximados y el ensayo de CBR con 25 kg aproximados.

4.2.1. Ensayos de laboratorio al suelo estándar

Después que se tomaron las muestras del suelo y se transportan al laboratorio, comienzan las pruebas de laboratorio para determinar las propiedades físicas relacionadas con la estabilidad y capacidad de carga de la subrasante. A continuación, se detallan las pruebas de laboratorio realizadas para determinar la clasificación del suelo según límites de tamaño de partícula y consistencia utilizando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Determinación del Contenido de Humedad del Suelo Estándar:

Esta es una prueba que permite determinar la cantidad de agua contenida en una determinada cantidad de suelo en función de su peso. Dichos resultados se presentan a continuación:

Tabla 5. Contenido de Humedad del Suelo Estandar

Muestra	N°	Profundidad (m)	H %
1	R – 01	1.50	34.32
2	R – 02	1.50	33.57
3	R – 03	1.50	35.22

Fuente: Elaboración Propia

Análisis Granulométrico del Suelo Estandar:

Es una prueba que determina cuantitativamente la distribución de partículas del suelo de diferentes tamaños. El método usado es el mecánico para determinar el tamaño de la partícula de la muestra. Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 6. Granulometría de Suelo Estandar

Dosificación	Muestra R - 01	Muestra R - 02	Muestra R - 03
Grava	12.17%	14.18%	15.03%
Arena	40.29%	41.73%	40.23%
Fino	47.55%	44.10%	44.75%
Clasificación AASHTO	A - 4	A - 4	A - 4
Clasificación SUCS	GC	GC	GC
	Gravas arcillosas, mezclas de grava – arena y arcilla	Gravas arcillosas, mezclas de grava – arena y arcilla	Gravas arcillosas, mezclas de grava – arena y arcilla

Fuente: Elaboración Propia

De los resultados obtenidos de las muestras estándares se puede observar que el mejor contenido de grava, el mayor valor se encuentra en la muestra R – 03, con un porcentaje de grava de 15.03% y para el mayor contenido de arena es de la muestra R – 02 la cual tiene una proporción de arena del 41.73%, y por último la mayor cantidad de partículas finas es de la muestra R – 01 con un porcentaje de 47.55%.

Límites de Atterberg del Suelo Estandar:

El Límite Plástico es la cantidad mínima de humedad a la que el suelo vuelve a su estado plástico. En este estado, el suelo se deforma o se moldea rápidamente sin recuperación elástica, cambia de volumen, agrietarse o desmoronarse. El Límite Líquido tiene un mayor contenido de humedad que puede tener un suelo sin pasar de un estado plástico a un estado líquido. Este estado se define como un estado en el que la resistencia al corte de suelo es baja que incluso una tensión leve puede hacer que ceda. El cálculo del Índice de Plasticidad es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico la cual indica que el contenido de humedad del suelo permanece a un estado plástico antes de pasar al estado líquido. Los resultados de las pruebas de límite líquido, plástico y el índice de plasticidad se muestran a continuación:

Tabla 7. Límites de Consistencia de Suelo Estandar

Muestra N°	Profundidad (m)	LL	LP	IP
R – 01	1.50	25.57	19.97	5.60
R – 02	1.50	24.60	18.80	5.81
R – 03	1.50	24.23	18.33	5.90

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados se obtuvieron de muestras estándar y encontramos que los mejores resultados de la muestra R – 03 con un límite líquido de 24.23%, límite plástico 18.33% y un índice de plasticidad de 5.90%. Observamos también que los resultados de índice de plasticidad están entre 5 y 10%, eso quiere decir que son suelos arcillosos de baja plasticidad.

Con respecto al índice de plasticidad del suelo en la zona de AA. HH. Tupac Amaru en el Jr. 15 de mayo se obtuvo un índice menor de 7%. De lo indicado en el Manual de Caminos en la sección suelos y pavimentos del MTC, se puede

concluir que el suelo en la zona es de plasticidad baja, correspondiente a suelos pocos arcillosos.

Tabla 8. Clasificación de Suelos – Según IP

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Característica
$IP > 20$	Alta	Suelos muy arcillosos
$IP \leq 20$ y $IP > 7$	Media	Suelos arcillosos
$IP < 7$	Baja	Suelo poco arcillosos
$IP = 0$	No plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

Fuente: Manual de Carreteras ((Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

Ensayo de Proctor Modificado del Suelo Estandar:

Por compactación se entiende cualquier proceso que aumente el peso volumétrico del suelo. En general, el suelo necesita ser compactado para aumentar su resistencia al esfuerzo cortante, reducir la compactación y hacer que el suelo sea más impermeable. Para esta tesis, se realizó el ensayo en el proctor modificado. Con el fin de controlar la compactación durante la construcción, es necesario realizar pruebas para determinar la densidad máxima y el contenido de humedad óptimo del suelo.

Máxima Densidad: Es el peso seco máximo, que se obtiene al mezclar el material con distintos porcentajes de agua y compactarlo de la forma habitual preestablecida.

Óptimo contenido de humedad: Es el porcentaje de agua en el que se alcanza la máxima densidad para un esfuerzo de compactación particular.

Para las tres combinaciones consideramos en el plan de prueba propuesto con dos factores y como punto de prueba establecemos el centro del plan como valor intermedio, además también se obtiene una muestra estándar para probar el

comportamiento en las tres combinaciones, el calibre revisado acomoda valores menores al 20% para tamaños mayores a 3/8" y valores menores al 20% para tamaños 4", ambos requisitos cumplen con el Método B. Se registra de acuerdo a la codificación se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 9. Ensayo de Proctor Modificado de Suelo Estandar

	Al 5% de Agua		
Dosificación	Muestra R – 01	Muestra R – 02	Muestra R – 03
Contenido de Humedad (%)	29.00	24.20	27.20
Máxima densidad seca (gr/cm ³)	1.374	1.565	1.515
	Al 10% de Agua		
Dosificación	Muestra R – 01	Muestra R – 02	Muestra R – 03
Contenido de Humedad (%)	32.50	26.20	30.50
Máxima densidad seca (gr/cm ³)	1.436	1.574	1.474
	Al 15% de Agua		
Dosificación	Muestra R – 01	Muestra R – 02	Muestra R – 03
Contenido de Humedad (%)	36.00	27.85	33.25
Máxima densidad seca (gr/cm ³)	1.360	1.530	1.408
Promedio Contenido de Humedad (%)	32.35	26.25	30.00
Promedio Máxima densidad seca (gr/cm³)	1.416	1.548	1.442

Fuente: Elaboración Propia

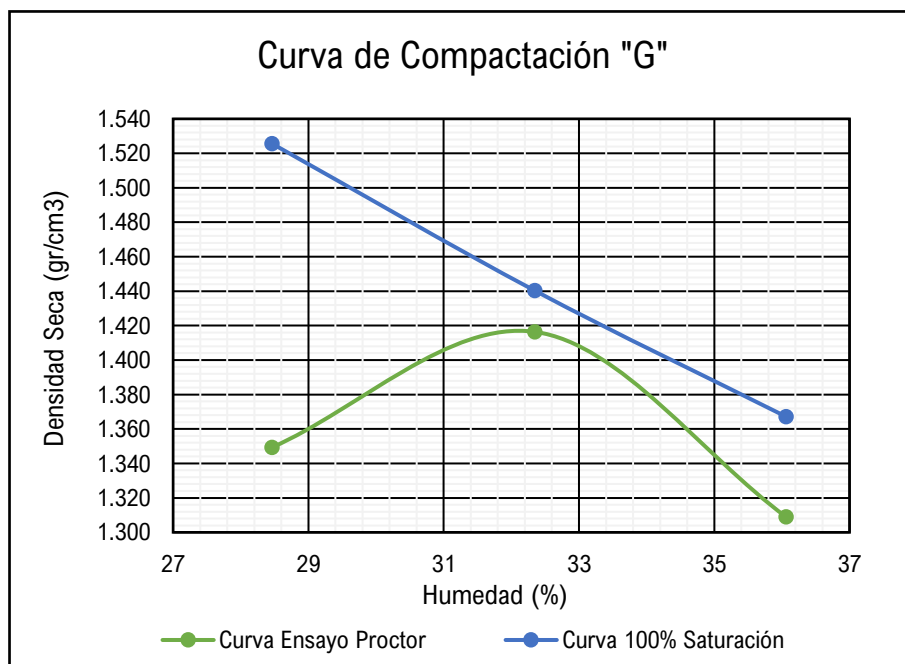


Figura 1. Curva de compactación del suelo estándar R – 01.

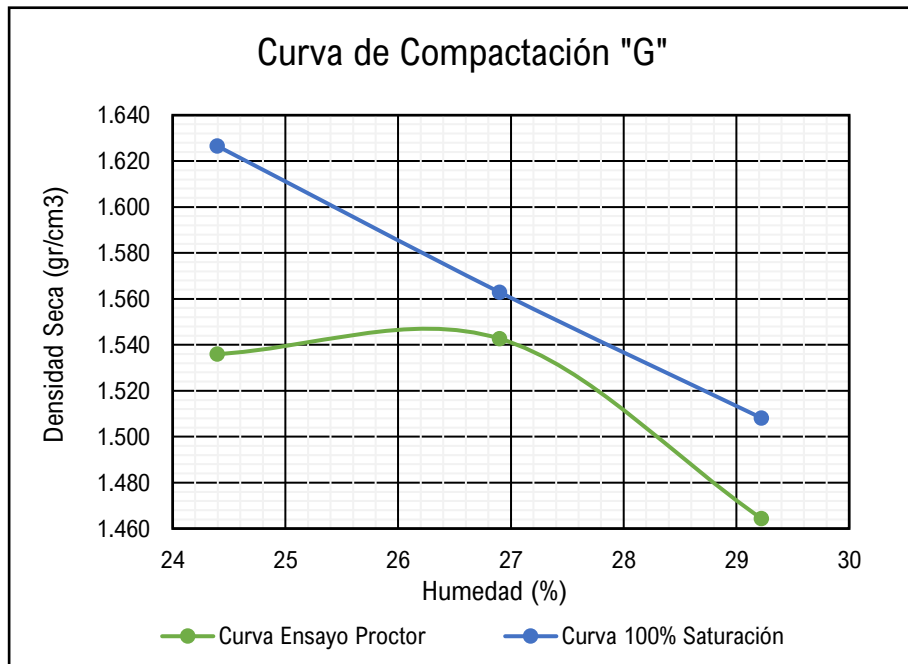


Figura 2. Curva de compactación del suelo estándar R – 02.

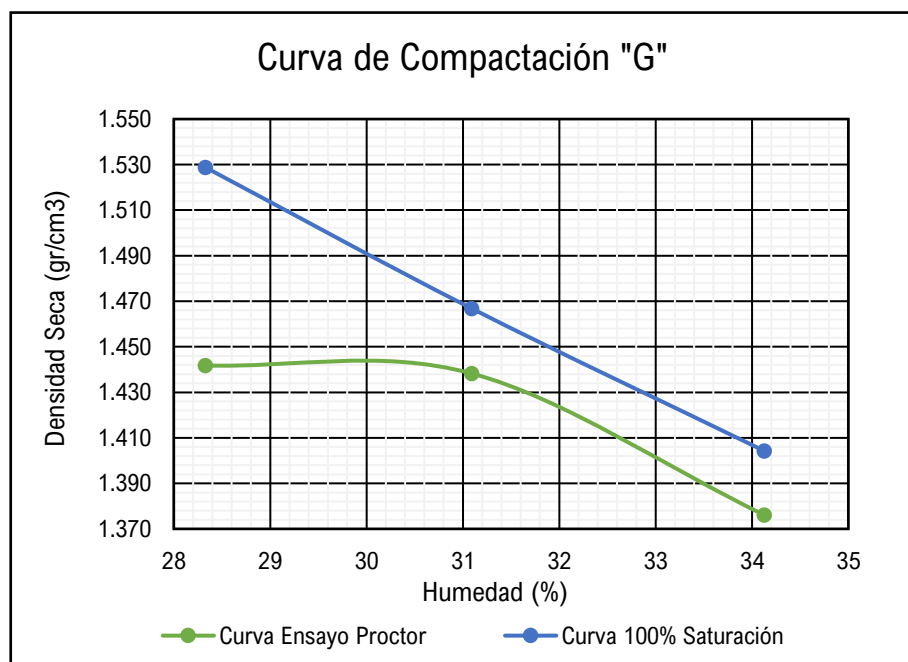


Figura 3. Curva de compactación del suelo estándar R – 03.

El objetivo de esta prueba es determinar el contenido de humedad óptimo requerido por el material para lograr el peso específico máximo. Para la muestra R – 01 la densidad seca máxima alcanzada es de 1.416 gr/cm³ con un contenido de humedad óptimo de 32.35% mientras que en la muestra R – 02 se logra la densidad seca máxima de 1.548 gr/cm³ con un contenido de humedad de 26.25% y por

último la muestra R – 03 se tiene una densidad de 1.442 gr/cm³ con un contenido de humedad alcanzada de 31.10%.

Ensayo de CBR del Suelo Estandar:

Es una medida de la resistencia al corte del suelo, en condiciones de densidad y humedad cuidadosamente controladas. El CBR se expresa como un porcentaje entre la unidad de carga requerida para insertar un pistón en el suelo y la unidad de carga requerida para insertar el mismo pistón a la misma profundidad en una muestra típica de roca rota. Los resultados de las pruebas realizadas para cada muestra se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 10. Ensayo de CBR de Suelo Estandar

Dosificación	Muestra E - 01	Muestra E - 02	Muestra E - 03
CBR para el 100% de M.D.S.	12.00	14.00	12.20
CBR para el 95% de M.D.S.	9.20	9.00	9.60

Fuente: Elaboración Propia

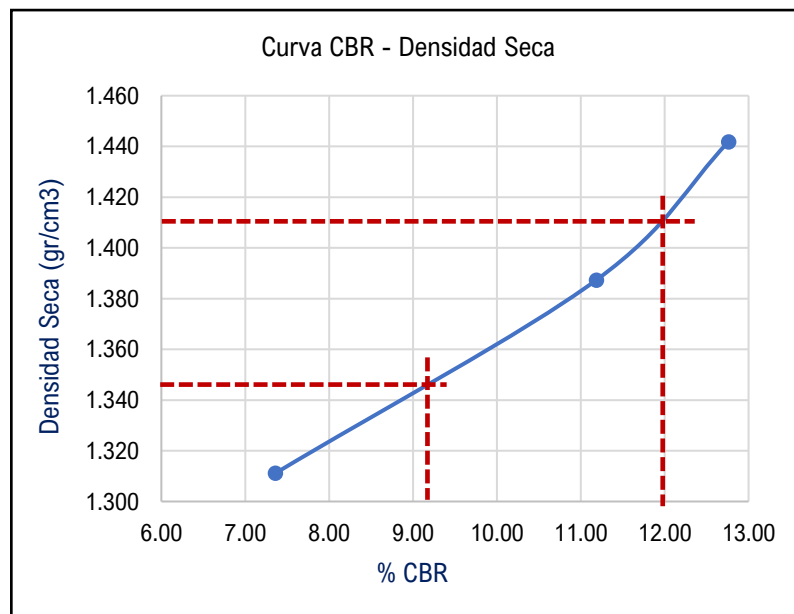


Figura 4. Curva de CBR – Densidad Seca del suelo estándar R – 01.

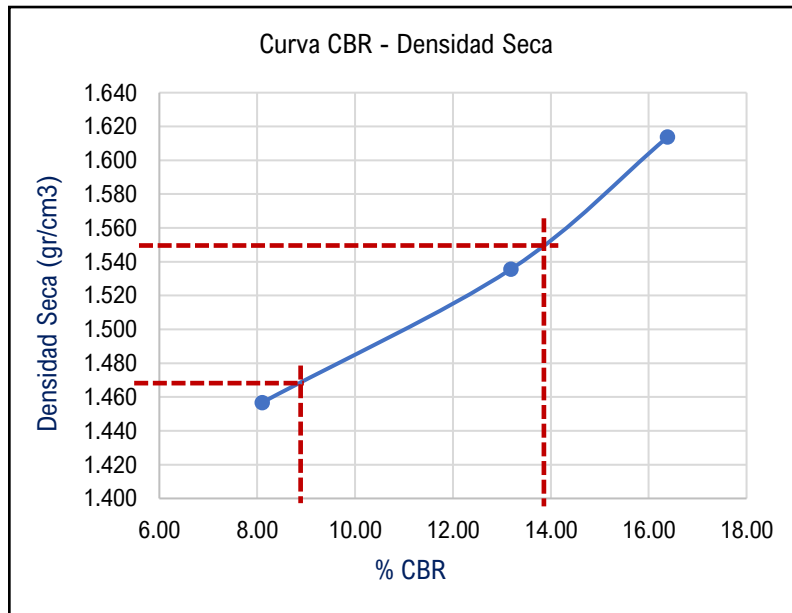


Figura 5. Curva de CBR – Densidad Seca del suelo estándar R – 02.

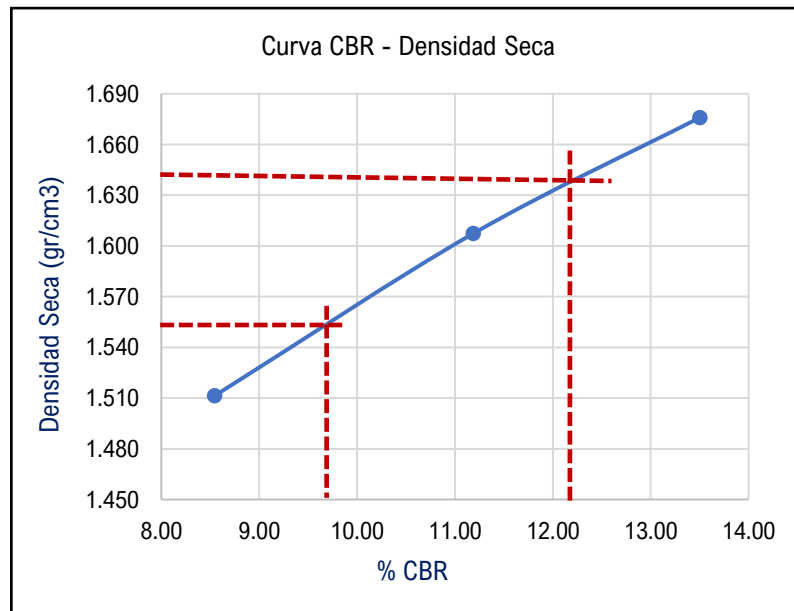


Figura 6. Curva de CBR – Densidad Seca del suelo estándar R – 03.

Las probetas al ser llevadas a saturación para medir la capacidad portante o resistencia con penetración de 0.1” dándonos como resultados en la muestra R – 01 un CBR al 95 % de 9.20% y un CBR al 100% de 12.00%, tomando como referencia el MDS de 1.415 gr/cm³ con un OCH de 32.35%; en la muestra R – 02 un CBR al 95 % de 9.00% y un CBR al 100% de 14.00%, en la muestra R – 03 un CBR al 95 % de 9.60% y un CBR al 100% de 12.20%.

Una vez determinado el CBR, nos damos cuenta que no cumplen con las especificaciones del Ministerio de Transporte de Comunicaciones y del Reglamento Nacional de Edificaciones, no se puede utilizar como base u sub base para formar parte de la estructura de diversos tipos de pavimentos o superficies de rodadura de una vía. Para la categoría de la sub rasante existen suficientes valores de CBR como se muestra en la tabla siguiente, y los valores que obtuvimos son menores de 20%, se considera sub rasante buena el suelo estudiado en el distrito de Chaupimarca.

Tabla 11. Categorías de las Subrasantes de Vías

Categorías de sub rasante	CBR
S0: Sub - rasante Inadecuada	CBR < 3%
S1: Sub - rasante Insuficiente	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S2: Sub – rasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S3: Sub - rasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S4: Sub - rasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S5: Sub - rasante Excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: Manual de Carreteras ((Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

El resultado permite que el suelo de Jr. 15 de mayo del AA. HH. Tupac Amaru sea un suelo adecuado según el Manual de Carreteras del MTC ya que cumple con:

$$\text{CBR} \geq 10\% \text{ A } \text{CBR} < 20\%$$

Esta sub rasante es de tipo permanente y se considera apta para la construcción de capas de sub rasante y capaz de estabilizarse para reducir el espesor de la estructura de pavimento que soporta. A continuación, se muestran las propiedades físicas y mecánicas del suelo en la zona Jr. 15 de mayo del AA. HH. Tupac Amaru del distrito de Chaupimarca:

Tabla 12. Resumen de las Características Físicas y Mecánicas del Suelo Estandar

	Muestra R - 01	Muestra R - 02	Muestra R - 03
Granulometría	12.17% de Grava, 40.29% de Arena y 47.55% de finos	14.18% de Grava, 41.73% de Arena y 44.10% de finos	15.03% de Grava, 40.23% de Arena y 44.75% de finos
Límite Líquido (LL)	25.57%	24.60%	24.23%
Límite Plástico (LP)	19.97%	18.80%	18.33%
Índice de Plasticidad (IP)	5.60%	5.81%	5.90%
Clasificación SUCS	GC	GC	GC
Clasificación AASHTO	A - 4 (0)	A - 4 (0)	A - 4 (0)
Máxima Densidad Seca (MDS)	1.415 gr/cm ³	1.548 gr/cm ³	1.442 gr/cm ³
Óptimo Contenido de Humedad (OCH)	32.35%	27.85%	33.25%
CBR al 95% MDS	9.20%	9.00%	9.60%
CBR al 100% MDS	12.00%	14.00%	12.20%
Expansión (%)	1.836% - 56 golpes 2.244% - 25 golpes 2.346% - 12 golpes	1.734% - 56 golpes 1.938% - 25 golpes 2.142% - 12 golpes	1.938% - 56 golpes 2.448% - 25 golpes 3.672% - 12 golpes

Fuente: Elaboración Propia

El suelo de la zona en estudio tiene en la muestra R – 01 un 47.55% de finos, tiene un IP de 5.60%; por lo que el suelo explotado de dicha zona tiene una plasticidad baja y se considera un suelo poco arcilloso. Según la clasificación AASHTO los suelos estudiados se clasifican como suelo tipo A – 4 y según el sistema de clasificación SUCS como suelo GC y se considera una arcilla de baja plasticidad. Los resultados también muestran que las densidades secas máximas de las tres muestras están entre 1.4 gr/cm³ y 1.6 gr/cm³, de los cuales el contenido de humedad óptimo esta entre 25% y 34%. Y el suelo estudiado se considera adecuado para la formación de bases de carreteras convencionales, por lo que será necesario estabilizarlo para un uso más eficaz, ya que en su estado natural no es adecuado para un diseño de carreteras eficaz.

4.2.2. Ensayos de laboratorio al suelo estándar adicionando Mucilago de Penca de Tuna

De acuerdo al objetivo de la investigación, las propiedades del suelo arcilloso de la zona estudiada se determinaron agregando las proporciones de 20%, 40% y 60% para todas las pruebas necesarias desarrollados en el Laboratorio de la Escuela de la Formación Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, las propiedades físicas y mecánicas del suelo arcillo de la zona estudiada con la adición del Mucilago de Penca de Tuna dan los siguientes resultados:

Determinación del Contenido de Humedad del Suelo Estandar con MPT:

El segundo método consiste en determinar la proporción óptima e ideal del Mucilago de Penca de Tuna que el suelo necesita para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas. Para ello se realizaron las siguientes pruebas en el laboratorio, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 13. Contenido de Humedad del Suelo Estandar con MPT

Muestra	N°	Profundidad	Contenido de Humedad H%		
			20%	40%	60%
1	R - 01	1.50	21.67	20.50	22.32
2	R - 02	1.50	20.18	21.40	20.78
3	R - 03	1.50	20.42	21.40	21.77

Fuente: Elaboración Propia

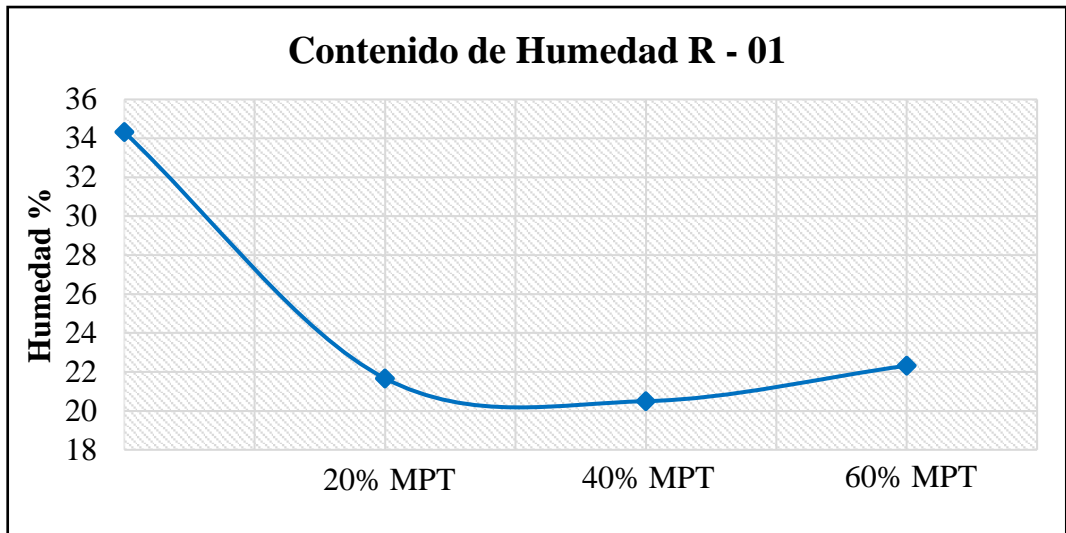


Figura 7. Contenido de Humedad de la Muestra R – 01.

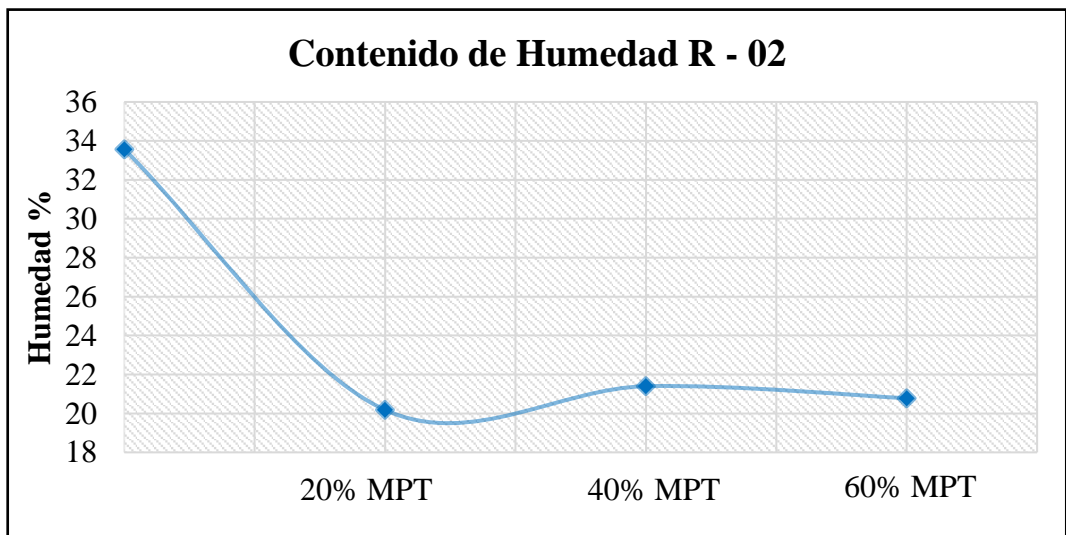


Figura 8. Contenido de Humedad de la Muestra R – 02.

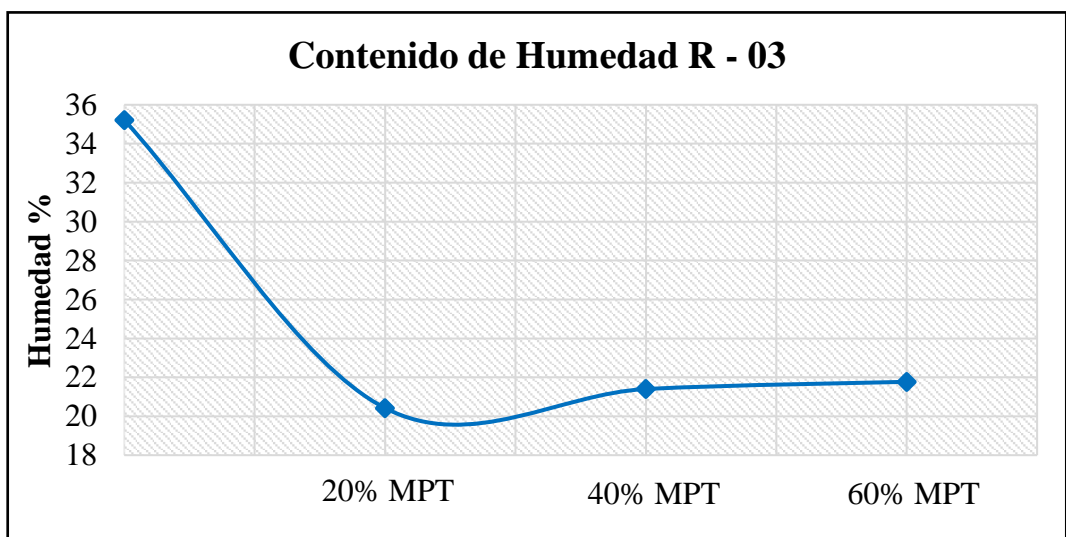


Figura 9. Contenido de Humedad de la Muestra R – 03.

Límites de Atterberg del Suelo Estandar con MPT:

En este ensayo se realizaron los límites líquidos y los límites plásticos con el objetivo de determinar la progresión de la plasticidad del suelo sumando porcentajes del 20%, 40% y 60% de Mucilago de Penca de Tuna, para así poder comparar con la plasticidad del suelo sin Mucilago de Penca de Tuna.

Límite Líquido:

Tabla 14. Límite Líquido del Suelo Estandar con MPT

Muestra	N°	Profundidad	Límite Líquido (%)		
			20%	40%	60%
1	R - 01	1.50	36.13	34.18	39.52
2	R - 02	1.50	34.75	38.02	36.17
3	R - 03	1.50	35.94	38.53	36.88

Fuente: Elaboración Propia

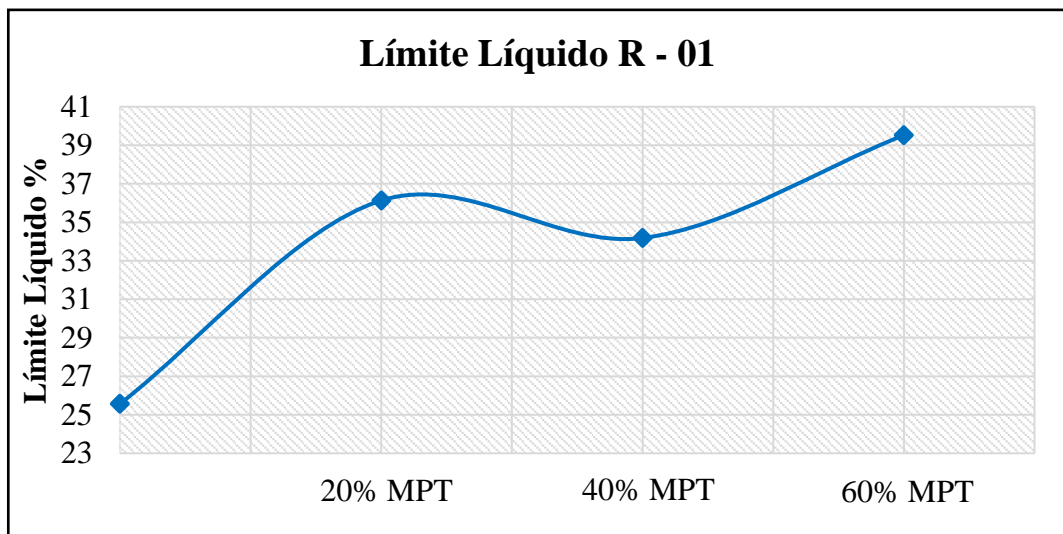


Figura 10. Límite Líquido de la muestra R – 01.

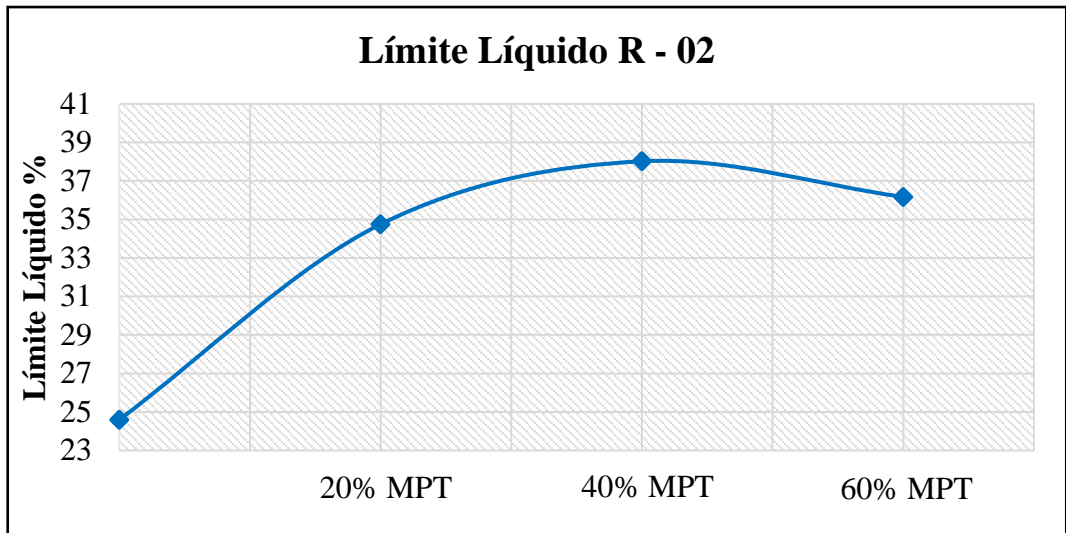


Figura 11. Límite Líquido de la muestra R – 02.

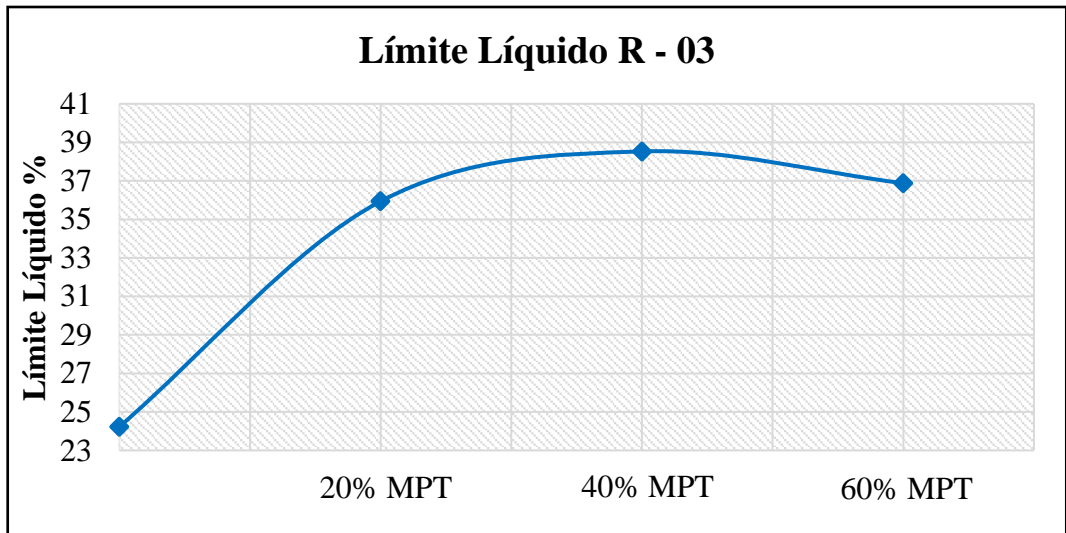


Figura 12. Límite Líquido de la muestra R – 03.

Límite Plástico:

Tabla 15. Límite Plástico del Suelo Estandar con MPT

Muestra	N°	Profundidad	Límite Plástico (%)		
			20%	40%	60%
1	R - 01	1.50	30.82	28.20	27.78
2	R - 02	1.50	27.58	30.68	30.41
3	R - 03	1.50	29.44	31.17	27.39

Fuente: Elaboración Propia

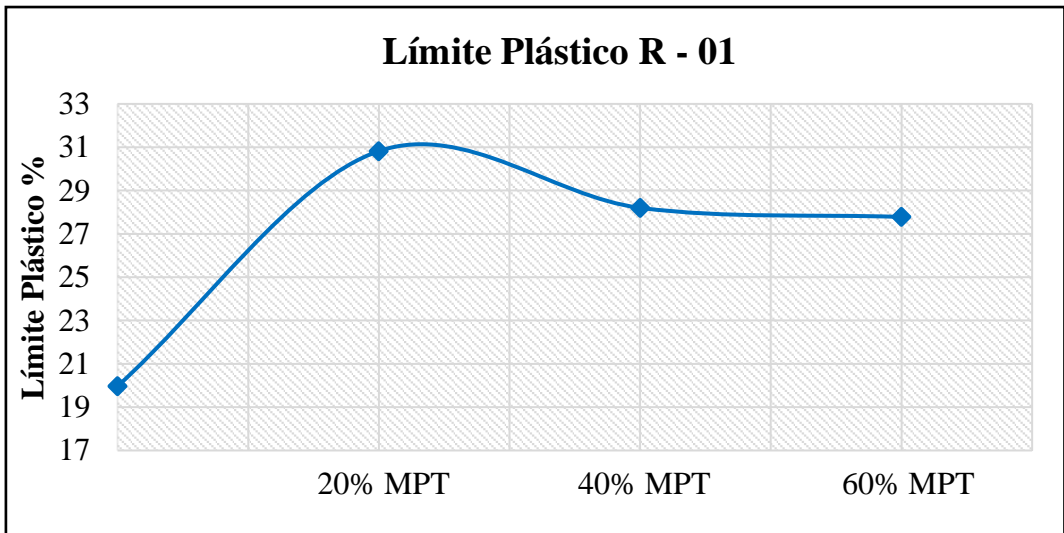


Figura 13. Límite Plástico de la muestra R – 01.

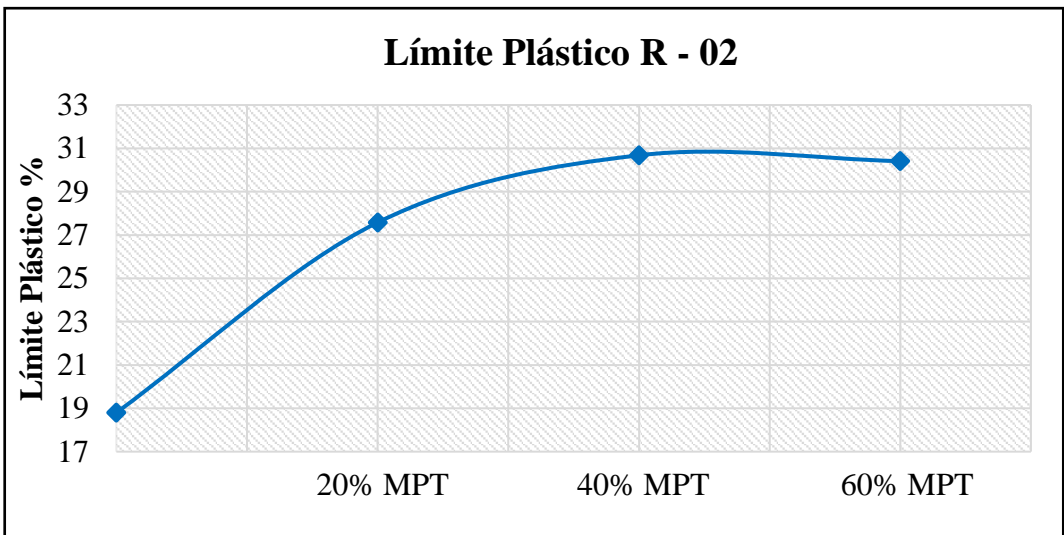


Figura 14. Límite Plástico de la muestra R – 02.

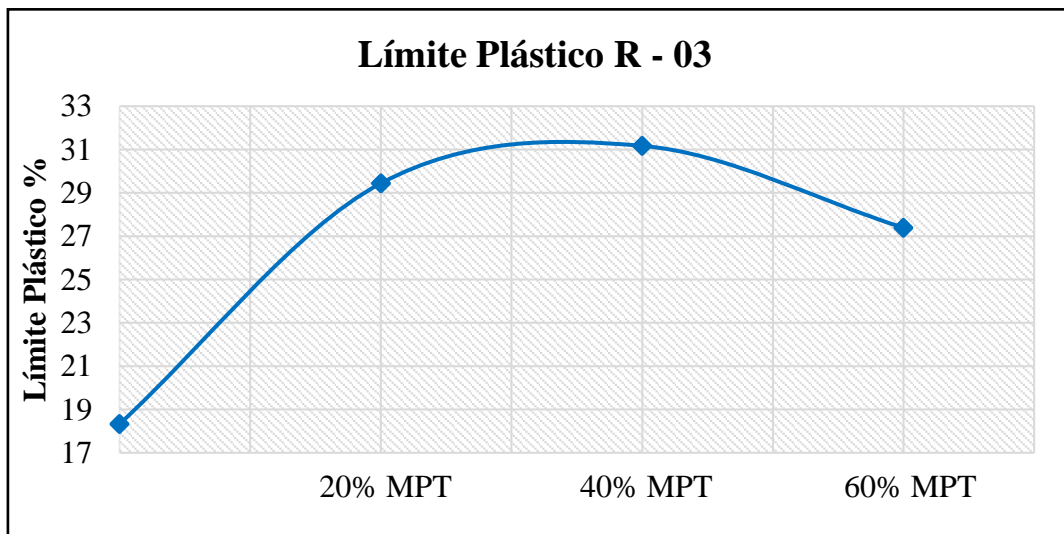


Figura 15. Límite Plástico de la muestra R – 03.

Índice de Plasticidad:

Tabla 16. Índice de Plasticidad del Suelo Estandar con MPT

Muestra	N°	Profundidad	Índice de Plasticidad (%)		
			20%	40%	60%
1	R - 01	1.50	5.31	5.98	11.75
2	R - 02	1.50	7.17	7.34	5.76
3	R - 03	1.50	6.49	7.37	9.49

Fuente: Elaboración Propia

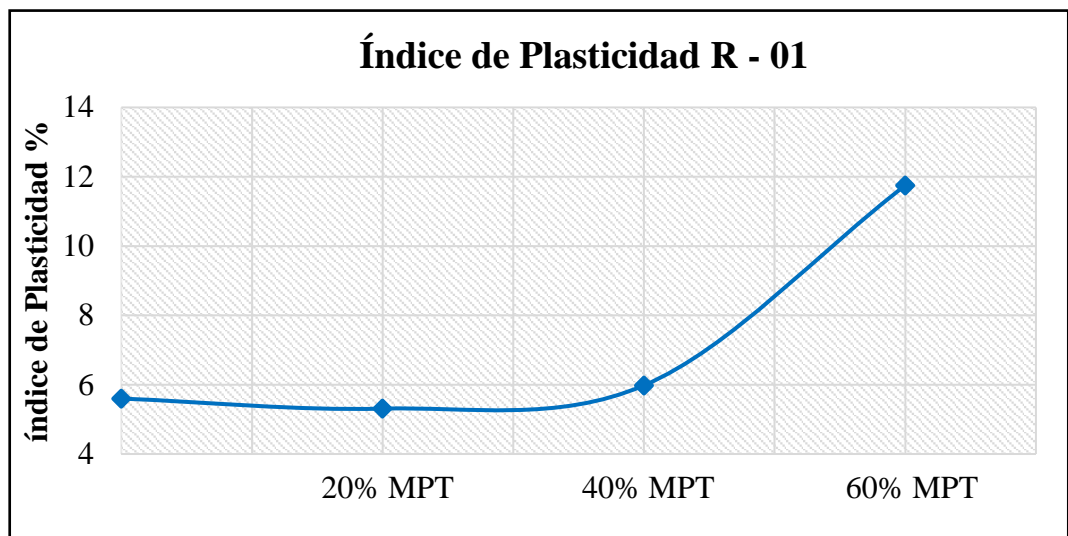


Figura 16. Índice de Plasticidad de la muestra R – 01.

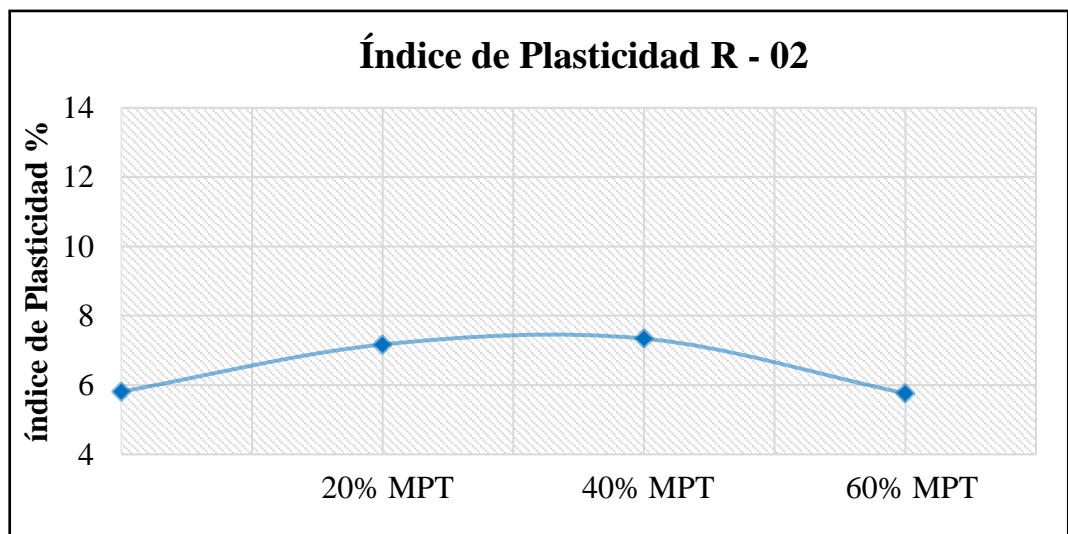


Figura 17. Índice de Plasticidad de la muestra R – 02.

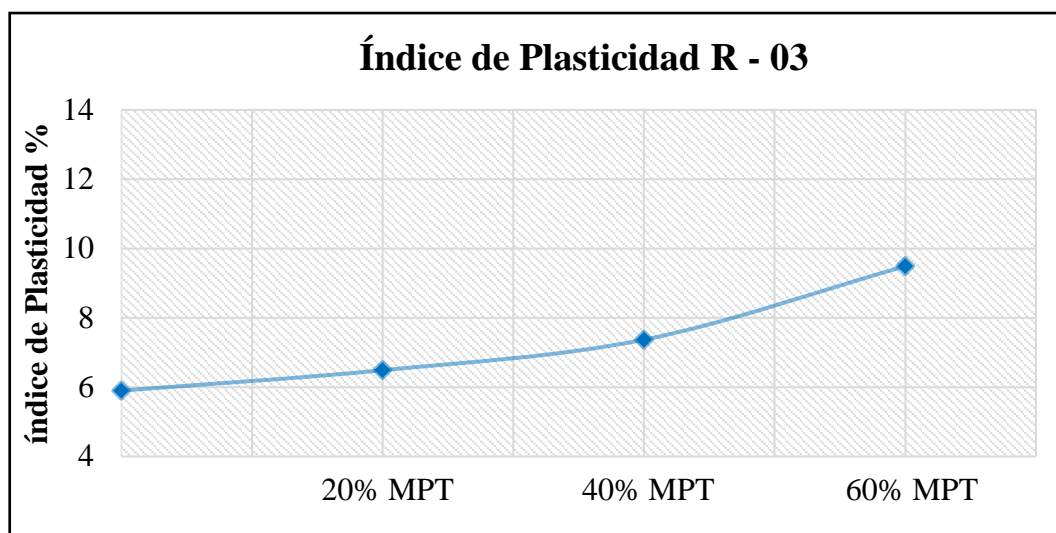


Figura 18. Índice de Plasticidad de la muestra R – 03.

Las pruebas de límites de consistencia con adición de Mucilago de Penca de Tuna mostraron resultados óptimos para un suelo GC (Gravas arcillosas, mezclas de grava – arena y arcilla) debido al IP reducido del suelo estándar. Inicialmente el IP de las muestras tiene un promedio de 5.77%, sin embargo, al agregar una mayor proporción de MPT se pudo confirmar un aumento en el IP del suelo estándar, ya que efectivamente al adicionar en un 60% de MPT en la muestra R – 01 aumenta significativamente el IP de 5.60% a 11.75%, al adicionar en un 40% de MPT en la muestra R – 02 aumenta significativamente el IP de 5.81% a 7.34% y al adicionar en un 60% de MPT en la muestra R – 03 aumenta significativamente el IP de 5.90% a 9.49%; mejorando así las propiedades mecánicas y químicas de los suelos tipo GC, teniendo así una plasticidad media.

Ensayo de Proctor Modificado del Suelo Estándar con MPT:

Consideramos diferentes combinaciones del plan de prueba propuesto con un factor y como punto de control establecemos el centro del plan como valor intermedio, además también tener una muestra estándar para verificar. El proctor modificado sobre el comportamiento de varias combinaciones cumple con los valores menores al 20% para tamaños mayores a 3/8” y valores menores al 20%

para tamaños de N° 4”, ambos requisitos cumplen con el Método B registrado según la codificación de la siguiente tabla:

Tabla 17. Contenido de Humedad Óptima del Suelo Estandar con MPT

Muestra	N°	Profundidad	Contenido de Humedad Óptima (%)		
			20%	40%	60%
1	R - 01	1.50	21.00	21.72	22.81
2	R - 02	1.50	16.73	19.26	17.76
3	R - 03	1.50	20.75	22.20	21.57

Fuente: Elaboración Propia

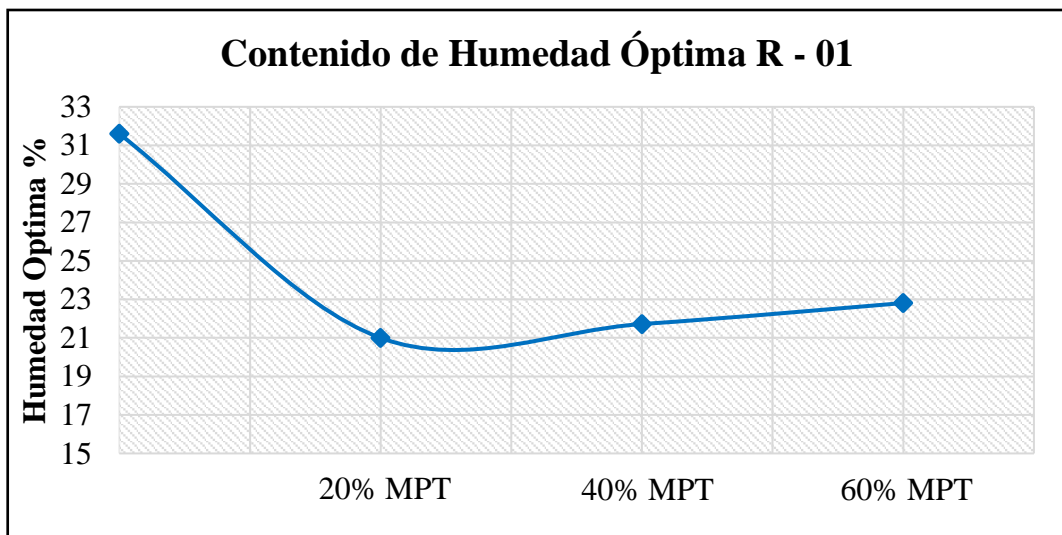


Figura 19. Contenido de Humedad Óptima de la muestra R – 01.

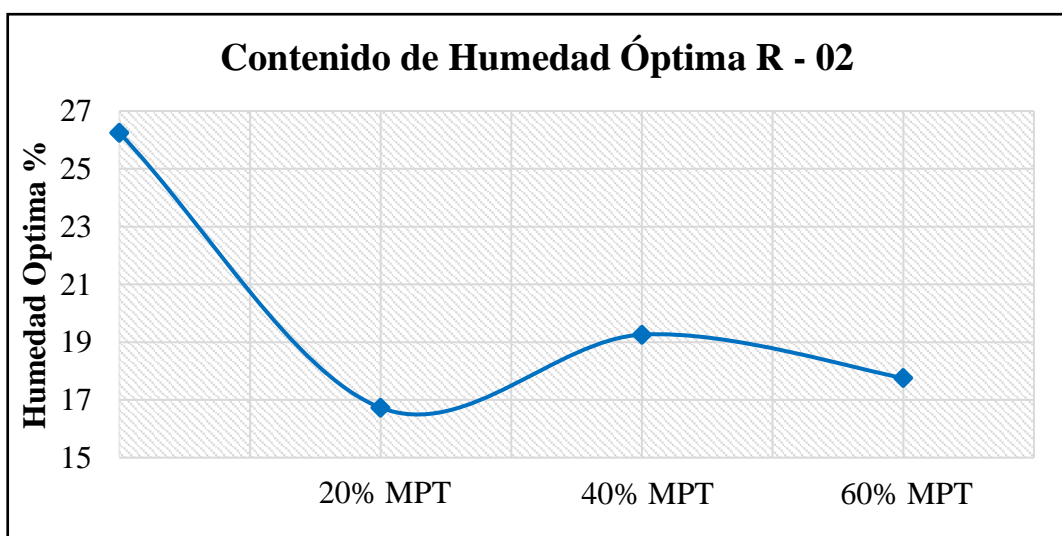


Figura 20. Contenido de Humedad Óptima de la muestra R – 02.

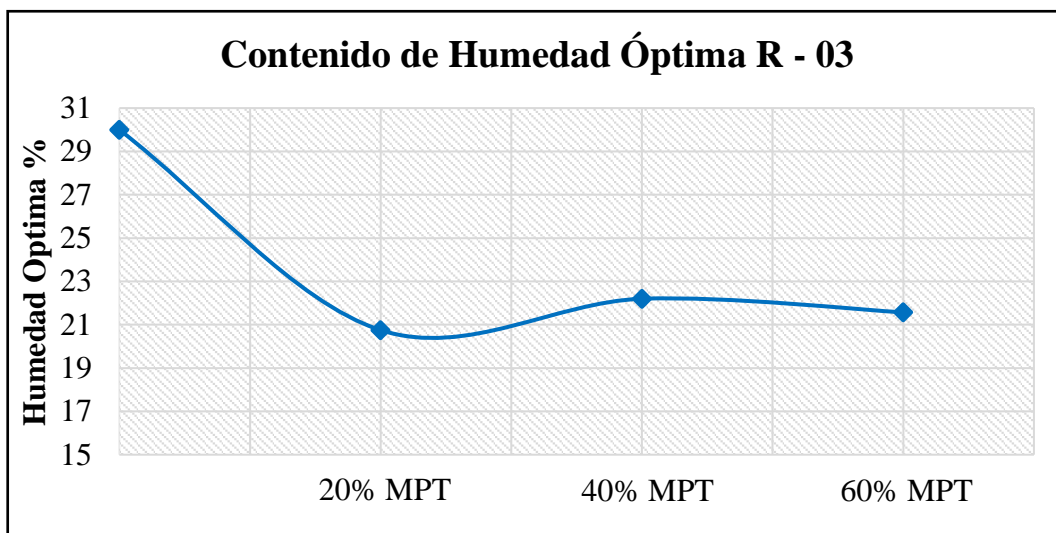


Figura 21. Contenido de Humedad Óptima de la muestra R – 03.

Tabla 18. Densidad Máxima Seca de Suelo Estandar con MPT

Muestra	N°	Profundidad	Densidad Máxima Seca (gr/cm ³)		
			20%	40%	60%
1	R - 01	1.50	1.645	1.666	1.638
2	R - 02	1.50	1.802	1.748	1.803
3	R - 03	1.50	1.662	1.647	1.674

Fuente: Elaboración Propia

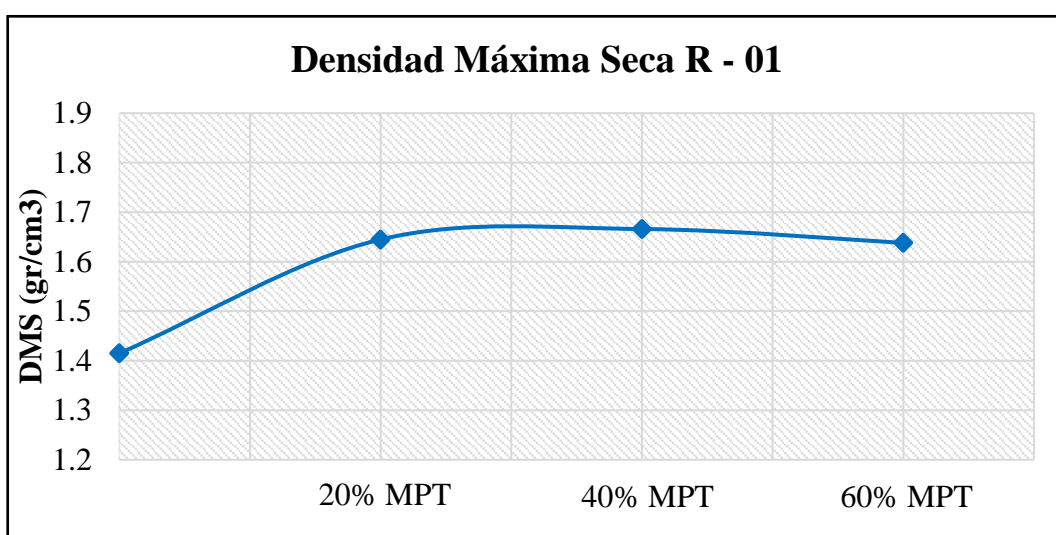


Figura 22. Densidad Máxima Seca de la muestra R – 01.

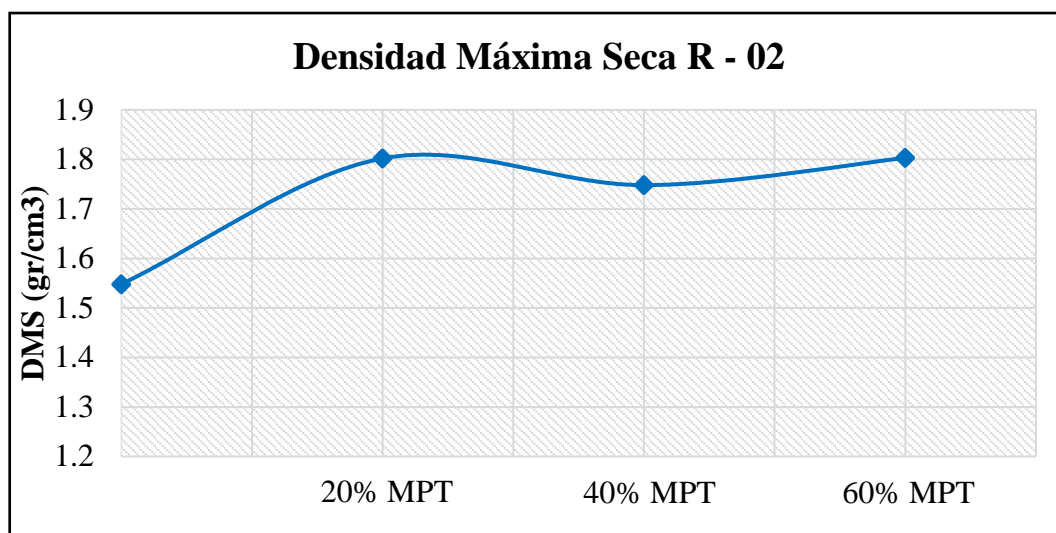


Figura 23. Densidad Máxima Seca de la muestra R – 02.

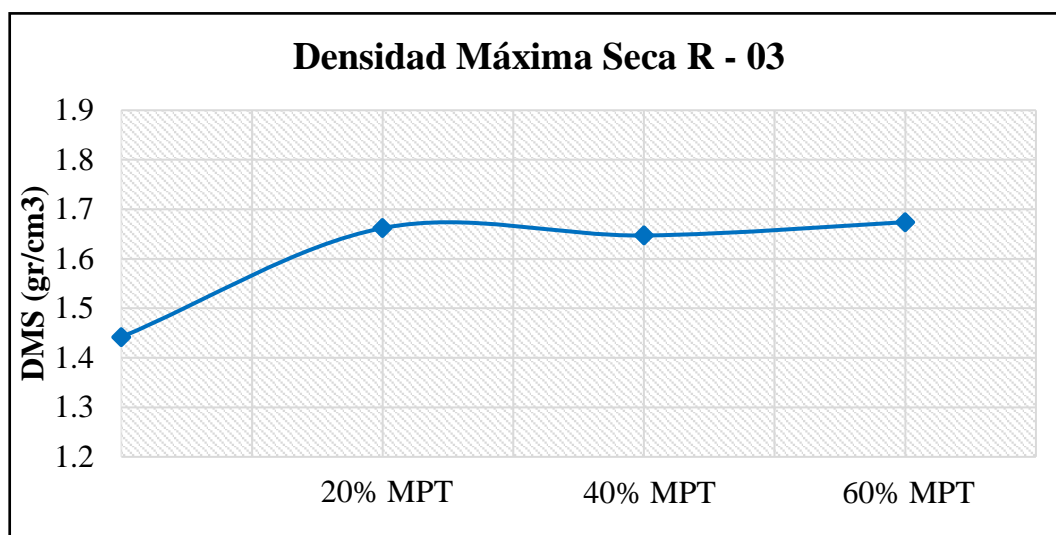


Figura 24. Densidad Máxima Seca de la muestra R – 03.

El Contenido de Humedad Óptimo a ser inversamente proporcional al adicionar el Mucilago de Penca de Tuna, infiere a que más se adiciona el polímero, menor será el CHO, por tanto, al incorporar un 40% de MPT en la muestra R – 01 se reduce el CHO de 32.35% a un 21.72%, al incorporar un 40% de MPT en la muestra R – 02 se reduce el CHO de 26.25% a un 17.76% y al incorporar un 60% de MPT en la muestra R – 03 se reduce el CHO de 30.00% a un 21.57%.

La Máxima Densidad Seca es directamente proporcional a la adición del Mucilago de Penca de Tuna, cuando se aumenta la dosis de MPT mayor será el DMS, por tanto, al incorporar 20% de MPT en la muestra R – 01 se aumenta el

DMS de 1.415 gr/cm³ a un 1.666 gr/cm³, al incorporar un 40% de MPT en la muestra R – 02 se aumenta el DMS de 1.548 gr/cm³ a un 1.803 gr/cm³ y al incorporar un 60% de MPT en la muestra R – 03 se aumenta el DMS de 1.442 gr/cm³ a un 1.674 gr/cm³.

Ensayo de CBR del Suelo Estandar con MPT:

El propósito de esta prueba del CBR es determinar si el suelo estándar cumple con las especificaciones para su uso como capa de base cuando se adiciona Mucilago de Penca de Tuna. A continuación, se muestra los resultados del CBR para las muestras R – 01, R – 02 y R – 03 optimas que se encuentran en la prueba del Proctor Modificado.

Tabla 19. Ensayo de CBR de Suelo Estandar con MPT

	Muestra R - 01	Muestra R - 02	Muestra R - 03
Dosificación Optima	20% MPT	40% MPT	60% MPT
CBR para el 100% de M.D.S.	29.80	32.80	26.50
CBR para el 95% de M.D.S.	26.80	28.10	24.20

Fuente: Elaboración Propia

Al realizar las pruebas de CBR, se observó un efecto positivo del estabilizador en el suelo estándar, ya que la proporción CBR es directamente proporcional a la cantidad del Mucilago de Penca de Tuna. Teniendo un porcentaje inicial sin MPT de 9.20% al 95% y con MPT se obtuvo 26.80%, al 100% se tiene un porcentaje de 12.00% sin MPT y al terminar se obtiene un 29.80% con MPT en la muestra R – 01; en la muestra R – 02 se tuvo un porcentaje inicial de 9.00% al 95% sin MPT y finalizando con 28.10% con MPT, al 100% se obtuvo un porcentaje de 14.00% sin MPT y al terminar se obtiene un 32.80% con MPT y por último en la muestra R – 03 se tuvo un porcentaje inicial de 9.60% al 95% sin MPT, y finalizando con 24.20% con MPT, al 100% se tiene un porcentaje de 12.20% sin

MPT y al terminar se obtiene un 26.50% con MPT; siendo así el Mucilago de Penca de Tuna un aditivo muy bueno para la estabilización de superficie de rodadura de un suelo con propiedades arcillosas.

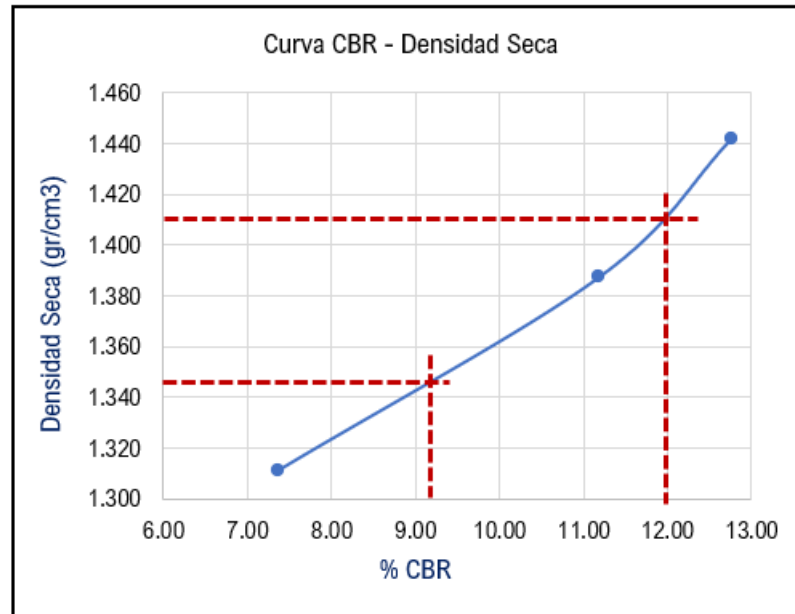


Figura 25. Curva de CBR – Densidad Seca del suelo estabilizado R – 01.

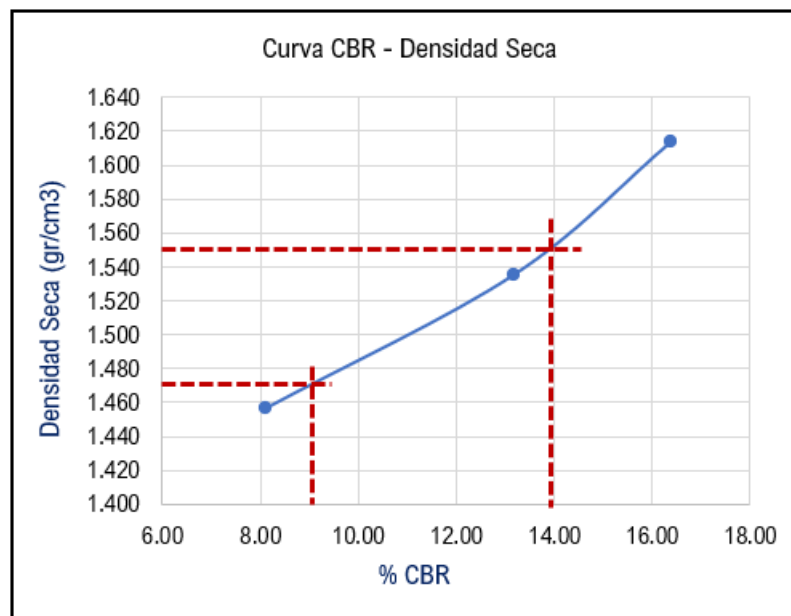


Figura 26. Curva de CBR – Densidad Seca del suelo estabilizado R – 02.

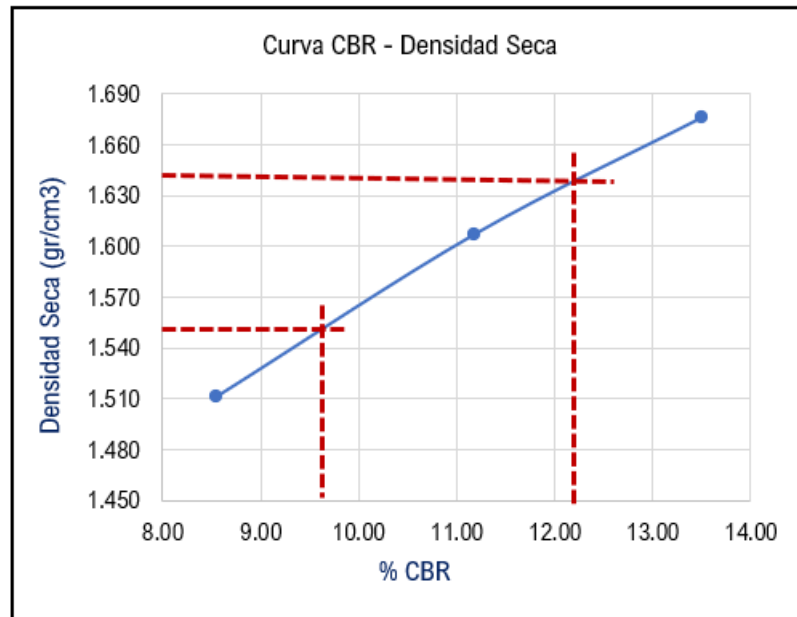


Figura 27. Curva de CBR – Densidad Seca del suelo estabilizado R – 03.

CBR – Expansión del Suelo Estandar con MPT:

Tabla 20. Resumen Comparativo de la Expansión

	MUESTRA R - 01	
	00% MPT	40% MPT
Expansión (%)	1.836% - 56 golpes 2.244% - 25 golpes 2.346% - 12 golpes	0.714% - 56 golpes 0.918% - 25 golpes 1.326% - 12 golpes
	MUESTRA R - 02	
	00% MPT	60% MPT
Expansión (%)	1.734% - 56 golpes 1.938% - 25 golpes 2.142% - 12 golpes	0.673% - 56 golpes 0.979% - 25 golpes 1.612% - 12 golpes
	MUESTRA R - 03	
	00% MPT	60% MPT
Expansión (%)	1.938% - 56 golpes 2.448% - 25 golpes 3.672% - 12 golpes	0.510% - 56 golpes 0.816% - 25 golpes 1.510% - 12 golpes

Fuente: Elaboración Propia

4.3. Prueba de hipótesis

Hipótesis General

Hi. La adición del Mucilago de Penca de Tuna mejora la resistencia de la superficie de rodadura en Pasco 2023.

Hipótesis Específicas

Hi1. La dosificación óptima del Mucilago de Penca de Tuna mejora la resistencia de la superficie de rodadura en Pasco 2023.

Hi2. Las propiedades físicas de la superficie de rodadura al adicionar Mucilago de Penca de Tuna mejoran la resistencia en Pasco 2023.

Hi3. Las propiedades químicas de la superficie de rodadura al adicionar Mucilago de Penca de Tuna mejoran la resistencia en Pasco 2023.

Hi4. Las propiedades mecánicas de la superficie de rodadura al adicionar Mucilago de Penca de Tuna mejoran la resistencia en Pasco 2023.

Luego de realizar los correspondientes ensayos sobre mecánica de suelos en el laboratorio de la Escuela de Formación profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, se procede a analizar las pruebas de hipótesis sobre los resultados obtenidos.

Contenido de Humedad:

Luego de la extracción de las muestras, se recolectaron aproximadamente 500 gramos de muestras obtenidas en condiciones naturales, y observamos que la muestra R – 01 tuvo un contenido de humedad de 34.32%, la muestra R – 02 tuvo un contenido de humedad de 33.57% y por último la muestra R – 03 tuvo un contenido de humedad de 35.22%. Al estabilizar el suelo estándar con el Mucilago de Penca de Tuna se encontró que al aumentar 40% de MPT en la muestra R – 01

redujo la humedad a 20.50%, en la muestra R - 02 con el aumento de 20% de MPT la humedad disminuyó a 20.18%, y en la muestra R – 03 con el aumento de 20% la humedad disminuyó a 20.42%. esto significa que, al aumentar el Mucilago de Penca de Tuna en diferentes proporciones, se reduce significativamente la humedad.

Análisis Granulométrico:

El tamaño de las partículas del suelo estándar es importante para saber con qué tipo de suelo se está trabajando. Al realizar este trabajo de investigación, la tasa de que pasa a través de la malla 200 de la muestra R – 01 fue de 47.55%, de manera similar el índice de paso por la malla 200 de la muestra R – 02 fue de 44.10% y finalmente fue analizado la muestra R – 03 donde la tasa que pasa a través de la malla 200 fue de 44.75%. en cuanto a la clasificación de los úselos con respecto al SUCS, las muestras R – 01, R – 02 y R – 03 contienen suelos GC, esto significa que el suelo es grava arcillosa la cual tiene una mezcla de grava, arena y arcilla. Con respecto a la clasificación AASHTO las tres muestras R – 01, R – 02 y R – 03 son de suelos del grupo A – 4 con índice de grupo (0) la cual significa que el suelo es un material limoso la cual tiene un terreno de fundición de regular a mala.

Límites de Atterberg:

De acuerdo a los resultados de las pruebas de plasticidad del suelo basadas en las tablas de plasticidad, los suelos analizados se clasifican de la siguiente manera:

El ***límite líquido*** de acuerdo al ensayo realizado en el suelo estándar la muestra R – 01 es del 20.30%, en la muestra R – 02 es de 24.60% y por último en

la muestra R – 03 es de 24.23%. Al añadir el Mucilago de Penca de Tuna al suelo, se modifica la plasticidad del mismo en forma apreciable; podemos analizar que en la muestra R – 01 el suelo estabilizado con MPT con respecto al suelo estándar incrementa el límite líquido a un 39.52% al añadirle 60% de MPT, en la muestra R – 02 el suelo estabilizado con MPT con respecto al suelo estándar incrementa el límite líquido a un 38.02% al añadirle 40% de MPT y en la muestra R – 03 el suelo estabilizado con MPT con respecto al suelo estándar incrementa el límite líquido a un 38.53% al añadirle 40% de MPT. Eso quiere decir que los mejores resultados para el límite líquido es de la muestra R – 01 por tener mayor límite líquido.

El *límite plástico* de acuerdo a los resultados de los ensayos realizados a los suelos estándar, para la muestra R – 01 es del 19.97%, para la muestra R – 02 es de 18.80% y para la muestra R – 03 es de 18.33%. Al añadir Mucilago de Penca de Tuna al suelo estándar, se modifica la plasticidad del mismo en forma apreciable; en la muestra R – 01 aumenta en 30.82% al incrementar 20% de MPT, en la muestra R – 02 aumenta en 30.68% al incrementar 40% de MPT y en la muestra R – 03 aumenta en 31.17% al incrementar 40% de MPT; entonces para la muestra R – 03 el suelo estabilizado con MPT con respecto al suelo estándar tiene el incremento más alto al aumentar un 40% MPT.

Con respecto al *índice de plasticidad* las pruebas de límites de consistencia con adición de Mucilago de Penca de Tuna mostraron resultados óptimos para un suelo GC (Gravas arcillosas, mezclas de grava – arena y arcilla) debido al IP reducido del suelo estándar. Inicialmente el IP de las muestras tiene un promedio de 5.77%, sin embargo, al agregar una mayor proporción de MPT se pudo confirmar un aumento en el IP del suelo estándar, ya que efectivamente al adicionar

en un 60% de MPT en la muestra R – 01 aumenta significativamente el IP de 5.60% a 11.75%, al adicionar en un 40% de MPT en la muestra R – 02 aumenta significativamente el IP de 5.81% a 7.34% y al adicionar en un 60% de MPT en la muestra R – 03 aumenta significativamente el IP de 5.90% a 9.49%; mejorando así las propiedades mecánicas y químicas de los suelos tipo GC, teniendo así una plasticidad media.

Ensayo de Proctor Modificado:

El objetivo de esta prueba es determinar el contenido de humedad óptima requerido por el material para lograr el peso específico máximo. Para la muestra R – 01 la densidad seca máxima alcanzada es de 1.416 gr/cm² con un contenido de humedad optima de 32.35%, mientras que en la muestra R – 02 se logra la densidad seca máxima de 1.548 gr/cm³ con un contenido de humedad mínimo de 26.25 y en la muestra R – 03 la densidad seca máxima es fue de 1.442 gr/cm³ con una humedad optima de 30.00%. Al añadir Mucilago de Penca de Tuna al suelo estándar para estabilizarlo llegamos analizar que para la muestra R – 01 la dosificación 40% de MPT es la aceptable ya que la densidad máxima alcanzada fue de 1.666 gr/cm³ con una humedad optima de 21.72%, en la muestra R – 02 la dosificación 60% de MPT es la aceptable ya que la densidad máxima alcanzada fue de 1.803 gr/cm³ con una humedad optima de 17.76% y en la muestra R – 03 la dosificación 60% de MPT es la aceptable ya que la densidad máxima alcanzada fue de 1.674 gr/cm³ con una humedad optima de 21.57%. Concluimos que en las tres muestras hay un incremento de la densidad seca máxima aceptable.

Ensayo de CBR:

Esta prueba es la más importante, porque con esta prueba se determinó la proporción del Mucilago de Penca de Tuna para aumentar la tolerancia permitida del suelo probado. Para ello se tomaron en consideración las dosificaciones optimas halladas en el proctor modificado y se prepararon las muestras de suelo con MPT obteniéndose los siguientes resultados: Para la muestra R – 01 el valor CBR cambia proporcionalmente con el aumento de 40% de MPT teniendo así un CBR para el 100% de la MDS de 29.80% eso quiere decir que hay un aumento significativo con respecto al CBR del suelo estándar, para la muestra R – 02 el valor CBR cambia proporcionalmente con el aumento de 60% teniendo así un CBR para el 100% de la MDS de 32.80% también aumento significativamente con respecto al CBR del suelo estándar la cual es superior a la muestra R – 01 y por último en la muestra R – 3 el valor CBR cambia proporcionalmente con el aumento de 60% teniendo así un CBR para el 100% de la MDS de 26.50% aumentando significativamente con respecto al CBR del suelo estándar. Tenemos que tener en consideración que estos resultados son buenos para la estabilización de la superficie de rodadura de un suelo con propiedades arcillosas.

4.4. Discusión de resultados

(Mendizabal Hobispo, 2018), en su tesis “**Adición del mucilago de penca de tuna para estabilizar suelo arcilloso, Chilca**” se añadió Mucilago de Penca de Tuna al suelo arcilloso en proporciones del 25%, 50% y 75%, lo que resulto en un índice de plasticidad inicial del 22.78% y al incluir estos porcentajes los resultados fueron 19.41%, 18.28% y 18.12% donde al aumentar la cantidad del Mucilago de Penca de Tuna disminuyo el índice de plasticidad, pero aumenta el límite liquido de la muestra. En nuestra investigación se obtuvo resultados mayores al

incrementar el Mucilago de Penca de Tuna, al agregar una mayor proporción de MPT se pudo confirmar un aumento en el IP del suelo estándar, ya que efectivamente al adicionar en un 60% de MPT en la muestra R – 01 aumenta significativamente el IP de 5.60% a 11.75%, al adicionar en un 40% de MPT en la muestra R – 02 aumenta significativamente el IP de 5.81% a 7.34% y al adicionar en un 60% de MPT en la muestra R – 03 aumenta significativamente el IP de 5.90% a 9.49%; mejorando así las propiedades mecánicas y químicas de los suelos tipo GC, teniendo así una plasticidad media.

En la tesis **“Efecto de la adición de mucilago de nopal para estabilización de suelo arcilloso en la zona de Shecta Independencia - Huaraz Ancash”** de (León Trejo, 2021) indica que el suelo de la zona estudiada es 91.3% de limo y arcilla y el IP es 12.40%. esto significa que el suelo extraído del área estudiada tiene una plasticidad moderada y también se considera suelo arcillo según el sistema de clasificación de suelos AASHTO, está clasificado como suelo tipo A – 6 (9), y según el sistema de clasificación de suelos SUCS este suelo es CL y se considera como una arcilla de baja plasticidad. La densidad seca máxima alcanza un valor de 1.949 gr/cm³ y la OCH es del 11.8%. para los 56, 25 y 12 golpes la expansión cambia gradualmente de 1.52%, 1.69% y 1.86%, mostrando finalmente las propiedades mecánicas más importantes del suelo. Esto tiene un valor CBR del 8.03% dichas características halladas del suelo estudiado son consistentes con el Manual de Carreteras del MTC, que define este suelo como un lecho de carretera normal. Adecuado como material base. Estos resultados nos permiten aceptar la hipótesis de que las propiedades físicas y mecánicas del suelo en el área de estudio son adecuadas para su uso como subrasante. En nuestro caso el suelo en estudio es de tipo arcilloso ya que en la clasificación ASSHTO es un suelo tipo A – 4 (0) y

según el sistema de clasificación SUCS como suelo GC y se considera una arcilla de baja plasticidad. Los resultados también muestran que las densidades secas máximas de las tres muestras están entre 1.4 gr/cm³ y 1.6 gr/cm³, de los cuales el contenido de humedad óptimo está entre 25% y 34%. Y al realizar la prueba del CBR se observó un efecto positivo del estabilizador en el suelo estándar, ya que la proporción CBR es directamente proporcional a la cantidad del Mucilago de Penca de Tuna. Teniendo un porcentaje inicial de 9.20% al 95% y finalizando con 26.80%, al 100% se tiene un porcentaje de 12.00% y al terminar se obtiene un 29.80% en la muestra R – 01; en la muestra R – 02 se tuvo un porcentaje inicial de 9.00% al 95% y finalizando con 28.10%, al 100% se tiene un porcentaje de 14.00% y al terminar se obtiene un 32.80% y por último en la muestra R – 03 se tuvo un porcentaje inicial de 9.60% al 95%, y finalizando con 24.30%, al 100% se tiene un porcentaje de 12.20% y al terminar se obtiene un 26.50%; siendo así el Mucilago de Penca de Tuna un aditivo muy bueno para la estabilización de la superficie de rodadura de un suelo con propiedades arcillosas.

(Veliz Hidalgo, 2023) en su tesis **“Estabilización de suelos con adición de mucilago de linaza a nivel subrasante de una trocha carrozable Pilcomayo, Huancayo 2023”** se evaluó la aplicación de mucilago de linaza para mejorar las propiedades del suelo arenoso limoso en la subrasante. Ventajosamente, se consiguieron resultados muy eficaces respecto a la adición, mejorando el aumento máximo de densidad seca y la reducción óptima del contenido de agua. También se pudo aumentar la resistencia del suelo. Se ha demostrado que la adición de mucilago de linaza mejora la densidad seca máxima del firme de las rutas transitables del Pilcomayo. Según los resultados obtenidos en suelo natural, la densidad seca máxima es de 2.040 gr/cm³, que aumenta respecto a otras

proporciones de mucilago de linaza añadido, con un 55% de mucilago de linaza añadida el resultado es de 2.102 gr/cm³, pero con la adición con un 80% de mucilago de linaza este resultado baja a 2.050 gr/cm³. Es por esto que la mejora del sustrato está relacionada con el porcentaje propuesto y por lo tanto está probada. En esta investigación se llegó a concluir que el suelo estudiado tiene un MDS en la muestra R – 01 es de 1.415 gr/cm³, pero al aumentar el 40% de MPT aumenta a 1.666 gr/cm³, en el suelo de la muestra R – 02 el MDS es de 1.548 gr/cm³ pero al aumentar 60% de MPT aumenta a 1.803 gr/cm³ y en la muestra R – 03 el MDS es de 1.442 gr/cm³, pero al aumentar 60% de MPT aumenta a 1.674 gr/cm³. Además, en la tesis de Velis la adición de mucilago de linaza en la prueba de contenido de humedad óptima demostró parcialmente que el contenido de humedad natural óptimo del suelo era del 8.30%, y la adición de mucilago de linaza al 55% redujo el contenido de humedad óptimo es de 7.30%, lo que permite reducir la humedad del suelo en términos de porcentajes recomendados para que se pueda realizar un buen mejoramiento del subsuelo de forma empírica. En nuestro caso el Contenido de Humedad Óptimo a ser inversamente proporcional al adicionar el Mucilago de Penca de Tuna, infiere a que más se adiciona el polímero, menor será el CHO, por tanto, al incorporar un 40% de MPT en la muestra R – 01 se reduce el CHO de 32.35% a un 21.72%, al incorporar un 60% de MPT en la muestra R – 02 se reduce el CHO de 26.25% a un 17.76% y al incorporar un 60% de MPT en la muestra R – 03 se reduce el CHO de 30.00% a un 21.57%.

CONCLUSIONES

- Se utilizaron tres porcentajes (20%, 40% y 60%) de Mucilago de Penca de Tuna, reemplazando la proporción de agua para el proctor estándar con la adición del Mucilago de Penca de Tuna, pero para el CBR se tuvo una suplementación con Mucilago de Penca de Tuna óptima de 40% para la muestra R – 01, 60% para la muestra R – 02 y 60% para la muestra R – 03, debido a medidas presupuestarias de laboratorio. Para el CBR con Mucilago de Penca de Tuna agregado, la curva de CBR del suelo se muestra considerablemente debido que se reduce la humedad, por lo tanto, hay una resistencia para penetración.
- El uso de Mucilago de Penca de Tuna ha sido evaluado para mejorar las propiedades del suelo arcilloso en el Jr. 15 de mayo del AA. HH. Tupac Amaru, obteniendo resultados positivos en sus propiedades con la adición de diferentes proporciones de Mucilago de Penca de Tuna, hubo una mejora en el incremento del índice de plasticidad dentro de los límites de Atterberg, el contenido de humedad también disminuyó en las tres pruebas. Finalmente, es posible aumentar la resistencia del suelo, catalogándolo como muy buen suelo para subrasantes.
- El índice inicial en la muestra R – 01 fue de 5.60% pero al aumentar 60% de MPT se obtuvo 11.75%, en la muestra R – 02 fue de 5.81% pero al aumentar 40% de MPT se obtuvo 7.34%, en la muestra R – 03 fue de 5.90% pero al aumentar 60% de MPT se obtuvo 9.49%. Se concluye que al adicionar más Mucilago de Penca de Tuna aumenta el índice de plasticidad, lo cual queda comprobada.
- El contenido de humedad inicial en la muestra R – 01 fue de 32.35% pero al aumentar 40% de MPT disminuye en 21.72%, en la muestra R – 02 fue de 26.25% pero al aumentar 60% de MPT disminuye en 17.76% y en la muestra R – 03 fue de 30.00% pero al aumentar 60% de MPT disminuye en 21.57%. los porcentajes óptimos del Mucilago de Penca de Tuna se

obtuvieron en las pruebas de Proctor Modificado, ya que los porcentajes redujeron el contenido de humedad. Se concluye que las adiciones propuestas de 20%, 40% y 60% de MPT tuvieron efectos esperados positivos.

- La resistencia inicial de la muestra R – 01 tuvo un CBR al 95% de 9.20% pero al incrementar 40% de MPT llego a 26.80%, para la muestra R – 02 tuvo un CBR al 95% inicial de 9.00% pero al incrementar 60% de MPT llego a 28.10%, para la muestra R – 03 tuvo un CBR al 95% inicial de 9.60% pero al incrementar 60% de MPT llego a 24.30%. Se determinó la dependencia de la proporción de MPT en la prueba de CBR, influye en el aumento de la resistencia de la superficie de rodadura, ya que con la adición de la proporción de 40% en la muestra R – 01 aumentamos la resistencia a 29.80% al 100%, en la muestra R – 02 aumentamos la resistencia a 32.80% al 100%, y en la muestra R – 03 aumentamos la resistencia a 26.50% al 100%. Se concluyo que al agregar mayor proporción de MPT se obtuvieron resultados positivos, lo cual quedo comprobado.
- Las propiedades físicas y mecánicas del suelo del Jr. 15 de mayo del AA. HH. Tupac Amaru, al agregar el Mucilago de Penca de Tuna mejoraron su dosificación, por lo que es apto para su uso como subrasante según el Manual de Carreteras del MTC. La adición del Mucilago de Penca de Tuna en el suelo en su dosificación estabiliza el suelo arcilloso en la zona de estudio, por lo tanto, el suelo es aceptable para ser utilizado como subrasante según el Manual de Carreteras.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar más ensayos con diferentes porcentajes, adicionando el Mucilago de Penca de Tuna en el reemplazo del porcentaje de agua para una buena estabilización de suelo.
- Se recomienda ampliar los trabajos de investigación realizando ensayos con más dosificaciones de Mucilago de Penca de Tuna, elevando porcentajes que resulten beneficiosos para la estabilización según los antecedentes.
- Investigar sobre el uso del Mucilago de Penca de Tuna para diferentes tipos de suelos, en proporciones mayores que permitan cambios mayores en algunas propiedades como es la trabajabilidad.
- Se recomienda usar el contenido de humedad óptima en lugar de la humedad natural del suelo para determinar el índice de CBR, ya que se al usar la humedad optima se logra incrementar el CBR de mejor manera.
- Se recomienda seguir estudiando las propiedades del Mucilago de Penca de Tuna porque también proporciona una óptima perdida de humedad. En este estudio se añadió 20%, 40% y 60% de MPT, lo que resulto en una disminución del contenido de humedad optimo debido al uso recomendado de esta proporción; se dio buenos resultados a la hora de reducir la humedad.
- Se recomienda especial cuidado al realizar la mezcla de suelo con el Mucilago de Penca de Tuna, para lograr una buena afinidad de ambos materiales, y con ello tener mejores resultados de los ensayos.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM: D1557 - 78. (2000). Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada. Perú.
- Aulacarreteras. (2021). Ensayo Proctor Normal y Proctor Modificado—Blog de Aulacarreteras. Aulacarreteras. <https://www.aulacarreteras.com/ensayo-proctor/>
- Castro Márquez, F. (2016). Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos – SaberMetodología. <https://sabermetodologia.wordpress.com/2016/02/15/tecnicas-e-instrumentos-de-recoleccion-de-datos/>.
- Espinosa López, F., Flores Suchil, M. F., Rampírez Pérez, F., Ramírez Morales, M., Ocádiz Salazar, V. H., & Chávez Miyauchi, T. E. (2018). Evaluación de Mucílago de Nopal (Opuntia ficus-indica) y de Maguey (Agave salmiana) en Formulaciones Espumantes para Remoción de Hidrocarburos en Suelos Contaminados. México.
- Estabilización de suelos. (s. f.). Estabilización de suelos para pavimentos.
- Estabilización mecánica. (s. f.). Estabilización mecánica.
- Floréz - Góngora, C. H., Garzón - Peña, A. T., & Molina - Giraldo, R. D. (2020). Testing stabilization of high-plasticity clays used in sloping terrain by adding sodium silicate.
- Gómez, G., Bastidas Martínez, J. G., & Ruge Cárdenas, J. C. (2019). Estabilización de suelos con cal y cenizas volantes Estabilización de suelos con cal y ceniza volante. <https://www.semanticscholar.org/paper/Soil-stabilization-with-lime-and-fly-ash-de-suelos-Gom%C3%A9z-Mart%C3%ADnez/6322b28dd86f8d9368d94538ee65e4e70cb3fd61>.
- Huamán Oré, L. S. (2020). Estabilización de suelos arcillosos con mucilago de penca de tuna y ceniza de madera, en la carretera Cangari, Ayacucho,2020. Lima - Perú.

- InfoAgro. (s. f.). Importante información acerca de los tipos de suelo—Revista InfoAgro México. <https://mexico.infoagro.com/importante-informacion-acerca-de-los-tipos-de-suelo/>.
- José Pineda, encolombia. (s. f.). Qué son los Suelos Arcillosos, Características y Componentes. <https://encolombia.com/economia/agroindustria/agronomia/suelos-arcillosos/>.
- León Trejo, P. A. (2021). Efecto de la adición de mucilago de nopal para estabilización de suelo arcilloso en la zona de Shecta Independencia—Huaraz Ancash. Chimbote - Perú.
- Mendizabal Hobispo, K. R. (2018). Adición del mucílago de penca de tuna para estabilizar suelo arcilloso, Chilca. Huancayo - Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). MANUAL DE CARRETERAS: Suelo geología, geotecnia y pavimentos. Perú.
- Montejo Fonseca, A. (2002). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. Colombia.
- Naghi Namakforoosh, M. (2005). Metodología de la investigación—Mohammad Naghi Namakforoosh—Google Libros. <https://books.google.com.pe/books?id=ZEJ7-0hmvhWC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>.
- Normas ISO. (2010). Guia_Breve_ISO690-2010.pdf.
- Orozco Silvas, E. (2017). Elaboración y caracterización de películas de mucilago de nopal—Pectina: Efecto de la concentración del mucílago de nopal en las propiedades fisicoquímicas y mecánicas. México.
- Pedro Luis López. (2004). Población, Muestra y Muestreo. Perú.
- Rivera, J. F., Aguirre-Guerrero, A., Mejía De Gutiérrez, R., & Orobio, A. (2020). Estabilización química de suelos—Materiales convencionales y activados alcalinamente (revisión).

- Terradas Batlle, X. (1995). El tratamiento estadístico de los datos. Barcelona - España.
- Valle Areas, W. A. (2010). Estabilización de suelos arcillosos plásticos con mineralizadores en ambientes sulfatados o yesíferos. Madrid - España.
- Veliz Hidalgo, L. B. (2023). Estabilización de suelos con adición de mucilago de linaza a nivel subrasante de una trocha carrozable Pilcomayo, Huancayo 2023. Lima - Perú.
- Viceministerio del Gobernanza Territorial. (2017). Pasco Información Territorial del Departamento Pasco. Perú.
- Yepes Piqueras, V. (2014). La estabilización de suelos – El blog de Víctor Yepes. <https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/01/23/la-estabilizacion-de-suelos/>.

ANEXOS

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ENSAYOS EN LABORATORIOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: “Mejora de la resistencia a la superficie de rodadura mediante la adición del Mucílago de Penca de Tuna, Pasco 2023”

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables e Indicadores	Metodología
<p>Problema General:</p> <p>¿Cuál es la influencia del Mucilago de Penca de Tuna para mejorar la resistencia de la superficie de rodadura en Pasco 2023?</p> <p>Problema Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ ¿Cuál es la dosificación óptima del Mucilago de Penca de Tuna para la mejora de la resistencia de la superficie de rodadura en Pasco 2023? ✓ ¿Cuáles son las propiedades físicas de la superficie de rodadura al adicionar Mucilago de Penca de Tuna para la mejora de la resistencia en Pasco 2023? ✓ ¿Cuáles son las propiedades químicas de la superficie de rodadura al adicionar Mucilago de Penca de Tuna para la 	<p>Objetivo General:</p> <p>Mejorar la resistencia de la superficie de rodadura mediante la adición del Mucilago de Penca de Tuna en Pasco 2023.</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Calcular la dosificación óptima del Mucilago de Penca de Tuna para la mejora de la resistencia de la superficie de rodadura en Pasco 2023. ✓ Determinar las propiedades físicas de la superficie de rodadura al adicionar Mucilago de Penca de Tuna para la mejora de la resistencia en Pasco 2023. ✓ Determinar las propiedades químicas de la superficie de rodadura al adicionar Mucilago de Penca de Tuna para la 	<p>Hipótesis General:</p> <p>La adición del Mucilago de Penca de Tuna mejorará la resistencia de la superficie de rodadura en Pasco 2023.</p> <p>Hipótesis Específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ La dosificación óptima del Mucilago de Penca de Tuna mejorará la resistencia de la superficie de rodadura en Pasco 2023. ✓ Las propiedades físicas de la superficie de rodadura al adicionar Mucilago de Penca de Tuna mejorarán la resistencia en Pasco 2023. ✓ Las propiedades químicas de la superficie de rodadura al adicionar Mucilago de Penca de Tuna mejorarán la resistencia en Pasco 2023. 	<p>Variables Independientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Mucilago de Penca de Tuna <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Porcentajes de 20%, 40% y 60% de Mucílago de Penca de Tuna. <p>Variables Dependientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Mejoramiento de la superficie de rodadura. <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Análisis granulométrico, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad. ✓ Humedad óptima y densidad seca. ✓ Capacidad de soporte. 	<p>Tipo de Investigación:</p> <p>El tipo de investigación es aplicada ya que nos ayudó a conocer la posibilidad de mejorar las propiedades del suelo gracias a los aportes de varios sujetos de investigación.</p> <p>Métodos de Investigación:</p> <p>La investigación se realizará utilizando el método científico, que es el arte de hacer preguntas y probar las respuestas.</p> <p>Diseños de Investigación:</p> <p>Es cuasiexperimental porque el investigador puede manipular las variables del estudio.</p> <p>Población y Muestra:</p> <p>Población:</p> <p>La población es la región de Pasco, específicamente en el Asentamiento Humano Tupac Amaru sector 3, en el Jirón 15 de mayo; las calicatas obtenidas</p>

<p>mejora de la resistencia en Pasco 2023?</p> <p>✓ ¿Cuáles son las propiedades mecánicas de la superficie de rodadura al adicionar Mucilago de Penca de Tuna para la mejora de la resistencia en Pasco 2023?</p>	<p>mejora de la resistencia en Pasco 2023.</p> <p>✓ Determinar las propiedades mecánicas de la superficie de rodadura al adicionar Mucilago de Penca de Tuna para la mejora de la resistencia en Pasco 2023.</p>	<p>✓ Las propiedades mecánicas de la superficie de rodadura al adicionar Mucilago de Penca de Tuna mejorarán la resistencia en Pasco 2023.</p>		<p>también son tomados en cuenta para realizar las pruebas que requiere la región Pasco.</p> <p>Muestra:</p> <p>En nuestro estudio se tomaron muestras del Jirón 15 de mayo, donde realizamos tres calicatas en las zonas más importantes del suelo, la cual se excavaron a 1.50metros de profundidad.</p>
---	--	--	--	---

Fuente: Elaboración Propia.



Imagen 1. Eliminación de espinas de la penca de tuna.



Imagen 2. Cortado en trozos y sumergido en agua para la maceración de la penca de tuna.



Imagen 3. Llenamos en frascos una vez macerado por 18 días el mucilago de la penca de tuna.



Imagen 4. Presentación del mucilago de la penca de tuna para su próximo ensayo.



Imagen 5. Muestras del material extraídas de las calicatas en el área del proyecto a investigar R - 01, R - 02 y R - 03.



Imagen 6. Material listo para ser ensayadas en el laboratorio de la escuela de ingeniería civil.



Imagen 7. Separación de partículas del material que esta unidas entre si con un martillo de hule.



Imagen 8. Pesamos el material en una balanza calibrada a 1g de precisión.



Imagen 9. Empezamos a colocar el material en los tamices.



Imagen 10. Llevamos el material al agitador mecánico para evaluar su granulometría por tamizado.



Imagen 11. Mesclamos el material que paso por el tamiz N° 40 con agua y adicionamos mucilago de penca de tuna para realizar el límite líquido.



Imagen 12. Hacemos el uso de la cazuela de casa grande para determinar el límite líquido.



Cerro De Pasco

Imagen 13. Llenamos una porción de la muestra al recipiente pequeño de forma cilíndrica y lo llevamos al horno por 24 horas.



Imagen 14. Mesclamos 20 g de material con agua y lo amasamos para realizar rollitos de aproximadamente 3mm de diámetro para determinar el límite plástico.



Imagen 15. Sacamos la muestra de esos rollitos de 3mm de diámetro al recipiente pequeño de forma cilíndrica.



Imagen 16. llevamos al horno por 24 horas.



Imagen 17. Realizamos los pesos del material menores al tamiz 3/4".



Imagen 18. Realizamos el peso del agua y también el peso del mucilago de la penca de tuna.



Imagen 19. Realizamos la dosificación del material + agua + la adición del mucilago de la penca de tuna en un 20% ,40% y 60 %.



Imagen 20. Realizamos la mezcla uniforme para hacer el ensayo del Proctor modificado.



Imagen 21. Ensayo del Proctor modificado – compactación en 5 capas a cada 25 golpes.



Imagen 22. Realizamos el ensayo de CBR (Relación de Soporte California) 5 capas a cada 56 golpes.



Imagen 23. Pasamos A Remojar Lo Ensayado Con Un Animetro de Expansión.



Imagen 24. Realizamos Ensayo de Relación de soporte de California CBR-Expansión.



Imagen 25. Realizando el ensayo con la prensa CBR (relación de soporte californiana) -penetración.



Imagen 26. Finalmente analizamos con la prensa CBR los cálculos de los discos.