

**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**ADICIÓN DEL MUCÍLAGO DE PENCA DE TUNA PARA  
ESTABILIZAR SUELO ARCILLOSO, CHILCA**

Líneas de investigación: Transporte y Urbanismo

**PRESENTADO POR:**

**BACH. KATHERYN ROXANA MENDIZABAL HOBISPO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERA CIVIL**

**HUANCAYO – PERÚ**

**2018**

M. Sc. Cano Camayo, Tiber Joel

*Asesor Metodológico*

Ing. Flores Espinoza, Carlos

*Asesor Temático*

### **Dedicatoria**

*A Dios, por haberme dado salud, además de su infinita bondad y amor.*

*A mi mamita Tereza, quien con su amor y esfuerzo me ha permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, y por su apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.*

*A mis papitos Rosa y Andrés, quienes, con su amor incondicional y sus consejos me han guiado y apoyado en todo momento, además por confiar y creer en mí siempre.*

### ***Agradecimientos***

*A toda mi familia, por su apoyo, sus consejos y palabras de aliento.*

*A mi hermanita Antuaneth, por su cariño y apoyo durante todo este proceso.*

*A mi tía Elsa que desde el cielo me guía.*

*A los catedráticos por impartir sus conocimientos y brindarme sus experiencias profesionales.*

*A mis asesores por la orientación y ayuda brindada para la realización de esta tesis.*

*A todas las personas que fueron parte fundamental para el desarrollo de ésta tesis.*

**HOJA DE CONFORMIDAD DE JURADOS**

---

**Dr. Casio Aurelio Torres López**

Presidente

---

**Ing. Justo Claudio Rodas Romero**

Jurado

---

**Ing. Nataly Lucia Córdova Zorrilla**

Jurado

---

**Ing. Carlos Alberto Jesús Sedano**

Jurado

---

**Mg. Miguel Ángel Carlos Canales**

Secretario Docente

## **ÍNDICE**

ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS .....	xi
RESUMEN .....	xii

ABSTRACT .....	xiv
INTRODUCCION .....	xiv
CAPITULO I:EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	1
1.1. Planteamiento del Problema .....	1
1.2. Formulación y sistematización del Problema .....	2
1.2.1. Problema General .....	2
1.2.2. Problemas Específicos .....	2
1.3. Justificación .....	2
1.3.1. Social.....	2
1.3.2. Metodológica .....	3
1.4. Delimitaciones.....	3
1.4.1. Espacial.....	3
1.4.2. Temporal .....	3
1.5. Limitaciones .....	4
1.5.1. Económica.....	4
1.6. Objetivos .....	4
1.6.1. Objetivo General.....	4
1.6.2. Objetivos Específicos .....	4
CAPITULO II:MARCO TEÓRICO.....	5
Historia.....	5
2.1. Antecedentes de a investigación .....	6
2.2. Marco conceptual.....	7
2.3. Definición de términos.....	9
2.4. Hipótesis .....	12
2.4.1. Hipótesis General.....	12
2.4.2. Hipótesis Específicas.....	12
2.5. Variables .....	13
2.5.1. Definición conceptual de la variable .....	13
2.5.2. Definición operacional de la variable .....	13
2.5.3. Operacionalización de las variables .....	14
CAPITULO III:METODOLOGÍA.....	15
3.1. Método de investigación .....	15
3.2. Tipo de investigación .....	15
3.3. Nivel de investigación .....	15

3.4. Diseño de la investigación .....	16
3.5. Población y muestra.....	16
3.6. Técnicas, instrumentos de recolección de datos .....	16
3.7. Procesamiento de la información.....	17
3.8. Técnicas y análisis de datos .....	17
3.9. Procedimiento de la investigación.....	17
CAPITULO IV:RESULTADOS.....	42
4.1. Resultados específicos .....	42
4.2. Resultado general.....	75
CAPITULO V:DISCUSION DE RESULTADOS.....	85
5.1. Específicos.....	85
5.2. General .....	87
CONCLUSIONES .....	88
RECOMENDACIONES .....	89
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	90
ANEXO A: MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	91
ANEXO B: PRESUPUESTO .....	93
ANEXO C: CERTIFICADOS DE LABORATORIO.....	94

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables .....	14
Tabla 2 Formato de análisis granulométrico .....	18
Tabla 3 Formato de límite líquido.....	18

Tabla 4 Formato de límite plástico .....	19
Tabla 5 Formato del ensayo proctor .....	19
Tabla 6 Formato para el ensayo CBR - Compactación .....	20
Tabla 7 Formato para el ensayo CBR - Expansión .....	20
Tabla 8 Formato para el ensayo CBR - Penetración.....	20
Tabla 9 Número de puntos de investigación .....	21
Tabla 10. Georreferenciación de la calicata.....	22
Tabla 11 Método A,B y C del Proctor modificado.....	34
Tabla 12 Análisis granulométrico del suelo del Jirón. La Unión .....	42
Tabla 13 Límite líquido del suelo del Jirón. La Unión.....	44
Tabla 14 Límite plástico del suelo del Jirón La Unión .....	45
Tabla 15 Índice de plasticidad del suelo del Jirón La Unión.....	45
Tabla 16 Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad .....	46
Tabla 17 Proctor modificado del suelo del Jirón La Unión .....	46
Tabla 18 Ensayo CBR- Compactación (Suelo del Jirón La Unión) .....	47
Tabla 19 Ensayo CBR – Expansión (Suelo del Jirón La Unión).....	48
Tabla 20 Ensayo CBR – Penetración (Suelo del Jirón La Unión) .....	48
Tabla 21 Ensayo CBR - Suelo del Jirón La Unión.....	49
Tabla 22 Categorías de sub rasante .....	50
Tabla 23 Resumen de las características físicas y mecánicas del suelo del Jirón La Unión.....	50
Tabla 24 Análisis granulométrico del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna .....	52
Tabla 25 Límite líquido del suelo adicionado con 25 % de mucílago de penca de tuna .....	53
Tabla 26 Límite plástico del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna .....	54
Tabla 27 Índice de plasticidad del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna .....	54
Tabla 28 Proctor modificado del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna .....	55
Tabla 29 Ensayo CBR - Compactación (Suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna) .....	56
Tabla 30 Ensayo CBR - Expansión (suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna) .....	57
Tabla 31 Ensayo CBR - Penetración (suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna) .....	57
Tabla 32 Ensayo CBR - Suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna .....	58
Tabla 33 Análisis granulométrico del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna .....	59
Tabla 34 Límite líquido del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna .....	60
Tabla 35 Límite plástico del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna .....	61
Tabla 36 Índice de plasticidad del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna .....	62
Tabla 37 Proctor modificado del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna .....	63



Tabla 38 Ensayo CBR - Compactación (Suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna) .....	64
Tabla 39 Ensayo CBR - Expansión (suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna) .....	64
Tabla 40 Ensayo CBR - Penetración (suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna) .....	65
Tabla 41 Ensayo CBR - Suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna .....	65
Tabla 42 Análisis granulométrico del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna .....	66
Tabla 43 Límite líquido del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna .....	68
Tabla 44 Límite plástico del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna .....	69
Tabla 45 Índice de plasticidad del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna .....	69
Tabla 46 Proctor modificado del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna .....	70
Tabla 47 Ensayo CBR - Compactación (Suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna) .....	71
Tabla 48 Ensayo CBR - Expansión (suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna) .....	71
Tabla 49 Ensayo CBR - Penetración (suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna) .....	72
Tabla 50 Ensayo CBR - Suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna .....	72
Tabla 51 Resumen de las características físicas y mecánicas de los suelos adicionados con mucílago de penca de tuna y agua .....	73
Tabla 52 Comparación de características para la sub rasante .....	74
Tabla 53 Comparación de granulometría .....	76
Tabla 54 Comparación de límite líquido .....	77
Tabla 55 Comparación de límite plástico .....	78
Tabla 56 Comparación de índice de plasticidad.....	79
Tabla 57 Comparación del proctor modificado Óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca) .....	80
Tabla 58 Comparación de la Expansión .....	81
Tabla 59 Comparación de CBR .....	82
Tabla 60 Resumen de las características físicas y mecánicas del suelo del Jirón La Unión y adicionado con mucílago de penca de tuna .....	83

## **INDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Ubicación de calicata. Fuente: Plano vial urbano distrital de Chilca-Huancayo 2015-2020 .....	21
Figura 2. Excavación de la calicata .....	22
Figura 3. Identificación de la calicata .....	23

Figura 4. Extracción de la penca de tuna.....	24
Figura 5. Eliminación de espinas de la penca de tuna .....	24
Figura 6. Limpieza de la penca de tuna .....	25
Figura 7. Cortado de la penca de tuna.....	25
Figura 8. Sumergido de trozos de penca de tuna .....	26
Figura 9. Cuarteo de la muestra.....	28
Figura 10. Análisis granulométrico .....	28
Figura 11. Ensayo del límite líquido con el penetrómetro cónico .....	30
Figura 12. Secado de la muestra en el horno .....	30
Figura 13. Ensayo del límite plástico.....	33
Figura 14. Ensayo de proctor -preparación del espécimen.....	36
Figura 15. Ensayo de proctor - compactación.....	36
Figura 16. Ensayo de Relación de soporte California CBR- Penetración .....	40
Figura 17. Ensayo de Relación de soporte de California CBR- Expansión.....	40
Figura 18. Caracterización física y mecánica del suelo con adición de mucílago de penca de tuna .....	41
Figura 19. Procesamiento de datos .....	41
Figura 20. Curva granulométrica del suelo del Jirón La Unión.....	43
Figura 21. Curva de fluidez del suelo del Jirón. La Unión .....	44
Figura 22. Curva de compactación del suelo del Jirón La Unión .....	47
Figura 23. Curva de C.B.R. del suelo del Jirón La Unión.....	49
Figura 24. Curva granulométrica del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna .....	52
Figura 25. Curva de fluidez del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna .....	53
Figura 26. Curva de compactación del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna .....	56
Figura 27. Curva de C.B.R. del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna .....	58
Figura 28. Curva granulométrica del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna .....	60
Figura 29. Curva de fluidez del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna .....	61
Figura 30. Curva de compactación del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna .....	63
Figura 31. Curva de C.B.R. del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna .....	65
Figura 32. Curva granulométrica del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna .....	67
Figura 33. Curva de fluidez del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna .....	68
Figura 34. Curva de compactación del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna .....	70
Figura 35. Curva de C.B.R del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna .....	72
Figura 36. Comparación de características importantes para la sub rasante ..	75
Figura 37. Comparación de curva granulométrica .....	76
Figura 38. Comparación de límite líquido.....	77
Figura 39. Comparación de límite plástico .....	78

Figura 40. Comparación de índice de plasticidad .....	79
Figura 41. Comparación del proctor modificado (Óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca) .....	80
Figura 42. Comparación de la Expansión .....	81
Figura 43. Comparación de CBR .....	82

## **ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS**

**AASHTO** : La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes o American Association of State Highway and Transportation Officials

<b>ASTM</b>	: Sociedad Americana para Ensayos y Materiales o American Society for Testing and Materials
<b>BS</b>	: Normas británicas o British Standards
<b>CBR</b>	: Relación de soporte California – California Bearing Ratio
<b>IP</b>	: Índice de plasticidad
<b>LL</b>	: Límite líquido
<b>LP</b>	: Límite plástico
<b>MDS</b>	: Máxima densidad seca
<b>MTC</b>	: Ministerio de transportes y comunicaciones
<b>NTP</b>	: Norma Técnica Peruana
<b>OCH</b>	: Óptimo contenido de humedad
<b>SUCS</b>	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS Unified Soil Classification System

## **RESUMEN**

Los suelos del distrito de Chilca presentan alto contenido de arcilla, generando dificultad al diseñar y construir vías, por lo que requiere su estabilización. Por ello el problema de investigación es: ¿Cuáles serán los efectos en la sub rasante por la adición del mucílago de penca de tuna para la estabilización del suelo arcilloso en el Jirón La Unión, Chilca, Huancayo,2018?, y el objetivo general es: Determinar los efectos en la sub rasante por la adición del mucílago de penca de tuna para la estabilización del suelo, y la hipótesis que debe contrastarse es: Los efectos en la sub rasante por la adición del mucílago de penca de tuna para la estabilización del suelo arcilloso, serán aceptables por el Manual de Carreteras.

El método de investigación es el método científico, el tipo de investigación es aplicada, el nivel es descriptivo - explicativo, el diseño es experimental. La población es el Jirón La Unión del distrito de Chilca, provincia de Huancayo conformado por once cuadras, la muestra no probabilística es la cuadra 10 y 11 del Jirón de la Unión.

La conclusión es que la adición de mucílago de penca de tuna en el suelo en sus distintas dosificaciones estabiliza el suelo arcilloso en el Jirón La Unión, por lo tanto, el suelo es aceptable para ser utilizado como sub rasante según el Manual de Carreteras.

**Palabras claves:** Estabilización de suelos, sub rasante, mucílago de penca de tuna.

## **ABSTRACT**

The soils of the district of Chilca have a high content of clay, generating difficulty when designing and constructing roads, which requires their stabilization. Therefore, the research problem is: What will be the effects in the subgrade by the addition of the prickly pear mucilage for the stabilization of the clayey soil in the Jiron La Union, Chilca, Huancayo, 2018 ?, and the general objective is : Determine the effects on the subgrade by the addition of the prickly pear mucilage for soil stabilization, and the hypothesis that should be contrasted is: The effects on the subgrade by the addition of the prickly pear mucilage for the stabilization of the clayey soil, will be acceptable by the Highway Manual.

The research method is the scientific method, the type of research is applied, the level is explanatory - descriptive, the design is experimental. The population is the Jiron Union of the district of Chilca, province of Huancayo consisting of eleven blocks, the non-probabilistic sample is block 10 and 11 of Jiron de la Union.

The conclusion is that the addition of prickly pear mucilage in the soil in its different dosages stabilizes the clay soil in the Jiron La Union, therefore, the soil is acceptable to be used as subgrade according to the Highway Manual.

Keywords: Stabilization of soils, subgrade, mucilage of penca de tuna.

## **INTRODUCCION**

Una necesidad de todas las poblaciones, tanto urbana como rural, son las vías de transporte terrestre en buen estado, que mejoren la calidad de vida de los habitantes. El desempeño de las carreteras depende de un adecuado diseño de la estructura de pavimento, considerando factores básicos como el tráfico, las características de los suelos de la sub rasante, la calidad de los materiales de las capas y el clima.

El material usado para sub rasante debe cumplir estándares normados para asegurar la estabilidad y durabilidad que garantice el comportamiento de la estructura del pavimento. Por ello, en la presente investigación se estudió un nuevo método de estabilización con mucilago de penca de tuna.

La investigación presenta cinco capítulos:

En el capítulo I se realiza el Planteamiento del problema donde se realiza la formulación del problema, justificación, delimitaciones, limitaciones y objetivos.

En el capítulo II denominado Marco teórico se describe los antecedentes internacionales y nacionales, marco conceptual y definición de términos.

En el capítulo III denominado Metodología, se detalla el método, tipo, nivel, diseño de la investigación, también se detalla la población, la muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de datos, las técnicas de análisis de datos y el procedimiento de la investigación.

En el capítulo IV denominado Resultados, se muestran todos los resultados obtenidos para alcanzar los objetivos planteados en la investigación.

En el capítulo V se presenta la Discusión de resultados, en el cual se compara los resultados obtenidos con antecedentes nacionales e internacionales.

Finalmente se describen todas las conclusiones a las que se pudo llegar con la elaboración del proyecto de investigación, de igual manera se recomiendan

aspectos a tener en cuenta para que puedan seguir investigando en temas relacionados, también se detalla la bibliografía utilizada y los anexos.

*Katheryn Roxana Mendizabal Hobispo*  
*Investigadora*



# **CAPITULO I:**

## **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Planteamiento del Problema**

La Ingeniería Civil se encarga de proveer infraestructura de diversa índole mediante el diseño, ejecución y mantenimiento de obras para satisfacer las necesidades de la sociedad, siendo una de ellas la construcción de infraestructura vial, en el cual muchas veces nos encontramos con la inestabilidad de los suelos, que es un problema muy común al realizar este tipo de obras; por ello es necesario realizar la estabilización de suelos.

La estabilización de suelos consiste en procesos mecánicos o químicos en el cual se modifican las propiedades requeridas del suelo para el uso en los pavimentos, sea como sub rasante, sub base o base, para brindarle resistencia y así no se produzcan deformaciones en los pavimentos. En el distrito de Chilca los suelos se caracterizan por su contenido de arcilla, lo que disminuye la capacidad de soporte del suelo y aumenta la deformabilidad al someterse a las cargas, generalmente del tráfico. Habitualmente éstos suelos se eliminan, pues se considera no deseado, reemplazando el material por otro suelo con mejores propiedades mecánicas, lo que ocasiona un mayor costo del proyecto. Por lo tanto, la presente investigación tiene como objetivo fundamental estudiar el potencial del mucílago de penca de tuna como estabilizante del suelo, se pretende mejorar las propiedades del suelo, que será utilizado como soporte de estructura de pavimento.

## **1.2. Formulación y sistematización del Problema**

### **1.2.1. Problema General**

¿Cuáles serán los efectos en la sub rasante por la adición del mucílago de penca de tuna para la estabilización del suelo arcilloso en el Jirón La Unión, Chilca, Huancayo, 2018?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

- a. ¿Cuáles serán las características físicas y mecánicas del suelo para sub rasante?
- b. ¿Cuáles serán las características físicas y mecánicas del suelo para sub rasante con adición de mucilago de penca de tuna?
- c. ¿Cuál será la dosificación del mucílago de penca de tuna que tendrá mejor comportamiento para mejorar las características físicas y mecánicas del suelo para sub rasante?

## **1.3. Justificación**

### **1.3.1. Social**

La construcción de vías es muy importante para la eficiencia productiva y competitividad de las actividades económicas locales. En el distrito de Chilca existen suelos con alto contenido arcilla, por ello al construir pavimentos es necesario la eliminación de estos suelos que no cumplen con las características que se necesitan para ser soporte de una estructura de pavimento, por lo que se propone mejorar el suelo con mucílago de penca de tuna, y así cumpla las características requeridas en ingeniería, lo cual sería una solución económica para el mejoramiento de suelo.

### **1.3.2. Metodológica**

Generalmente cuando se presenta suelos de baja capacidad de soporte al realizar pavimentos, se recomienda tomar dos alternativas de solución, la primera es sustituir el suelo existente por otro que cumpla las características deseadas y la segunda es la estabilización del suelo existente. Actualmente es muy importante minimizar al máximo posible el movimiento de tierras debido a consideraciones económicas, es por eso que antes de cambiar el suelo de baja capacidad de soporte se recomienda estabilizar el suelo y evitar movimientos de tierra. Con el desarrollo de la presente investigación se logró obtener una nueva tecnología para la estabilización de suelos con contenido de arcilla, que a su vez representará un ahorro en los costos al momento de ejecutar proyectos de construcción de vías en el distrito de Chilca.

## **1.4. Delimitaciones**

### **1.4.1. Espacial**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el Jr. La Unión del distrito de Chilca, provincia de Huancayo, región de Junín.

### **1.4.2. Temporal**

El trabajo de investigación se realizó durante los meses de junio, julio, agosto y setiembre del año 2018, realizando un trabajo de campo que tuvo una duración de dos meses, y procesamiento de datos de dos meses.

## **1.5. Limitaciones**

### **1.5.1. Económica**

El costo total de la investigación fue asumido por la investigadora. No se realizaron más ensayos de laboratorio con más dosificaciones debido a la demanda de dinero que ocasiona.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo General**

Determinar los efectos en la sub rasante por la adición del mucílago de penca de tuna para la estabilización del suelo arcilloso en el Jirón La Unión, Chilca, Huancayo, 2018

### **1.6.2. Objetivos Específicos**

- a. Evaluar las características físicas y mecánicas del suelo para sub rasante
- b. Evaluar las características físicas y mecánicas del suelo para sub rasante con adición de mucilago de penca de tuna
- c. Identificar la dosificación del mucílago de penca de tuna que tendrá mejor comportamiento para mejorar las características físico-mecánicas del suelo para sub rasante

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **Historia**

Las vías de comunicación son muy importantes para la sociedad, ya que contribuyen con el desarrollo de la economía, cultura, entre otros aspectos, es por ello la importancia de tener las vías de comunicación en buen estado. Desde tiempos ancestrales, el hombre ha buscado mantener al menos las condiciones mínimas de operación y funcionamiento de sus caminos, por lo cual se busca alternativas innovadoras de construcción y mantenimiento. A través de los años se han perfeccionado metodologías y técnicas tales para la utilización de materiales de buena calidad, otra de las técnicas desarrolladas fue la mezcla de materiales con el fin de modificar sus características tales como la granulometría y plasticidad, con el objetivo de mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos utilizados en las vías (Flores, 2015)(1)

El concepto de mejorar la capacidad de soporte de los suelos a través de su estabilización con aditivos es bastante antiguo; hace 5000 años atrás ya el suelo se estabilizaba con cal o puzolanas. A pesar de ello el verdadero auge de esta técnica y su consecuente desarrollo sólo comenzó a ser realmente significativo a partir de la Segunda Guerra Mundial, a raíz de la imperiosa necesidad de construir carreteras y aeropuertos en zonas con carencia de agregados de buena calidad. ( Solminihaç , Echeverria , & Thenoux, 2001)(2)

## **2.1. Antecedentes de a investigación**

### **Nacionales**

**Tesis, "Evaluación de la resistencia a compresión de adobes con sustitución parcial y total de agua en peso por mucílago de tuna en porcentajes del 0%, 25%, 50%, 75% y 100%" (2017), realizado por Diana Quintana y Mithdwar Vera, para la Universidad Andina del Cusco.**

Demostraron que al elaborar adobes sustituyendo el agua en peso por mucílago de tuna en porcentajes del 0%, 25%, 50%, 75% y 100 aumenta la resistencia a compresión del adobe conforme se incrementa la cantidad de mucílago. Concluyen también que, a mayor porcentaje de mucílago de penca de tuna, los adobes, mayor será la resistencia a compresión y recomiendan usar los porcentajes de 75% y 100% de la sustitución de agua por mucilago de tuna. (Quintana & Vera, 2017)(3)

**Expediente técnico, "Mejoramiento vial del Jr. Francisco Toledo tramo: Jr. San Martín – río Alí, distrito de Chilca, Huancayo - Junín", con código SNIP N° 117969, elaborado por la Municipalidad de Chilca**

Como parte de la evaluación geotécnica del suelo de sub rasante existente a lo largo del trazo, se realizaron excavaciones de calicatas y recolección de muestras que fueron ensayadas en el laboratorio. Para el estudio se ha realizado un ensayo de CBR cuya muestra ha sido sometida al período de inmersión que establecen las normas, y los valores han sido obtenidos para un 95% y 100% de la máxima densidad Proctor Modificado. El estudio de suelos muestra que el lugar tiene un suelo arcilloso CL, con valor de CBR de 5.20% para una penetración de 0.1" al 95% de la máxima densidad seca. (Municipalidad distrital de Chilca, 2015)(4)

## **Internacionales**

**Tesis, “Polímeros para la estabilización volumétrica de arcillas expansivas” (2010), elaborado por Teresa López, Juan Hernández y Jaime Horta, para la Universidad Autónoma de Querétaro, México:**

Uno de los resultados más significativos encontrados en su investigación, es el que se refiere a la expansión. Las pruebas muestran que la mezcla suelo-polímero tiene una reducción en la expansión respecto a la expansión del suelo natural. De las pruebas de consolidación, se obtuvo que el coeficiente de permeabilidad se reduce con polímero; lo que impide la entrada de agua, disminuyendo los cambios volumétricos del suelo expansivo. (López, Hernández, & Horta, 2010)(5)

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. Teorías de la investigación**

#### **Teorías de modelación multicapa elástica de pavimentos**

Un modelo que suponga las condiciones reales es la analizando el pavimento como una estructura multicapa. Existen dentro de la teoría de capas elásticas dos modelos fundamentales, el modelo de Hogg y el modelo multicapas de Burmister. (Chavez, Echevarria, & Iriondo, 2018)(6)

**Modelo De Hogg 1944**, presentó una solución matemática práctica simplificando el sistema multicapa elástico por un modelo equivalente bicapa el cual se compone de una capa rígida sobre un medio elástico. Utilizando las deflexiones producidas en el centro de la carga y una deflexión adicional fuera del punto inicial de carga. Sus cálculos toman en cuenta las variaciones en el espesor del pavimento y la relación

entre la rigidez de pavimento y la rigidez de la sub rasante. (Chavez, Echevarria, & Iriondo, 2018)(6)

**Modelo De Burmister 1945**, propuso una teoría de modelación en la cual se tomaba en cuenta cada capa con su espesor, composición y características específicas con el fin de poder determinar el estado de esfuerzos a cualquier profundidad de la masa de suelos. (Chavez, Echevarria, & Iriondo, 2018)(6)

### **2.2.2. Normativa**

#### **Pavimentos Urbanos CE.010 - Reglamento Nacional de Edificaciones, D.S. N° 001-2010-VIVIENDA**

Nos da los requisitos mínimos para el diseño, construcción, rehabilitación, mantenimiento, rotura y reposición de pavimentos urbanos, referido a la mecánica de suelos y a la ingeniería de pavimentos. (Ministerio de vivienda. construcción y saneamiento, 2010)(7)

#### **Manual de carreteras: Suelos y pavimentos, R.D. N° 10-2014-MTC/14**

Nos brinda una guía en lo que respecta al diseño estructural de los pavimentos, de acuerdo a las condiciones de los factores que influyen en el desempeño de los pavimentos, como el clima, el tráfico, y los sistemas de gestión vial, tomando en consideración la experiencia y estudios del comportamiento y características de los materiales. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014)(8)



## **Normas técnicas peruanas NTP: Suelos, D.S. 081-2008-PCM y la Resolución 048-2008/CNB-INDECOPI**

Son documentos que establecen las especificaciones o requisitos de Calidad para la estandarización de los productos, procesos y servicios. Para ésta investigación se utiliza éstas normas para realizar los ensayos de laboratorio correctamente. (Indecopi, 2008)(9)

## **Manual de ensayo de Materiales, R.D. N°18-2016-MTC/14**

Nos brinda conocimiento para realizar los procedimientos, para la ejecución de los ensayos de laboratorio, de los materiales que se utilizaran en proyectos de infraestructura vial con el objetivo de que sus comportamientos correspondan a los estándares de calidad. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2016)(10)

### **2.3. Definición de términos**

#### **Capacidad portante**

Técnicamente la capacidad portante es la máxima presión, tal que no se produzcan un fallo. Por tanto, la capacidad portante es la capacidad del terreno o de una estructura para soportar las cargas aplicadas sobre el mismo terreno o la estructura. (Cedeño, 2013)(11)

#### **Estabilización de suelos**

Es el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo por medio de procesos mecánicos, incorporando sustancias químicas, naturales o sintéticos, para dotar a los suelos de resistencia mecánica, las técnicas que se utilizan son muy variadas. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014)(8)

La estabilización de suelos consiste en un tratamiento químico o mecánico que se realiza con el fin mejorar sus propiedades ingenieriles. La estabilización mecánica consiste en alterar las propiedades del suelo modificando su granulometría por medio de añadir o quitar partículas o por compactación del suelo. La estabilización química es alterar las propiedades del suelo empleando un determinado aditivo, el cual, mezclado con el suelo produce una modificación en las propiedades moleculares superficiales de los granos del suelo, en ciertos casos, pega los granos entre sí para originar un incremento en su resistencia. ( Solminihac , Echeverria , & Thenoux, 2001)(2)

### **Mucílago de penca de tuna**

Sustancia viscosa generalmente conocida como mucílago o hidrocoloide, que está constituido por carbohidratos de alto peso molecular. Dicho mucílago contiene principalmente dos polímeros naturales orgánicos: amilasa y amilopectina. La amilasa se encuentra formando una cadena helicoidal que, en solución, tiene la capacidad de formar películas delgadas que, al secar, presentan alta rigidez. (Orozco, 2017)(12)

### **Pavimento**

Es una estructura que tiene varias capas que se construye sobre la subrasante para resistir y distribuir esfuerzos originados por vehículos, por lo general está constituida por una base, subbase y capa de rodadura. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014)(8)

El pavimento está compuesto por capas relativamente horizontalmente superpuestas construidos con materiales adecuados y debidamente compactados, ésta estructura se apoya en la subrasante y ha de resistir esfuerzos producido por las cargas de tránsito durante el periodo para el que fue diseñado. (Montejo, 2002)(13)

## **Penca**

Son de color verde opaco, se realiza fotosíntesis, pues éstas remplazan a las hojas con esa función. Se encuentran protegidas por una cutícula gruesa que, en ocasiones, está cubierta de cera o pelos que disminuyen la pérdida de agua, ya que poseen abundante parénquima. En este tejido, se almacenan considerables cantidades de agua, lo que permite a las plantas soportar largos periodos de sequía. (Orozco, 2017)(12)

## **Suelo**

Agregado natural que pueden o no tener componentes orgánicos. Proviene de la alteración de las rocas por acción de fenómenos atmosféricos. (Montejo, 2002)(13)

El suelo es el material de construcción más abundante del mundo, es por eso que el ingeniero debe seleccionar el tipo de suelo adecuado, su método de colocación y, luego, controlar su colocación en obra. (Escobar & Duque, 2002)(14)

## **Sub rasante**

Es la superficie terminada a nivel de corte y relleno de una carretera, y es el asiento de la estructura del pavimento, debe ser conformada por suelo de características aceptables, la capacidad de soporte de este es determinante para el diseño del pavimento. Los suelos por debajo de esta superficie en una profundidad no menor de 0.60 metros deberá tener CBR mayor o igual a 6%, en caso de ser menor se realizará la estabilización de los suelos según la naturaleza del suelo. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014)(8)

De ésta capa depende el espesor de los pavimentos, para su evaluación se emplea la capacidad de soporte, es necesario tener en cuenta la sensibilidad

del suelo a la humedad, tanto en la resistencia como en las variaciones de volumen, los suelos expansivos pueden generar daños en las estructuras apoyadas en éstos, por ello se debe impedir variaciones estabilizando el suelo con algún tipo de aditivo. (Montejo, 2002)(13)

## **Tuna**

La tuna o nopal (*Opuntia ficus-indica*), es originaria de América y hoy día se encuentran en una gran variedad de condiciones agroclimáticas, en forma silvestre o cultivada. Dichas plantas, pertenecen a la familia Cactaceae. La taxonomía de los nopales es sumamente compleja debido a múltiples razones, entre otras, porque sus fenotipos presentan gran variabilidad según las condiciones ambientales. (Orozco, 2017)(12)

## **2.4. Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis General**

Los efectos en la sub rasante por la adición del mucílago de penca de tuna para la estabilización del suelo arcilloso en el Jirón La Unión, Chilca, Huancayo, 2018, serán aceptables por el Manual de Carreteras.

### **2.4.2. Hipótesis Específicas**

- a. Las características físicas y mecánicas del suelo en el Jirón La Unión, no serán aptos para ser utilizado como sub rasante según el Manual de carreteras.
- b. Las características físicas y mecánicas del suelo para sub rasante con adición de mucílago de penca de tuna en el Jirón La Unión, serán aptos para ser utilizados como sub rasante según el Manual de carreteras.

- c. La dosificación del mucílago de penca de tuna que tendrá mejor comportamiento para mejorar las características físico-mecánicas del suelo para sub rasante en el Jirón La Unión, será la de mayor porcentaje de mucilago de penca de tuna.

## **2.5. Variables**

### **2.5.1. Definición conceptual de la variable**

#### **Variable dependiente: Estabilización del suelo arcilloso**

Consiste en el mejoramiento de las propiedades de un suelo por medio de diversas técnicas, como aplicando procesos mecánicos, agregando sustancias químicas u otros, para mejorar la resistencia mecánica del suelo.

#### **Variable independiente: Adición del mucílago de penca de tuna**

Sustancia viscosa que está constituido por carbohidratos que contienen polímeros naturales orgánicos: amilasa y amilo pectina.

### **2.5.2. Definición operacional de la variable**

#### **Variable dependiente: Estabilización del suelo arcilloso**

Se tomará una muestra representativa del suelo para realizar ensayos de laboratorio para caracterizar el suelo del Jirón La Unión y suelo estabilizado: análisis granulométrico, límite líquido, límite plástico, proctor modificado, ensayo CBR.

#### **Variable independiente: Adición del mucílago de penca de tuna**

Se adicionará mucílago de penca de tuna en diferentes porcentajes

### 2.5.3. Operacionalización de las variables

Tabla 1  
*Operacionalización de variables*

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
<b>Dependiente Estabilización de suelo arcilloso</b>	Mejoramiento de las propiedades de un suelo por medio de diversas técnicas, como aplicando procesos mecánicos, agregando sustancias químicas u otros, para mejorar la resistencia mecánica del suelo.	Se tomará una muestra representativa del suelo para realizar ensayos de laboratorio	Propiedades físicas y mecánicas del suelo arcilloso	Análisis granulométrico
				Límite líquido, plástico, e índice de plasticidad
				Proctor modificado
				CBR
<b>Independiente Adición del mucílago de penca de tuna</b>	Sustancia viscosa que contiene polímeros naturales orgánicos: amilasa y amilopectina.	Se adicionará mucílago de penca de tuna en diferentes porcentajes	Cantidad de mucílago de penca de tuna	25% de mucílago de penca de tuna
				50% de mucílago de penca de tuna
				75% de mucílago de penca de tuna

Fuente: Elaboración propia

## **CAPITULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1. Método de investigación**

La investigación se realizará con el método científico, el cuál es el arte de formular preguntas y de probar respuestas. Mediante el cual verificamos la hipótesis realizando los ensayos de laboratorio necesarios.

### **3.2. Tipo de investigación**

Según su finalidad es aplicada, porque se realiza para resolver problemas, en éste caso dando solución a la inestabilidad de suelos arcillosos.

Según el énfasis del manejo de datos es cuantitativa ya que usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

### **3.3. Nivel de investigación**

El nivel de la investigación es descriptivo - explicativo.

### **3.4. Diseño de la investigación**

Según la metodología de investigación es experimental ya que requiere la manipulación intencional de una acción para analizar sus posibles resultados.

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

La población es el Jirón La Unión, distrito de Chilca – Huancayo – Junín, el cual está conformado por 11 cuadras.

#### **3.5.2. Muestra**

La muestra es no probabilística, seleccionada por la investigadora, que es la cuadra 10 y 11 del Jirón La Unión del distrito de Chilca – Huancayo– Junín.

### **3.6. Técnicas, instrumentos de recolección de datos**

#### **Técnicas**

- Ensayos de laboratorio
- Análisis

#### **Instrumentos**

- Formatos de ensayos de laboratorio
- Ficha de análisis, donde se comparará los datos obtenidos con diferentes porcentajes de adición de mucílago de nopal.



### **3.7. Procesamiento de la información**

La información obtenida de los ensayos realizados fue procesada mediante el Microsoft Excel.

### **3.8. Técnicas y análisis de datos**

La interpretación y análisis de resultados se realizó con el uso de hojas de cálculo en Excel. También se analizaron los resultados contrastando con el Manual de carreteras: Suelos y pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

### **3.9. Procedimiento de la investigación**

#### **Fase de pre campo**

#### a) Elaboración de instrumentos de recopilación de datos

Se utilizaron formatos de laboratorio que nos permitió recolectar datos del suelo como:

➤ **Análisis granulométrico**

Tabla 2

*Formato de análisis granulométrico*

<b>Peso de la tara</b>		<b>Peso de tara + muestra lavada seca</b>				
<b>Peso de tara + muestra seca</b>		<b>Peso de muestra lavada seco</b>				
<b>Tamiz</b>	<b>Abert.</b>	<b>Ret</b>	<b>%Ret</b>	<b>%Ret Acum</b>	<b>% Pas.</b>	
3"	75					
2 1/2"	62					
2"	50					
1 1/2"	37.5					
1"	25					
3/4"	19					
1/2"	12.5					
3/8"	9.5					
1/4"	6.3					
Nº 4	4.75					
Nº 10	2					
Nº 20	0.85					
Nº 40	0.43					
Nº 60	0.25					
Nº 140	0.106					
Nº 200	0.075					
Fondo	0					

Fuente: Elaboración propia

➤ **Límite líquido**

Tabla 3

*Formato de límite líquido*

		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Penetración</b>	mm				
<b>Peso de la tara</b>	gr				
<b>Peso de muestra húmeda + tara</b>	gr				
<b>Peso de muestra seca + tara</b>	gr				
<b>Peso del agua</b>	gr				
<b>Peso de la muestra seca</b>	gr				
<b>% de contenido de humedad</b>	%				
<b>Límite líquido</b>					

Fuente: Elaboración propia

➤ **Límite plástico**

Tabla 4  
*Formato de límite plástico*

		1	2
Peso de la tara	gr		
Peso de muestra húmeda + tara	gr		
Peso de muestra seca + tara	gr		
Peso del agua	gr		
Peso de la muestra seca	gr		
% de contenido de humedad	%		
<b>Límite plástico</b>			

Fuente: Elaboración propia

➤ **Proctor (Compactación)**

Tabla 5  
*Formato del ensayo proctor*

Ensayo	N°	1	2	3	4
<b>Peso específico</b>					
Peso del suelo húmedo + molde	gr				
Peso del molde	gr				
Peso del suelo húmedo	gr				
Volumen del molde	gr				
Densidad húmeda	gr/cm <sup>3</sup>				
<b>Contenido de humedad</b>					
Peso de la tara	gr				
Peso del suelo húmedo + tara	gr				
Peso del suelo seco + tara	gr				
Peso del agua	gr				
Peso del suelo húmedo	gr				
Peso del suelo seco	gr				
% de contenido de humedad	%				
<b>Peso específico seco</b>					
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>				
<b>Óptimo contenido de humedad</b>					
<b>Máxima densidad seca</b>					

Fuente: Elaboración propia

➤ **Ensayo de relación de soporte California CBR**

Tabla 6

*Formato para el ensayo CBR - Compactación*

<b>Compactación</b>			
<b>Molde N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
N° de Capa			
Golpes por cada N°			
Peso molde + muestra húmeda (gr)			
Peso del molde (gr)			
Peso de la muestra húmeda (gr)			
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )			
Peso volumétrico húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )			
Contenido de agua W (%) (OCH)			
Peso volumétrico seco (gr/cm <sup>3</sup> )			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7

*Formato para el ensayo CBR - Expansión*

<b>% Expansión</b>					
<b>Molde N° 1</b>		<b>Molde N° 2</b>		<b>Molde N° 3</b>	
Lectura inicial	Lectura final	Lectura inicial	Lectura final	Lectura inicial	Lectura final

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8

*Formato para el ensayo CBR - Penetración*

<b>Penetración</b>										
<b>Penetración</b>	<b>Molde N° 1 (56 Golpes)</b>			<b>Molde N° 2 (25 Golpes)</b>			<b>Molde N° 3 (10 Golpes)</b>			
	<b>Pulg.</b>	<b>Kg.</b>	<b>Lbs.</b>	<b>Lbs/pulg<sup>2</sup></b>	<b>Kg.</b>	<b>Lbs.</b>	<b>Lbs/pulg<sup>2</sup></b>	<b>Kg.</b>	<b>Lbs.</b>	<b>Lbs/pulg<sup>2</sup></b>
0.025										
0.050										
0.075										
<b>0.100</b>										
0.150										
0.200										
0.250										
0.300										
0.400										
0.500										

Fuente: Elaboración propia

## Fase de campo

### a) Obtención de muestra en campo (calicata)

La muestra de suelo fue tomada del Jr. La unión, ubicado en el distrito de Chilca, provincia de Huancayo, región Junín. El número de calicatas se determinó según la norma técnica CE.010 Pavimentos Urbanos, donde se menciona que el número de puntos de investigación se realizará de acuerdo al tipo de vía, según el cuadro siguiente:

Tabla 9  
Número de puntos de investigación

Tipo de vía	Número de puntos de investigación	Área (m <sup>2</sup> )
Expresas	1 cada	1000
Arteriales	1 cada	1200
Colectoras	1 cada	1500
Locales	1 cada	1800

Fuente: Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. (2010). Pavimentos Urbanos CE.010- Reglamento Nacional de Edificaciones.

El área de investigación (cuadras 10 y 11 del Jr. La unión) comprende 1375 m<sup>2</sup>, y está considerada como una vía colectora según el plano vial urbano distrital de Chilca- Huancayo 2015-2020.

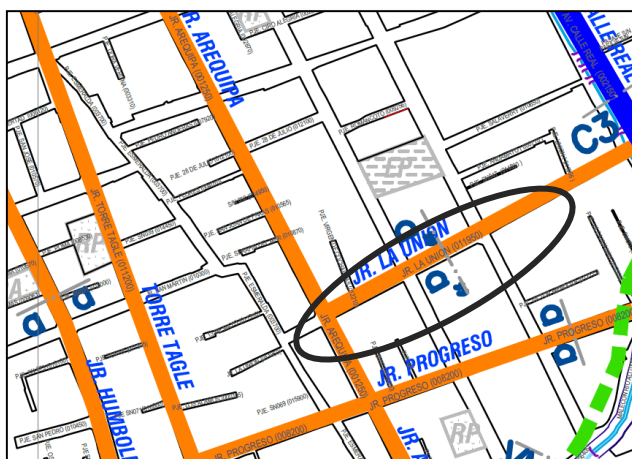


Figura 1. Ubicación de calicata. Fuente: Plano vial urbano distrital de Chilca- Huancayo 2015-2020

Según la tabla anterior para las vías colectoras el número de puntos de investigación es 1 cada 1500 m<sup>2</sup>, por lo cual se realizó 1 calicata.

Tabla 10. *Georreferenciación de la calicata*

Coordenadas UTM	
<b>Datum</b>	WGS84
<b>Zona</b>	18L
<b>Norte</b>	8663209
<b>Este</b>	478261
<b>Cota</b>	3240

Fuente: Google Earth Pro



*Figura 2.*Excavación de la calicata

Se realizó la calicata de 1.50m de profundidad siguiendo el procedimiento normado por el manual de Ensayo de materiales MTC E-101 / ASTM D 420. Se utilizó pala y pico para realizar la excavación manual, y para el traslado se colocó la muestra en bolsas de tejido cerrado e identificó debidamente la muestra.



*Figura 3. Identificación de la calicata*

## **b) Obtención y extracción del mucílago de penca de tuna**

### **❖ Equipos**

- Cuchillo
- Tina
- Chaleco
- Guantes de cuero
- Cepillo de fierro

### **❖ Procedimiento:**

Se realizó la extracción de pencas de tuna utilizando un cuchillo, asimismo se utilizó guantes de cuero para la protección personal.



*Figura 4.* Extracción de la penca de tuna

Se realizó la eliminación de las espinas de las pencas de tuna, utilizando un cepillo de fierro.



*Figura 5.* Eliminación de espinas de la penca de tuna

Se procede a retirar las espinas más pequeñas con una escobilla, posteriormente se lava las pencas.





*Figura 6.* Limpieza de la penca de tuna

Se cortó las pencas en pequeños trozos para luego sumergirlo en el agua. Según la investigación realizada por Quintana & Vera la cantidad de penca de tuna necesaria es  $\frac{1}{6}$  del peso de agua. (Quintana & Vera, 2017)(3)



*Figura 7.* Cortado de la penca de tuna



*Figura 8.* Sumergido de trozos de penca de tuna

Después de 18 días se extrae el mucílago separando el material sólido restante y almacenando el mucílago en recipientes adecuados.

### **c) Caracterización física y mecánica del suelo del Jr. La unión – Chilca**

#### **➤ Análisis granulométrico**

El análisis granulométrico determina cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas del suelo, se determina mediante el tamizado por mallas de distintas medidas.

#### **Normas**

NTP 339.128:1999 (revisada el 2014) Método de ensayo para el análisis granulométrico / MTC E-107 / ASTM D-422 Análisis Granulométrico por tamizado.

#### **Equipos**

Balanza electrónica calibrada

Horno eléctrico

Tamices (3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", ¼", N°4, N°10, N°20, N°40, N°60, N°140, N°200).

Recipientes adecuados

Cepillo y brocha

### **Procedimiento**

- ✓ Se realizó el cuarteo de la muestra colocando la muestra sobre una superficie horizontal dura y limpia, se mezcló el material y se forma un cono, repitiendo esta operación tres veces, se extendió cuidadosamente, y procedió a dividir el material en cuatro partes iguales, se separó dos cuartos diagonales opuestos, éstos se mezclaron y se repitió el mismo proceso hasta obtener la cantidad de muestra requerida.
- ✓ Se pesó la muestra secada al aire y anotó este valor como el peso de la muestra total.
- ✓ Se lavó a continuación la muestra sobre el tamiz N° 200, con abundante agua, posteriormente se secó y pesó, anotando en el retenido. Se tamizó manualmente moviendo los tamices de un lado a otro, se desmontaron los tamices individualmente, y anotó el peso retenido en cada malla.

### **Cálculos**

- ✓ Se calculó el porcentaje retenido en cada tamiz, utilizando la siguiente formula:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso retenido en el tamiz}}{\text{Peso total}} * 100$$

- ✓ Se calcula el % pasa, utilizando la siguiente formula:

$$\% \text{ Pasa} = 100\% - \% \text{ Retenido acumulado}$$



*Figura 9. Cuarteo de la muestra*



*Figura 10. Análisis granulométrico*

### ➤ Límite líquido

El límite líquido es cuando el suelo pasa de un estado líquido a uno plástico. Este valor será la humedad correspondiente a una profundidad de penetración de 20mm, que se obtiene mediante la realización de un ajuste de varias parejas profundidad de penetración-humedad.

### **Normas**

NTP 339.130:1999 (revisada el 2014) Método de ensayo para determinar el límite líquido, usando el penetrómetro cónico. / Norma británica BS 1377:1990.

## **Equipos**

Penetrómetro cónico

Espátula, de hoja flexible

Recipientes adecuados

Balanza electrónica calibrada

Horno eléctrico

Tamiz N° 40

Una superficie lisa

Recipientes adecuados para determinación de humedades

Cronómetro

## **Procedimiento**

- ✓ Se obtuvo la muestra seca pasante por el tamiz N° 40
  
- ✓ Se tomó muestra y se, mezcló con agua destilada, se introdujo en el recipiente del equipo, se enraza para que las burbujas de aire salieran.
  
- ✓ Se ubicó el cono en la superficie superior de la muestra, y se soltó y se tomó el valor de penetración.
  
- ✓ Se pesó la muestra húmeda obtenida.
  
- ✓ Se llevó la muestra a secar en el horno eléctrico, para determinar el peso seco. Para determinar el contenido de humedad de la muestra.
  
- ✓ Este procedimiento se repitió tres veces más con distintos contenidos de humedad.

## **Cálculos**

Se realizó un gráfico en el que se representan a escala lineal la penetración en mm frente a la humedad en %, para dibujar con ellos una línea que más se aproxime a los puntos dibujados y se toma de dicha línea el punto correspondiente a una penetración de 20 mm. La humedad correspondiente a dicho valor de penetración es el límite líquido.



*Figura 11.* Ensayo del límite líquido con el penetrómetro cónico



*Figura 12.* Secado de la muestra en el horno

➤ **Límite plástico**

El límite plástico es cuando el suelo pasa de un estado plástico a uno semisólido. El límite plástico se define como el contenido de humedad en el que el suelo se agrieta al formar un rollito de 3.18 mm de diámetro.

### **Normas**

NTP 339.129:1999 (revisada el 2014) Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos /MTC E 111 / ASTM D-4318 Método Estándar de Ensayos para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

### **Equipos**

Espátula, de hoja flexible

Recipientes adecuados

Balanza electrónica calibrada

Horno eléctrico

Tamiz N° 40

Recipientes adecuados para determinación de humedades

Una superficie lisa

### **Procedimiento**

- ✓ Se obtuvo la muestra seca pasante por el tamiz N° 40
  
- ✓ Se amasó la muestra con agua destilada hasta formar una esfera. Para posteriormente moldear la muestra en forma de elipsoide rodando con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, hasta formar cilindros.
  
- ✓ Se formó cilindros de 3.2 mm de diámetro aproximadamente, hasta que el cilindro se desmorone.

- ✓ La porción obtenida se coloca en recipientes adecuados para determinar su contenido de humedad.
- ✓ Para el cálculo de contenido de humedad se pesó el suelo húmedo, posteriormente se puso la muestra en el horno para secarla, luego se pesó la muestra seca.
- ✓ Este procedimiento se realizó dos veces.

### **Cálculos**

- ✓ Se calculó el límite plástico mediante la siguiente fórmula:

$$LP = \frac{Phum - Pseco}{Pseco} * 100$$

LP= Límite plástico

Phum =Peso del suelo húmedo

Pseco =Peso del suelo seco

- ✓ Se calculó el Índice de plasticidad (IP) mediante la siguiente fórmula:

$$IP = \text{Límite liquido} - \text{Límite plástico}$$





*Figura 13. Ensayo del límite plástico*

### ➤ **Proctor modificado**

Se realiza este ensayo para determinar la relación entre el contenido de humedad y el peso volumétrico seco (curva de compactación), compactado con una energía de compactación determinada. Con este ensayo se determina el contenido de humedad para el cual el suelo alcanza su máxima densidad seca.

### **Normas**

NTP 339.141:1999 (revisada el 2014) Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m<sup>3</sup> (56 000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>)). / MTC E 115 / ASTM D 1557 Métodos de prueba estándar para las características de compactación de laboratorio de suelo utilizando esfuerzo modificado (56,000 ft-lbf / ft<sup>3</sup> (2,700 kN-m / m<sup>3</sup>)).

### **Equipos**

Molde de 4 pulgadas(101.6mm)

Pisón compactador ó Martillo 4,54 ± 0,01 kg

Balanza electrónica calibrada

Horno eléctrico

Tamiz N° 4, 3/8" y 3/4"

Regla metálica

### Procedimiento

- ✓ Se realizó el cuarteo de la muestra. Se secó el material a utilizar, puede ser al aire libre o al horno.
- ✓ Se determinó el porcentaje de material retenido en la malla N° 4, 3/8" y 3/4" para escoger el Método A, B ó C.

Tabla 11

*Método A, B y C del Proctor modificado*

	Método A	Método B	Método C
Molde	4 pulgadas	4 pulgadas	6 pulgadas
Material	Se emplea el que pasa por el tamiz 4,75 mm (N° 4)	Se emplea el que pasa por el tamiz de 9,5 mm (3/8 pulg)	Se emplea el que pasa por el tamiz 19,0 mm (3/4 pulg)
Número de capas	5	5	5
Golpes por capa	25	25	56
Uso	Cuando el 20 % ó menos del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (N° 4)	Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (N°4) y 20% ó menos de peso del material es retenido en el tamiz 9,5 mm (3/8 pulg)	Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 9,5 mm (3/8 pulg) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 19,0 mm (3/4 pulg)

Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones. (3 de junio de 2016). Manual de Ensayo de Materiales. Lima: Ministerio de transportes y comunicaciones.

- ✓ Se preparó 4 muestras de suelo de 5.9 kg., se agregó cantidades de agua mezcló uniformemente.
- ✓ Se registró el peso del molde y el plato de base. Posteriormente se realizó el ensamble y asegure el molde y el collar al plato base.

- ✓ Se colocó el suelo dentro del molde y se extendió, posteriormente se compactó el espécimen en cinco capas con 25 golpes por capa. Se enrasó el molde con una regla metálica quitando previamente el collarín, luego se pesó el espécimen, molde y plato base.
- ✓ Se removió el espécimen del molde para determinar el contenido de humedad.
- ✓ Se repitió este procedimiento para las 4 muestras de suelo compactados a diferentes contenidos de humedad.

### Cálculos

- ✓ Se determinó el peso volumétrico seco, con la siguiente fórmula:

$$\rho_s = \frac{\rho_m}{1 + \frac{\%W}{100}}$$

$\rho_s$  = Peso volumétrico seco del espécimen compactado(gr/cm<sup>3</sup>)

$\rho_m$  = Peso volumétrico húmedo del espécimen compactado(gr/cm<sup>3</sup>) = Peso húmedo del espécimen compactado/volumen

- ✓ Se determinó el contenido de humedad con la siguiente fórmula:

$$\%W = \frac{P_{hum} - P_{seco}}{P_{seco}} * 100$$

$\%W$  = Contenido de humedad

Phum =Peso del suelo húmedo

Pseco =Peso del suelo seco

- ✓ Se realizó la curva de compactación para la determinación de Optimo contenido de Humedad y Máxima densidad seca.



*Figura 14.* Ensayo de proctor - preparación del espécimen



*Figura 15.* Ensayo de proctor - compactación

➤ **CBR (Relación de soporte California - California Bearing Ratio)**

Mediante éste ensayo se determina un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte. El CBR se obtiene como un porcentaje del esfuerzo requerido para hacer penetrar un pistón una profundidad de 0.1 pulgadas en una muestra de suelo y el esfuerzo requerido para hacer penetrar el mismo pistón, la misma profundidad de 0.1 pulgadas, en una muestra patrón de piedra triturada.

**Normas**

NTP 339.145:1999 (revisada el 2014) Determinación del CBR (California Bearing Ratio- Relación de soporte de California). / MTC E 132/ ASTM D 1883 California Bearing Ratio.

**Equipos**

Prensa hidráulica

Molde, de metal, cilíndrico 6"

Disco espaciador circular de metal

Pisón compactador

Pesas de metal

Aparato medidor de expansión (placa de metal perforada provista de un vástago en el centro con un sistema de tornillo, trípode cuyas patas puedan apoyarse en el borde del molde y sujeto en el centro un dial (deformímetro)

Pistón de penetración metálico

Diales con recorrido mínimo de 25mm

Poza para la inmersión de los moldes

Balanza electrónica calibrada

Horno eléctrico

Tamiz N° 4, 3/4" y 2"

Discos de papel filtro

Espátulas

### **Procedimiento**

- ✓ El espécimen fue preparado de acuerdo con los con los procedimientos dados en los métodos de prueba proctor para la compactación de un molde de 6", tratando de aproximarse al porcentaje óptimo de humedad.
- ✓ Se registró el peso del molde con su base, se, posteriormente se colocó el collar, el disco espaciador y papel filtro grueso.
- ✓ Una vez preparado el molde, se compacta el espécimen en 5 capas, con 10,25 y 56 golpes.
- ✓ Se quitó el collarín, se enrasó la parte superior del molde, se volteó el molde y se retiró la base del molde perforada y el disco espaciador.
- ✓ Se pesó el molde con la muestra, para determinar la densidad y la humedad de la muestra.
- ✓ Se colocó sobre la superficie de la muestra invertida la placa perforada con vástago, y se colocó dos pesas de 10 libras.
- ✓ Se montó el trípode con un dial y se tomó una lectura inicial, se sumerge el molde en agua dejando libre acceso al agua por la parte inferior y superior de la muestra.
- ✓ Se sumergió la muestra durante 96 horas, anotando cada 24 horas la lectura del dial.
- ✓ Después de las 96 horas transcurridas se sacó el molde y se dejó drenar durante 15 minutos aproximadamente.

- ✓ Se colocó debajo de la prensa el molde con la muestra y la sobrecarga.
- ✓ Se aplicó la carga sobre el pistón de penetración con una velocidad de penetración uniforme de 1,27 mm (0,05") por minuto, se anotó las lecturas de carga.

### Cálculos

- ✓ La fórmula para el valor de CBR es:  
:

$$CBR = \frac{\text{Esfuerzo en el suelo ensayado}}{\text{Esfuerzo patron}} * 100$$

Esfuerzo patrón (2.54mm) =70.31 kgf/cm<sup>2</sup> ó 1000 lb/pulg<sup>2</sup>

- ✓ El cálculo de la expansión se realiza mediante la siguiente formula:

$$\%Expansión = \frac{L2 - L1}{hm} * 100$$

L1= Lectura inicial (mm)

L2= Lectura final (mm)

hm= altura de la muestra en el molde (mm)

- ✓ Se dibujó una curva que relacione las presiones (ordenadas) y las penetraciones (abscisas), y se tomó el valor correspondiente a 2,54 mm (0,1") de penetración. Para luego calcular el valor de CBR.
- ✓ Se realizó la curva de CBR vs densidad seca para determinar el valor de CBR al 95% MDS.



*Figura 16.* Ensayo de Relación de soporte California CBR- Penetración



*Figura 17.* Ensayo de Relación de soporte de California CBR- Expansión

#### **d) Caracterización física y mecánica del suelo con adición de mucílago de penca de tuna de penca de tuna**

Para caracterizar el suelo con adición de mucílago de penca de tuna, se realizó el procedimiento descrito para el suelo del Jirón La Unión en todos los ensayos, reemplazando el agua de compactación por las dosificaciones determinadas para la investigación. Para la muestra B la dosificación fue de 25% de mucílago de penca de tuna y 75% de agua,



para la muestra C la dosificación fue de 50% de mucílago de penca de tuna y 50% de agua y para la muestra D 75% de mucílago de penca de tuna y 25% de agua.



Figura 18. Caracterización física y mecánica del suelo con adición de mucílago de penca de tuna

## **FASE DE GABINETE**

### **a) Tabulación y procesamiento de datos**

Se realizó la tabulación y procesamiento de datos utilizando hojas Excel, para facilitar los cálculos, siguiendo los pasos y fórmulas de las normas.



Figura 19. Procesamiento de datos

## **CAPITULO IV: RESULTADOS**

### **4.1. Resultados específicos**

#### **a. Las características físicas y mecánicas del suelo en el Jirón La Unión son:**

Para cumplir con el objetivo de la investigación se ha determinado las características del suelo del Jirón La Unión. Se determinó su granulometría, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, proctor modificado y California Bearing Ratio (CBR), los cuales se detallan a continuación.

#### **➤ Análisis granulométrico del suelo del Jirón La Unión (Muestra A)**

Se realizó el análisis granulométrico para determinar la distribución de tamaños de partículas del suelo del Jirón la Unión.

Tabla 12  
*Análisis granulométrico del suelo del Jirón. La Unión*

Fuente: Elaboración propia

<b>Peso de la tara</b>	224.97			<b>Peso de tara + muestra lavada seca</b>	289.58
<b>Peso de tara + muestra seca</b>	1533.36			<b>Peso de muestra lavada seco</b>	64.61
<b>Tamiz</b>	<b>Abert.</b>	<b>Ret</b>	<b>%Ret</b>	<b>%Ret Acum</b>	<b>% Pas.</b>
3"	75	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	62	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.5	3.07	0.23	0.23	99.77
3/8"	9.5	1.39	0.11	0.34	99.66
1/4"	6.3	0.00	0.00	0.34	99.45
Nº 4	4.75	4.05	0.31	0.65	99.35
Nº 10	2	9.08	0.69	1.34	98.66
Nº 20	0.85	7.18	0.55	1.89	98.11
Nº 40	0.43	6.68	0.51	2.40	97.60
Nº 60	0.25	7.10	0.54	2.95	97.05
Nº 140	0.106	19.62	1.50	4.45	95.55
Nº 200	0.075	6.44	0.49	4.94	95.06
Fondo	0	1243.78	95.06	100.00	0.00
		1308.39	100		

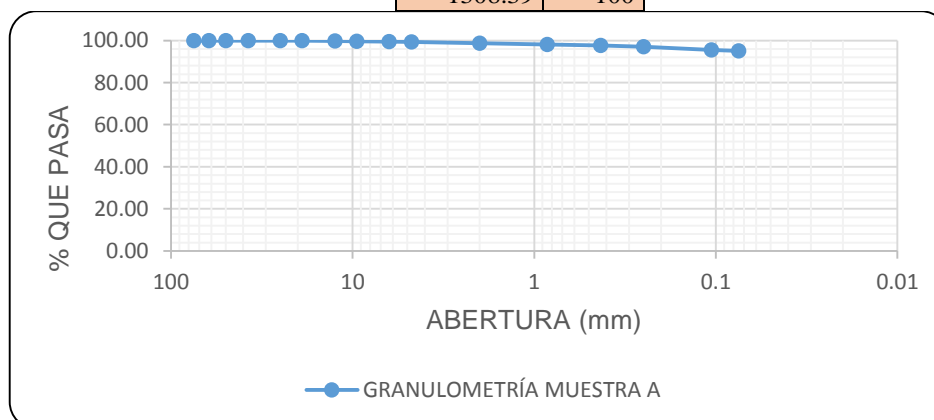


Figura 20. Curva granulométrica del suelo del Jirón La Unión

Se puede evidenciar, que el suelo está compuesto por 95.06% que pasa la malla de 0.075mm, es decir fino, un 4.29% que se encuentra retenido entre las mallas de abertura 0.075mm y 4.75mm, es decir arena, un 0.65% que se encuentra retenido entre la malla de abertura 4.75mm -75mm, es decir grava.

➤ **Límite líquido del suelo del Jirón La Unión (Muestra A)**

Se realizó el ensayo para determinar el límite líquido usando el penetrómetro cónico. Se determinó el límite líquido del suelo del Jirón La Unión (Muestra A).

Tabla 13

*Límite líquido del suelo del Jirón. La Unión*

		1	2	3	4
Penetración	mm	7.1	13.7	17.3	21.4
Peso de la tara	gr	109.96	109.45	109.6	112.01
Peso de muestra húmeda + tara	gr	130.64	125.22	133.29	139.22
Peso de muestra seca + tara	gr	126.37	121.429	127.2	131.76
Peso del agua	gr	4.27	3.791	6.09	7.46
Peso de la muestra seca	gr	16.41	11.979	17.6	19.75
% de contenido de humedad	%	26.02	31.65	34.60	37.77
<b>Límite líquido</b>		<b>37.10%</b>			

Fuente: Elaboración propia

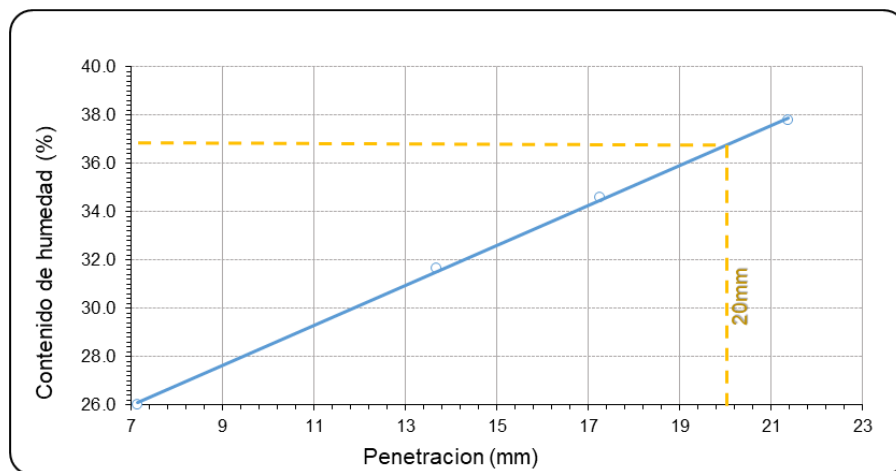


Figura 21. Curva de fluidez del suelo del Jirón. La Unión

El límite líquido, que es el contenido de agua, expresado en porcentaje, que delimita la transición entre el estado líquido y plástico, se determinó de la Figura 21, correspondiente a la humedad a una profundidad de 20 mm, el resultado muestra que el límite líquido del suelo del Jirón La Unión es 37.1%.

➤ **Límite plástico del suelo del Jirón La Unión (Muestra A)**

Se realizó el ensayo para determinar el límite plástico del suelo del Jirón La Unión, obteniendo los resultados mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 14  
*Límite plástico del suelo del Jirón La Unión*

		1	2
Peso de la tara	gr	111.23	109.96
Peso de muestra húmeda + tara	gr	131.91	128.06
Peso de muestra seca + tara	gr	129.21	125.89
Peso del agua	gr	2.70	2.17
Peso de la muestra seca	gr	17.98	15.93
% de contenido de humedad	%	<b>15.02</b>	<b>13.62</b>
<b>Límite plástico</b>		<b>14.32 %</b>	

Fuente: Elaboración propia

El contenido de agua, expresado en porcentaje, que delimita la transición entre el estado plástico y semisólido, es denominado límite plástico.

Según el ensayo de laboratorio realizado se obtuvo un límite plástico del suelo del Jirón La Unión de 14.32%.

➤ **Índice de plasticidad del suelo del Jirón La Unión (Muestra A)**

Se determinó el índice de plasticidad del suelo del Jirón La Unión (Muestra A).

Tabla 15  
*Índice de plasticidad del suelo del Jirón La Unión*

Límite líquido	Límite plástico	IP
37.1 %	14.32 %	<b>22.78%</b>

Fuente: Elaboración propia

El índice de plasticidad del suelo del Jirón La Unión (Muestra A) es 22.78%. Según la clasificación de suelos según Índice de plasticidad mostrado en la Tabla 16, establecido en el Manual de carreteras: Suelos y pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el suelo extraído del Jr. La unión tiene Plasticidad alta (suelo muy arcilloso), debido a que su valor de IP es 22.78%.

Tabla 16  
*Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad*

Índice de plasticidad	Plasticidad	Característica
IP >20	Alta	Suelos muy arcillosos
IP ≤ 20 IP >7	Media	Suelos arcillosos
IP <7	Baja	Suelos poco arcillosos
IP=0	No plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

Fuente: Cuadro 4.6. del Ministerio de transportes y comunicaciones. (9 de abril de 2014). Manual de carreteras: Suelos y pavimentos. Lima.

➤ **Proctor modificado del suelo del Jirón La Unión (Muestra A)**

Se realizó en ensayo del proctor modificado del suelo del Jirón La Unión (Muestra A), para determinar el óptimo contenido de humedad para la cual el suelo alcanzará su máxima densidad seca.

Tabla 17  
*Proctor modificado del suelo del Jirón La Unión*

Ensayo	N°	1	2	3	4
<b>Peso específico</b>					
Peso del suelo húmedo + molde	gr	7230	7483	7662	7695
Peso del molde	gr	3271	3271	3271	3271
Peso del suelo húmedo	gr	3959	4212	4391	4424
Volumen del molde	gr	2104	2104	2104	2104
Densidad húmeda	gr/cm <sup>3</sup>	1.882	2.002	2.087	2.103
<b>Contenido de humedad</b>					
Peso de la tara	gr	109.67	111.37	113.37	109.48
Peso del suelo húmedo + tara	gr	292.96	338.3	228.46	249.67
Peso del suelo seco + tara	gr	281.31	316.91	215.12	230.15
Peso del agua	gr	11.65	21.39	13.34	19.52
Peso del suelo húmedo	gr	183.29	226.93	115.09	140.19
Peso del suelo seco	gr	171.64	205.54	101.75	120.67
% de contenido de humedad	%	<b>6.79</b>	<b>10.41</b>	<b>13.11</b>	<b>16.18</b>
<b>Peso específico seco</b>					
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.762</b>	<b>1.813</b>	<b>1.845</b>	<b>1.810</b>
<b>Óptimo contenido de humedad</b>	<b>13.70 %</b>				
<b>Máxima densidad seca</b>	<b>1.846 gr/cm<sup>3</sup></b>				

Fuente: Elaboración propia

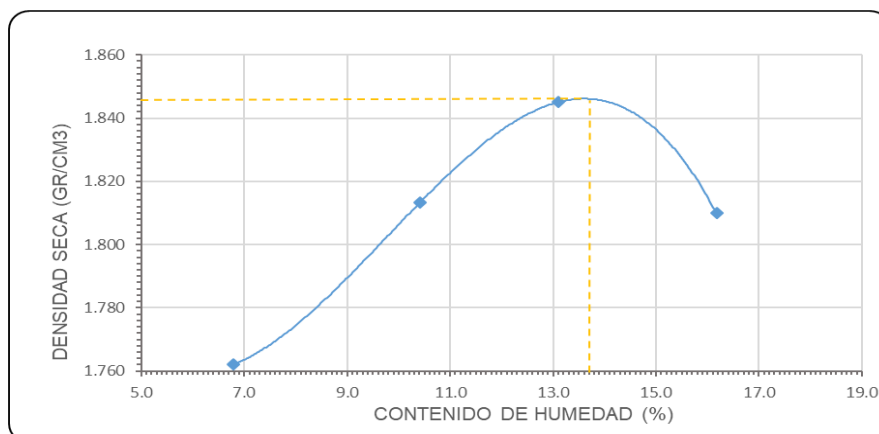


Figura 22. Curva de compactación del suelo del Jirón La Unión

El óptimo contenido de humedad del suelo del Jirón La Unión (Muestra A) es 13.70% y la máxima densidad seca es 1.846 gr/cm<sup>3</sup>.

➤ **Relación de soporte California - California Bearing Ratio (CBR) del suelo del Jirón La Unión (Muestra A)**

Se realizó el ensayo denominado relación de soporte California, en el cuál se determina un índice de resistencia del suelo, que está referido al 95% de la Máxima densidad seca y a una penetración de carga de 2.54 mm (0.1 pulg).

Tabla 18  
Ensayo CBR- Compactación (Suelo del Jirón La Unión)

Compactación			
Molde N°	Molde N° 1 (56 Golpes)	Molde N° 2 (25 Golpes)	Molde N° 3 (10 Golpes)
N° de Capa	5	5	5
Golpes por cada N°	<b>56</b>	<b>25</b>	<b>10</b>
Peso molde + muestra húmeda (gr)	9388.00	9443.00	8944.00
Peso del molde (gr)	5089.00	5231.00	5171.00
Peso de la muestra húmeda (gr)	4299.00	4212.00	3773.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2048.00	2048.00	2048.00
Peso volumétrico húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	2.099	2.057	1.842
Contenido de agua W (%) (OCH)	13.70	13.70	13.70
Peso volumétrico seco (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1.846 gr/cm<sup>3</sup></b>	<b>1.809 gr/cm<sup>3</sup></b>	<b>1.620 gr/cm<sup>3</sup></b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19  
*Ensayo CBR – Expansión (Suelo del Jirón La Unión)*

<b>% Expansión</b>					
<b>Molde N° 1 (56 golpes)</b>		<b>Molde N° 2 (25 golpes)</b>		<b>Molde N° 3 (10 golpes)</b>	
Lectura inicial	Lectura final	Lectura inicial	Lectura final	Lectura inicial	Lectura final
0.000	1.320	0.000	1.690	0.000	2.120
<b>1.132 %</b>		<b>1.45 %</b>		<b>1.818 %</b>	

Fuente: Elaboración propia

Se evidencia una expansión del suelo del Jirón La Unión (Muestra A) de 1.132% para 56 golpes, 1.45% para 25 golpes y de 1.818% para 10 golpes.

Tabla 20  
*Ensayo CBR – Penetración (Suelo del Jirón La Unión)*

<b>Penetración</b>									
<b>Penetración</b>	<b>Molde N° 1 (56 Golpes)</b>			<b>Molde N° 2 (25 Golpes)</b>			<b>Molde N° 3 (10 Golpes)</b>		
	<b>Pulg.</b>	<b>Kg.</b>	<b>Lbs.</b>	<b>Lbs/pulg2</b>	<b>Kg.</b>	<b>Lbs.</b>	<b>Lbs/pulg2</b>	<b>Kg.</b>	<b>Lbs.</b>
0.025	47.6	105	35	45.1	99	33	44.3	98	33
0.050	67.2	148	49	59.0	130	43	49.6	109	36
0.075	88.0	194	65	72.8	161	54	55.7	123	41
<b>0.100</b>	<b>100.4</b>	<b>221</b>	<b>74</b>	<b>87.2</b>	<b>192</b>	<b>64</b>	<b>60.9</b>	<b>134</b>	<b>45</b>
0.150	110.6	244	81	100.1	221	74	67.5	149	50
0.200	119.3	263	88	108.1	238	79	72.7	160	53
0.250	128.8	284	95	114.3	252	84	76.1	168	56
0.300	138.8	306	102	123.3	272	91	80.1	177	59
0.400	161.3	356	119	141.2	311	104	84.4	186	62
0.500	198.4	437	146	161.7	357	119	90.0	198	66

Fuente: Elaboración propia



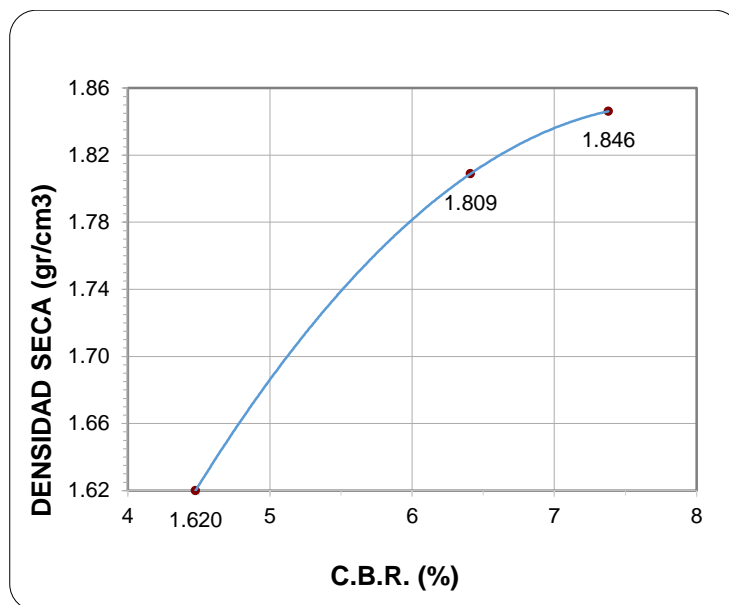


Figura 23. Curva de C.B.R. del suelo del Jirón La Unión

Tabla 21

Ensayo CBR - Suelo del Jirón La Unión

Nº Golpes	% CBR	D.S.	Densidad seca gr/cm <sup>3</sup>		CBR (%)
56	7.4	1.846	100%MDS	1.846	7.4
25	6.4	1.809	95%MDS	1.754	5.7
10	4.5	1.620			

Fuente: Elaboración propia

El valor de soporte o resistencia del suelo (CBR) para sub rasante está referido al 95% de su máxima densidad seca y a una penetración de 2.54mm (1pulg).

Según las categorías para sub rasante con respecto a su valor de CBR mostrado en la Tabla 22 establecido por el Manual de carreteras: Suelos y pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el suelo extraído del Jr. La unión (Muestra A) es considerada como Sub rasante insuficiente, debido a que su valor de CBR es de 5.7%.

De acuerdo al Manual de carreteras: Suelos y pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, los suelos deberán ser suelos

adecuados con CBR > 6%, en el caso que sea menor al 6%, es decir sub rasante insuficiente o inadecuada, es considerando no apto para la capa de la sub rasante, y debe ser materia de estudio para la estabilización o reemplazo del material.

Tabla 22  
*Categorías de sub rasante*

<b>Categorías de sub rasante</b>	<b>CBR</b>
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: Cuadro 4.11 del Ministerio de transportes y comunicaciones. (9 de abril de 2014). Manual de carreteras: Suelos y pavimentos. Lima.

Las características físicas y mecánicas del suelo del Jirón La Unión se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 23  
*Resumen de las características físicas y mecánicas del suelo del Jirón La Unión*

	<b>Suelo del Jirón La Unión (Muestra A)</b>
<b>Granulometría</b>	95.1% material fino, 4.29% de arena, 0.65% de grava
<b>Limite líquido (LL)</b>	37.1 %
<b>Limite plástico (LP)</b>	14.32 %
<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	22.78 %
<b>Clasificación SUCS</b>	CL
<b>Clasificación AASHTO</b>	A-6 (21)
<b>Máxima densidad seca (MDS)</b>	1.846 gr/cm <sup>3</sup>
<b>Óptimo contenido de humedad (OCH)</b>	13.7 %
<b>CBR AL 95% MDS</b>	<b>5.7 %</b>
<b>Expansión (%)</b>	1.132% - 56 golpes 1.450% - 25 golpes 1.818% - 10 golpes

Fuente: Elaboración propia

El suelo del Jirón La Unión está compuesto por 95.1% de material fino, tiene un índice de plasticidad de 22.78%, es decir el suelo extraído del Jirón. La Unión tiene Plasticidad alta (suelo muy arcilloso), por lo tanto, de acuerdo a su clasificación AASHTO es un suelo A-6(21) y de acuerdo a su clasificación SUCS es CL (Arcilla Inorgánica de plasticidad baja). Asimismo, su máxima densidad seca (MDS) es de 1.846 gr/cm<sup>3</sup> con un óptimo contenido de humedad de 13.7%, presenta una expansión de 1.132% para 56 golpes, 1.45% para 25 golpes y de 1.818% para 10 golpes y un CBR de 5.7%. De acuerdo a la Tabla 22 establecido por el Manual de carreteras: Suelos y pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones el suelo del Jirón La Unión es considerado como una sub rasante insuficiente, por lo tanto, no es apto para ser utilizado como sub rasante.

**b. Las características físicas y mecánicas del suelo arcilloso con adición de mucílago de penca de tuna en el Jirón La Unión son:**

Para cumplir con el objetivo de la investigación se ha determinado las características del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna (Muestra B), 50% de mucílago de penca de tuna (Muestra C) y 75% de mucílago de penca de tuna (Muestra D).

**Muestra con 25% de mucílago de penca de tuna (Muestra B)**

➤ **Análisis granulométrico del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna (Muestra B).**

Se realizó el análisis granulométrico del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna.

Tabla 24

Análisis granulométrico del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna

<b>Peso de la tara</b>	224.97			<b>Peso de tara + muestra lavada seca</b>	301.39
<b>Peso de tara + muestra seca</b>	1544.21			<b>Peso de muestra lavada seco</b>	76.42
<b>Tamiz</b>	<b>Abert.</b>	<b>Ret</b>	<b>%Ret</b>	<b>%Ret Acum</b>	<b>% Pas.</b>
3"	75	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	62	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	1.06	0.08	0.08	99.92
1/2"	12.5	3.26	0.25	0.33	99.67
3/8"	9.5	2.54	0.19	0.52	99.48
1/4"	6.3	0.00	0.00	0.52	99.21
Nº 4	4.75	5.26	0.40	0.92	99.08
Nº 10	2	9.56	0.72	1.64	98.36
Nº 20	0.85	8.25	0.63	2.27	97.73
Nº 40	0.43	7.85	0.60	2.86	97.14
Nº 60	0.25	8.26	0.63	3.49	96.51
Nº 140	0.106	20.12	1.53	5.02	94.98
Nº 200	0.075	10.26	0.78	5.79	94.21
<b>Fondo</b>	<b>0</b>	1242.82	94.21	100.00	0.00
		1319.24	100		

Fuente: Elaboración propia

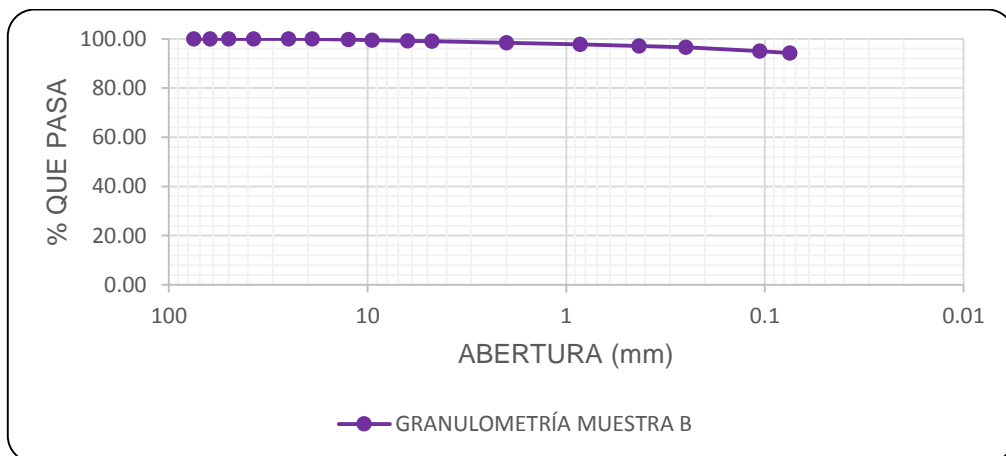


Figura 24. Curva granulométrica del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna

En la muestra del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna se puede evidenciar, que el suelo está compuesto por un 94.21% que pasa la malla de 0.075mm, es decir fino, un 4.87% que se encuentra retenido entre las mallas de abertura 0.075mm y 4.75mm, es decir arena,

un 0.92% que se encuentra retenido entre la malla de abertura 4.75mm - 75mm, es decir grava.

➤ **Límite líquido del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna (Muestra B)**

Se realizó el ensayo para determinar el límite líquido usando el penetrómetro cónico.

Tabla 25

*Límite líquido del suelo adicionado con 25 % de mucílago de penca de tuna*

		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Penetración	mm	<b>7.2</b>	<b>13.9</b>	<b>17.5</b>	<b>21.6</b>
Peso de la tara	gr	109.96	109.45	109.6	112.01
Peso de muestra húmeda + tara	gr	131.405	126.274	133.694	139.21
Peso de muestra seca + tara	gr	126.59	122.12	127.42	131.73
Peso del agua	gr	4.815	4.154	6.274	7.48
Peso de la muestra seca	gr	16.63	12.67	17.82	19.72
% de contenido de humedad	%	<b>28.95</b>	<b>32.79</b>	<b>35.21</b>	<b>37.92</b>
<b>Límite líquido</b>		<b>37.60%</b>			

Fuente: Elaboración propia

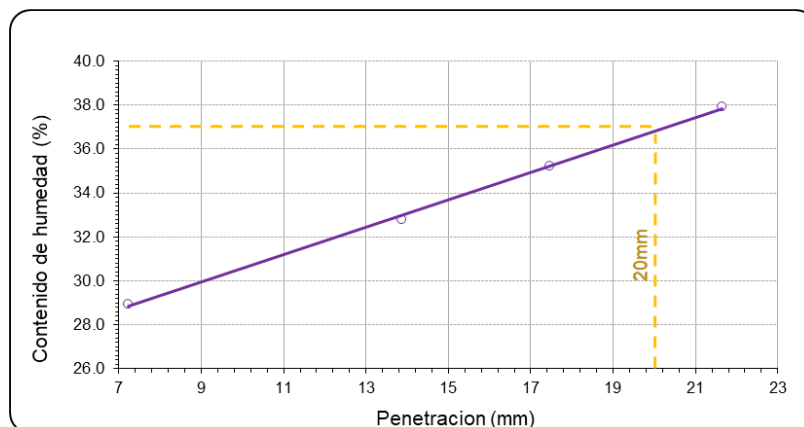


Figura 25. Curva de fluidez del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna

El límite líquido se determinó de la Figura 25, correspondiente a la humedad a una profundidad de 20 mm, el resultado muestra que el límite líquido es 37.6%.

➤ **Límite plástico del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna (Muestra B)**

Se realizó el ensayo para determinar el límite plástico del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna.

Tabla 26

*Límite plástico del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna*

		<b>1</b>	<b>2</b>
Peso de la tara	gr	111.23	109.96
Peso de muestra húmeda + tara	gr	133.24	128.69
Peso de muestra seca + tara	gr	129.61	126.02
Peso del agua	gr	3.63	2.67
Peso de la muestra seca	gr	18.38	16.06
% de contenido de humedad	%	<b>19.74</b>	<b>16.64</b>
<b>Límite plástico</b>		<b>18.19 %</b>	

Fuente: Elaboración propia

Según el ensayo de laboratorio realizado se obtuvo un límite plástico del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna es 18.19%.

➤ **Índice de plasticidad del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna (Muestra B)**

Se determinó el índice de plasticidad del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna.

Tabla 27

*Índice de plasticidad del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna*

<b>Límite líquido</b>	<b>Límite plástico</b>	<b>IP</b>
37.6 %	18.19 %	<b>19.41 %</b>

Fuente: Elaboración propia

Según la clasificación de suelos según Índice de plasticidad mostrado en la Tabla 16 establecido en el Manual de carreteras: Suelos y pavimentos

del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el suelo adicionado con mucílago de penca de tuna en su dosificación de la Muestra B tiene Plasticidad media (suelo arcilloso) debido a que su valor de IP es 19.41%.

➤ **Proctor modificado del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna (Muestra B)**

Se realizó en ensayo del proctor modificado del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna, para determinar el óptimo contenido de humedad para la cual el suelo alcanzará su máxima densidad seca.

Tabla 28

*Proctor modificado del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna*

Ensayo	N°	1	2	3	4
<b>Peso específico</b>					
Peso del suelo húmedo + molde	gr	7243	7502	7679	7726
Peso del molde	gr	3271	3271	3271	3271
Peso del suelo húmedo	gr	3972	4231	4408	4455
Volumen del molde	gr	2104	2104	2104	2104
Densidad húmeda	gr/cm <sup>3</sup>	1.888	2.011	2.095	2.117
<b>Contenido de humedad</b>					
Peso de la tara	gr	109.67	111.37	113.37	109.48
Peso del suelo húmedo + tara	gr	293.22	339.54	230.21	247.56
Peso del suelo seco + tara	gr	281.24	317.74	216.5	228.08
Peso del agua	gr	11.98	21.8	13.71	19.48
Peso del suelo húmedo	gr	183.55	228.17	116.84	138.08
Peso del suelo seco	gr	171.57	206.37	103.13	118.6
% de contenido de humedad	%	<b>6.98</b>	<b>10.56</b>	<b>13.29</b>	<b>16.42</b>
<b>Peso específico seco</b>					
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.765</b>	<b>1.819</b>	<b>1.849</b>	<b>1.819</b>
<b>Óptimo contenido de humedad</b>	<b>14.00 %</b>				
<b>Máxima densidad seca</b>	<b>1.85 gr/cm<sup>3</sup></b>				

Fuente: Elaboración propia

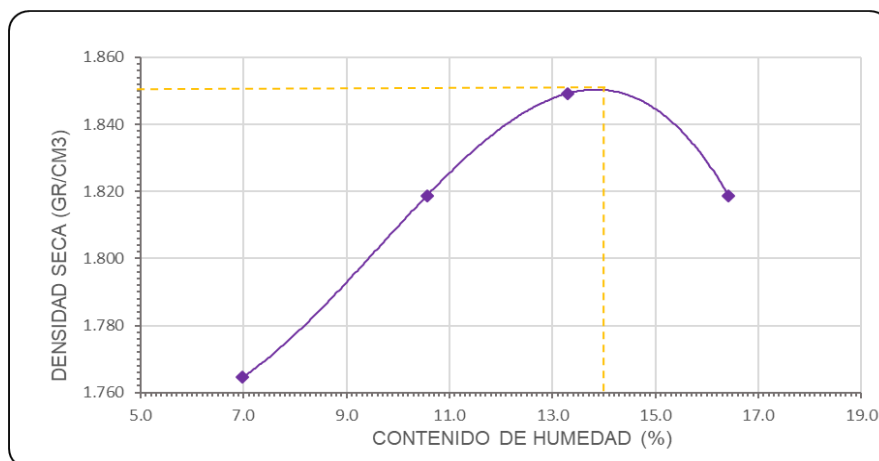


Figura 26. Curva de compactación del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna

El óptimo contenido de humedad es 14.00% y la máxima densidad seca es 1.85 gr/cm<sup>3</sup>.

➤ **Relación de soporte California - California Bearing Ratio (CBR) del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna (Muestra B)**

Se realizó el ensayo denominado relación de soporte California, en el cuál se determina un índice de resistencia del suelo, referido al 95% de la Máxima densidad seca y a una penetración de carga de 0.1 pulg.

Tabla 29

Ensayo CBR - Compactación (Suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna)

Compactación			
Molde N°	Molde N° 1 (56 GOLPES)	Molde N° 2 (25 GOLPES)	Molde N° 3 (10 GOLPES)
N° de Capa	5	5	5
Golpes por cada N°	<b>56</b>	<b>25</b>	<b>10</b>
Peso molde + muestra húmeda (gr)	9421.00	9462.00	9020.00
Peso del molde (gr)	5089.00	5231.00	5171.00
Peso de la muestra húmeda (gr)	4332.00	4231.00	3849.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2048.00	2048.00	2048.00
Peso volumétrico húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	2.115	2.066	1.879
Contenido de agua W (%) (OCH)	14.00	14.00	14.00
Peso volumétrico seco (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1.855 gr/cm<sup>3</sup></b>	<b>1.812 gr/cm<sup>3</sup></b>	<b>1.649 gr/cm<sup>3</sup></b>

Fuente: Elaboración propia



Tabla 30

Ensayo CBR - Expansión (suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna)

<b>% Expansión</b>					
<b>Molde N° 1 (56 golpes)</b>		<b>Molde N° 2 (25 golpes)</b>		<b>Molde N° 3 (10 golpes)</b>	
Lectura inicial	Lectura final	Lectura inicial	Lectura final	Lectura inicial	Lectura final
0.000	1.280	0.000	1.630	0.000	2.080
<b>1.098 %</b>		<b>1.398 %</b>		<b>1.784 %</b>	

Fuente: Elaboración propia

Se evidencia una expansión de la muestra B de 1.098% para 56 golpes, 1.398% para 25 golpes y de 1.784% para 10 golpes.

Tabla 31

Ensayo CBR - Penetración (suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna)

<b>Penetración</b>									
<b>Penetración</b>	<b>Molde N° 1 (56 Golpes)</b>			<b>Molde N° 2 (25 Golpes)</b>			<b>Molde N° 3 (10 Golpes)</b>		
	<b>Pulg.</b>	<b>Kg.</b>	<b>Lbs.</b>	<b>Lbs/pulg2</b>	<b>Kg.</b>	<b>Lbs.</b>	<b>Lbs/pulg2</b>	<b>Kg.</b>	<b>Lbs.</b>
0.025	78.6	173	58	75.7	167	56	74.0	163	54
0.050	102.2	225	75	90.6	200	67	81.2	179	60
0.075	123.0	271	90	103.4	228	76	89.1	196	65
<b>0.100</b>	<b>135.6</b>	<b>299</b>	<b>100</b>	<b>115.5</b>	<b>255</b>	<b>85</b>	<b>94.8</b>	<b>209</b>	<b>70</b>
0.150	150.6	332	111	129.4	285	95	101.7	224	75
0.200	159.3	351	117	137.1	302	101	108.6	239	80
0.250	168.8	372	124	145.6	321	107	113.2	250	83
0.300	178.5	394	131	154.2	340	113	116.2	256	85
0.400	201.7	445	148	171.1	377	126	120.6	266	89
0.500	237.9	525	175	191.4	422	141	126.4	279	93

Fuente: Elaboración propia

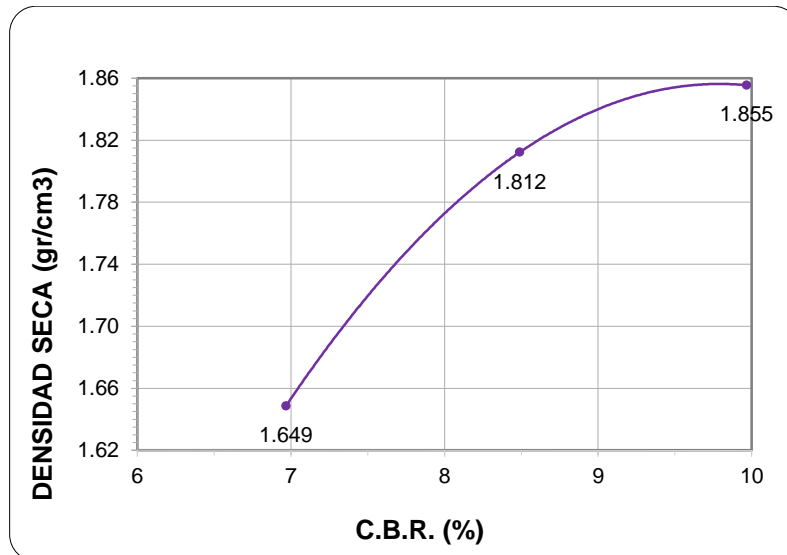


Figura 27. Curva de C.B.R. del suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna

Tabla 32

Ensayo CBR - Suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna

N° Golpes	% CBR	D.S.	Densidad seca gr/cm3		CBR (%)
56	10.0	1.855	100%MDS	1.85	9.5
25	8.5	1.812	95%MDS	1.758	7.6
10	7.0	1.649			

Fuente: Elaboración propia

Según las categorías para sub rasante con respecto a su valor de CBR mostrado en la Tabla 22 establecido por el Manual de carreteras: Suelos y pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el suelo adicionado con mucílago de penca de tuna en su dosificación de la Muestra B presenta un CBR de 7.6% por lo tanto, es considerada como sub rasante regular.

De acuerdo al Manual de carreteras: Suelos y pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, los suelos deberán ser suelos adecuados con  $CBR > 6\%$ , por lo tanto, el suelo adicionado con 25% de

mucílago de penca de tuna, es considerando apto para la capa de la sub rasante.

### Muestra con 50% de mucílago de penca de tuna (Muestra C)

➤ **Análisis granulométrico del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna (Muestra C)**

Se realizó el análisis granulométrico para determinar la distribución de tamaños de partículas del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna

Tabla 33

*Análisis granulométrico del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna*

<b>Peso de la tara</b>	224.97				
<b>Peso de tara + muestra seca</b>	1548.92				
				<b>Peso de tara + muestra lavada seca</b>	317.32
				<b>Peso de muestra lavada seco</b>	92.35
<b>Tamiz</b>	<b>Abert.</b>	<b>Ret</b>	<b>%Ret</b>	<b>%Ret Acum</b>	<b>% Pas.</b>
3"	75	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	62	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	3.09	0.23	0.23	99.77
1/2"	12.5	4.26	0.32	0.56	99.44
3/8"	9.5	3.40	0.26	0.81	99.19
1/4"	6.3	0.00	0.00	0.81	98.86
Nº 4	4.75	6.39	0.48	1.29	98.71
Nº 10	2	12.46	0.94	2.24	97.76
Nº 20	0.85	10.12	0.76	3.00	97.00
Nº 40	0.43	8.56	0.65	3.65	96.35
Nº 60	0.25	11.24	0.85	4.50	95.50
Nº 140	0.106	17.96	1.36	5.85	94.15
Nº 200	0.075	14.87	1.12	6.98	93.02
<b>Fondo</b>	<b>0</b>	1231.60	93.02	100.00	0.00
		1323.95	100		

Fuente: Elaboración propia

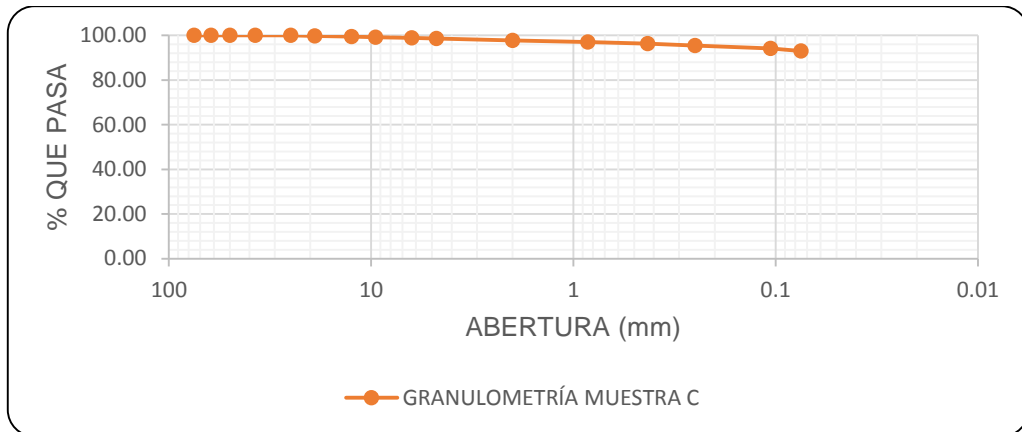


Figura 28. Curva granulométrica del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna

En la muestra del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna se puede evidenciar, que el suelo está compuesto por 93.02% que pasa la malla de 0.075mm, es decir fino, un 5.69% que se encuentra retenido entre las mallas de abertura 0.075mm y 4.75mm, es decir arena, un 1.29% que se encuentra retenido entre la malla de abertura 4.75mm - 75mm, es decir grava.

➤ **Límite líquido del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna (Muestra C)**

Se realizó el ensayo para determinar el límite líquido usando el penetrómetro cónico.

Tabla 34

Límite líquido del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna

		1	2	3	4
Penetración	mm	7.3	13.8	17.7	21.9
Peso de la tara	gr	109.96	109.45	109.6	112.01
Peso de muestra húmeda + tara	gr	131.705	125.626	133.914	139.86
Peso de muestra seca + tara	gr	126.72	121.56	127.45	132.01
Peso del agua	gr	4.985	4.066	6.464	7.85
Peso de la muestra seca	gr	16.76	12.11	17.85	20
% de contenido de humedad	%	29.74	33.58	36.21	39.25
<b>Límite líquido</b>		<b>38.10%</b>			

Fuente: Elaboración propia

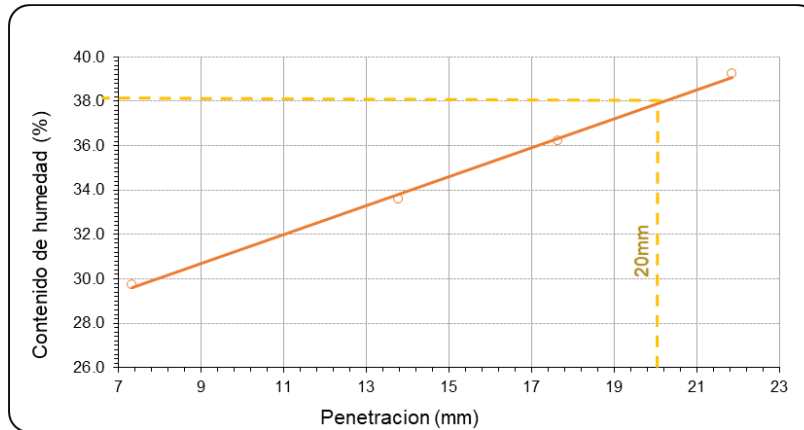


Figura 29. Curva de fluidez del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna

El límite líquido se determinó de la Figura 29, correspondiente a la humedad a una profundidad de 20 mm, el resultado muestra que el límite líquido del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna es 38.1%.

➤ **Límite plástico del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna (Muestra C)**

Se realizó el ensayo para determinar el límite plástico del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna.

Tabla 35

*Límite plástico del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna*

		1	2
Peso de la tara	gr	111.23	109.96
Peso de muestra húmeda + tara	gr	133.97	130.23
Peso de muestra seca + tara	gr	130.14	126.94
Peso del agua	gr	3.83	3.29
Peso de la muestra seca	gr	18.91	16.98
% de contenido de humedad	%	20.24	19.40
<b>Límite plástico</b>		<b>19.82 %</b>	

Fuente: Elaboración propia

El límite plástico del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna es 19.82%.

➤ **Índice de plasticidad del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna (Muestra C)**

Se determinó el índice de plasticidad del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna.

Tabla 36

*Índice de plasticidad del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna*

Límite líquido	Límite plástico	IP
38.1 %	19.82 %	18.28 %

Fuente: Elaboración propia

El índice de plasticidad del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna es 18.28%. Según la clasificación de suelos según Índice de plasticidad mostrado en la Tabla 16 establecido en el Manual de carreteras: Suelos y pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el suelo adicionado con mucílago de penca de tuna en su dosificación de la Muestra C tiene Plasticidad media (suelo arcilloso) debido a que su valor de IP es 18.28%.

➤ **Proctor modificado del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna (Muestra C)**

Se realizó en ensayo del proctor modificado del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna.

Tabla 37

Proctor modificado del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna

Ensayo	N°	1	2	3	4
<b>Peso específico</b>					
Peso del suelo húmedo + molde	gr	7293	7524	7695	7756
Peso del molde	gr	3271	3271	3271	3271
Peso del suelo húmedo	gr	4022	4253	4424	4485
Volumen del molde	gr	2104	2104	2104	2104
Densidad húmeda	gr/cm <sup>3</sup>	1.912	2.021	2.103	2.132
<b>Contenido de humedad</b>					
Peso de la tara	gr	109.67	111.37	113.37	109.48
Peso del suelo húmedo + tara	gr	296.22	339.94	231.12	248.22
Peso del suelo seco + tara	gr	283.93	318	217.12	227.94
Peso del agua	gr	12.29	21.94	14	20.28
Peso del suelo húmedo	gr	186.55	228.57	117.75	138.74
Peso del suelo seco	gr	174.26	206.63	103.75	118.46
% de contenido de humedad	%	<b>7.05</b>	<b>10.62</b>	<b>13.49</b>	<b>17.12</b>
<b>Peso específico seco</b>					
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.786</b>	<b>1.827</b>	<b>1.853</b>	<b>1.820</b>
<b>Óptimo contenido de humedad</b>	<b>14.20 %</b>				
<b>Máxima densidad seca</b>	<b>1.854 gr/cm<sup>3</sup></b>				

Fuente: Elaboración propia

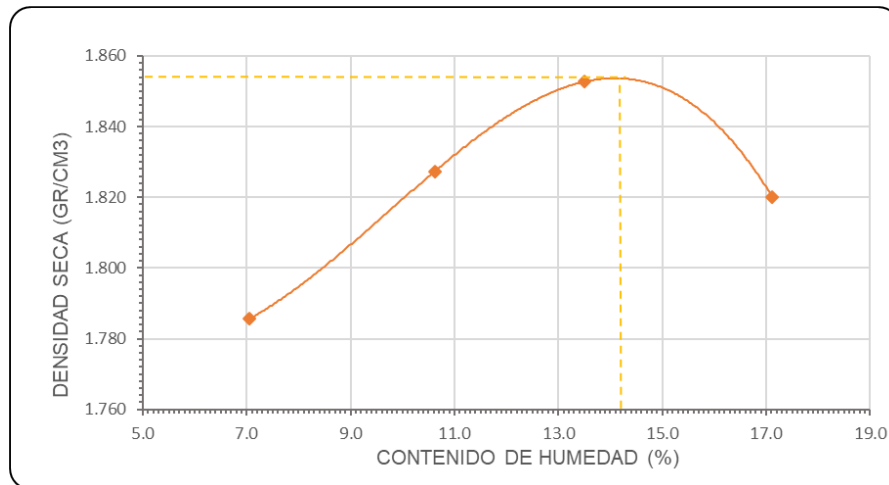


Figura 30. Curva de compactación del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna

Se determinó la relación del contenido de humedad y la densidad seca, obteniendo la curva de compactación del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna para determinar la densidad máxima seca para un contenido de humedad óptimo, obteniéndose como resultado que el

óptimo contenido de humedad es 14.20% y la máxima densidad seca es 1.854 gr/cm<sup>3</sup>.

➤ **Relación de soporte California - California Bearing Ratio (CBR) del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna (Muestra C)**

Se realizó el ensayo denominado CBR, en el cuál se determina un índice de resistencia del suelo, que está referido al 95% de la Máxima densidad seca y a una penetración de carga de 2.54 mm (0.1 pulg).

Tabla 38

*Ensayo CBR - Compactación (Suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna)*

<b>Compactación</b>			
Molde N°	<b>Molde N° 1 (56 Golpes)</b>	<b>Molde N° 2 (25 Golpes)</b>	<b>Molde N° 3 (10 Golpes)</b>
N° de Capa	5	5	5
Golpes por cada N°	<b>56</b>	<b>25</b>	<b>10</b>
Peso molde + muestra húmeda (gr)	9430.00	9475.00	9075.00
Peso del molde (gr)	5089.00	5231.00	5171.00
Peso de la muestra húmeda (gr)	4341.00	4244.00	3904.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2048.00	2048.00	2048.00
Peso volumétrico húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	2.120	2.072	1.906
Contenido de agua W (%) (OCH)	14.20	14.20	14.20
Peso volumétrico seco (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1.856 gr/cm<sup>3</sup></b>	<b>1.815 gr/cm<sup>3</sup></b>	<b>1.669 gr/cm<sup>3</sup></b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39

*Ensayo CBR - Expansión (suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna)*

<b>% Expansión</b>					
<b>Molde N° 1 (56 golpes)</b>		<b>Molde N° 2 (25 golpes)</b>		<b>Molde N° 3 (10 golpes)</b>	
Lectura inicial	Lectura final	Lectura inicial	Lectura final	Lectura inicial	Lectura final
0.000	1.220	0.000	1.560	0.000	2.020
<b>1.046 %</b>		<b>1.338 %</b>		<b>1.733 %</b>	

Fuente: Elaboración propia



Se evidencia una expansión de la Muestra C de 1.046% para 56 golpes, 1.338% para 25 golpes y de 1.733% para 10 golpes.

Tabla 40

Ensayo CBR - Penetración (suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna)

Penetración									
Penetración	Molde N° 1 (56 Golpes)			Molde N° 2 (25 Golpes)			Molde N° 3 (10 Golpes)		
Pulg.	Kg.	Lbs.	Lbs/pulg2	Kg.	Lbs.	Lbs/pulg2	Kg.	Lbs.	Lbs/pulg2
0.025	95.6	211	70	90.2	199	66	88.4	195	65
0.050	117.2	258	86	105.2	232	77	98.6	217	72
0.075	143.0	315	105	123.1	271	90	109.7	242	81
<b>0.100</b>	<b>158.2</b>	<b>349</b>	<b>116</b>	<b>137.5</b>	<b>303</b>	<b>101</b>	<b>120.4</b>	<b>265</b>	<b>88</b>
0.150	175.6	387	129	157.9	348	116	132.4	292	97
0.200	184.5	407	136	168.5	372	124	140.1	309	103
0.250	193.4	426	142	176.5	389	130	146.5	323	108
0.300	202.7	447	149	185.9	410	137	150.0	331	110
0.400	226.7	500	167	206.4	455	152	156.2	344	115
0.500	264.3	583	194	227.4	501	167	160.2	353	118

Fuente: Elaboración propia

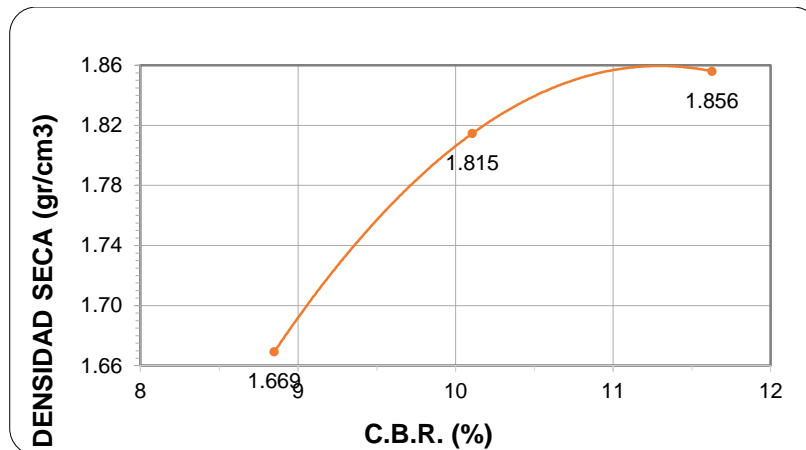


Figura 31. Curva de C.B.R. del suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna

Tabla 41

Ensayo CBR - Suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna

N° Golpes	% CBR	D.S.	Densidad seca gr/cm3	CBR (%)
56	11.6	1.856	100%MDS	10.8
25	10.1	1.815	95%MDS	9.4
10	8.8	1.669		

Fuente: Elaboración propia

Según las categorías para sub rasante con respecto a su valor de CBR mostrado en la Tabla 22 establecido por el Manual de carreteras: Suelos y pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el suelo adicionado con mucílago de penca de tuna en su dosificación Muestra C presenta un CBR de 9.4% por lo tanto, es considerada como sub rasante regular y apto para la capa de la sub rasante.

### Muestra con 75% de mucílago de penca de tuna (Muestra D)

#### ➤ Análisis granulométrico del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna (Muestra D)

Tabla 42

Análisis granulométrico del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna

<b>Peso de la tara</b>	224.97					<b>Peso de tara + muestra lavada seca</b>	333.88
<b>Peso de tara + muestra seca</b>	1556.42					<b>Peso de muestra lavada seco</b>	108.91
<b>Tamiz</b>	<b>Abert.</b>	<b>Ret</b>	<b>%Ret</b>	<b>%Ret Acum</b>	<b>% Pas.</b>		
3"	75	0.00	0.00	0.00	100.00		
2 1/2"	62	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50	0.00	0.00	0.00	100.00		
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/4"	19	5.21	0.39	0.39	99.61		
1/2"	12.5	6.13	0.46	0.85	99.15		
3/8"	9.5	4.98	0.37	1.23	98.77		
1/4"	6.3	0.00	0.00	1.23	98.35		
Nº 4	4.75	8.42	0.63	1.86	98.14		
Nº 10	2	13.21	0.99	2.85	97.15		
Nº 20	0.85	12.12	0.91	3.76	96.24		
Nº 40	0.43	9.57	0.72	4.48	95.52		
Nº 60	0.25	13.98	1.05	5.53	94.47		
Nº 140	0.106	18.75	1.41	6.94	93.06		
Nº 200	0.075	16.54	1.24	8.18	91.82		
<b>Fondo</b>	<b>0</b>	1222.54	91.82	100.00	0.00		
		1331.45	100				

Fuente: Elaboración propia

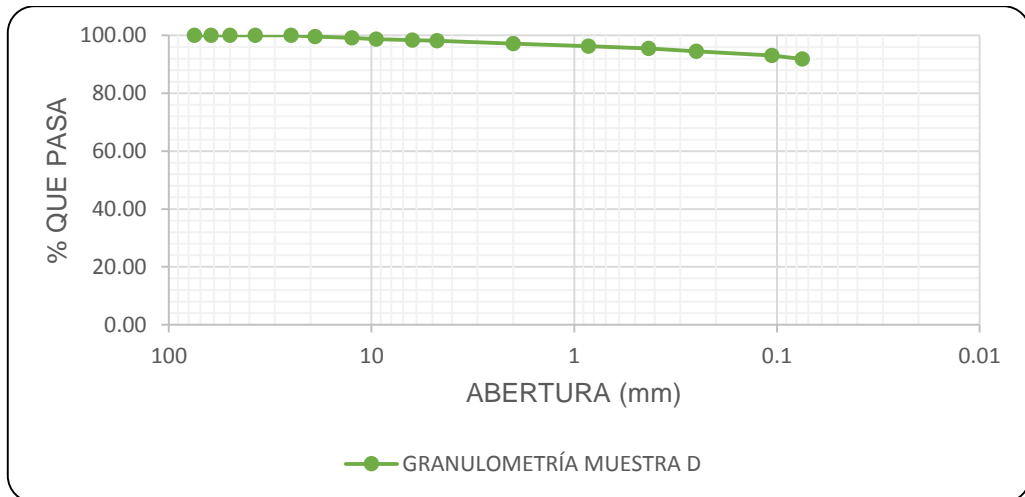


Figura 32. Curva granulométrica del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna

En la muestra del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna se puede evidenciar, que el suelo está compuesto por 91.82% que pasa la malla de 0.075mm, es decir fino, un 6.32% que se encuentra retenido entre las mallas de abertura 0.075mm y 4.75mm, es decir arena, un 1.86% que se encuentra retenido entre la malla de abertura 4.75mm - 75mm, es decir grava.

➤ **Límite líquido del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna (Muestra D)**

Se realizó el ensayo para determinar el límite líquido usando el penetrómetro cónico. Se determinó el límite líquido del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna.

Tabla 43

Límite líquido del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna

		1	2	3	4
Penetración	mm	7.5	14.0	17.6	21.9
Peso de la tara	gr	109.96	109.45	109.6	112.01
Peso de muestra húmeda + tara	gr	132.002	126.83	134.929	140.56
Peso de muestra seca + tara	gr	127.04	122.45	128.15	132.44
Peso del agua	gr	4.962	4.38	6.779	8.12
Peso de la muestra seca	gr	17.08	13	18.55	20.43
% de contenido de humedad	%	29.05	33.69	36.54	39.75
<b>Límite líquido</b>		<b>38.50%</b>			

Fuente: Elaboración propia

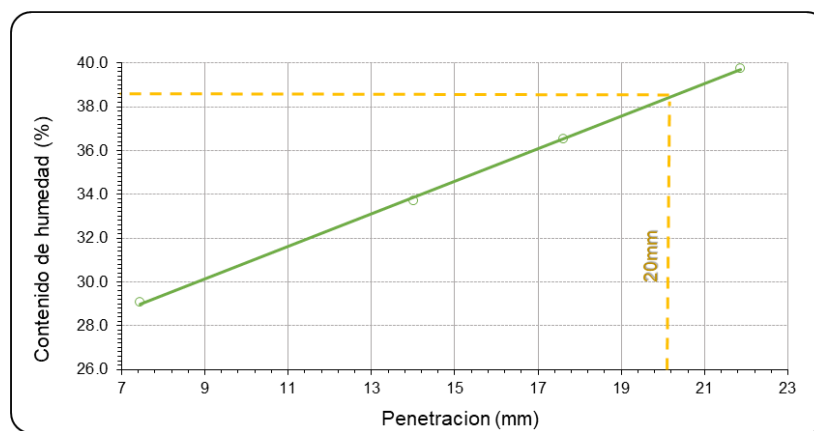


Figura 33. Curva de fluidez del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna

El límite líquido, que es el contenido de agua, expresado en porcentaje, que delimita la transición entre el estado líquido y plástico, se determinó de la Figura 33, correspondiente a la humedad a una profundidad de 20 mm, el resultado muestra que el límite líquido del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna es 38.5%

➤ **Límite plástico del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna (Muestra D)**

Se realizó el ensayo para determinar el límite plástico del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna.

Tabla 44

*Límite plástico del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna*

		1	2
Peso de la tara	gr	111.23	109.96
Peso de muestra húmeda + tara	gr	134.23	129.84
Peso de muestra seca + tara	gr	130.26	126.54
Peso del agua	gr	3.97	3.30
Peso de la muestra seca	gr	19.03	16.58
% de contenido de humedad	%	20.86	19.90
<b>Límite plástico</b>		<b>20.38 %</b>	

Fuente: Elaboración propia

El contenido de agua, expresado en porcentaje, que delimita la transición entre el estado plástico y semisólido, es denominado Límite plástico. Según el ensayo de laboratorio realizado se obtuvo un límite plástico del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna es 20.38%.

➤ **Índice de plasticidad del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna (Muestra D)**

Se determinó el índice de plasticidad del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna.

Tabla 45

*Índice de plasticidad del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna*

Límite líquido	Límite plástico	IP
38.5%	20.38%	18.12%

Fuente: Elaboración propia

El índice de plasticidad del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna es 18.12%. Según la clasificación de suelos según Índice de plasticidad mostrado en la Tabla 16 establecido en el Manual de carreteras: Suelos y pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el suelo adicionado con mucílago de penca de tuna en su dosificación Muestra D tiene Plasticidad media (suelo arcilloso) debido a que su valor de IP es 18.12%.

➤ **Proctor modificado del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna (Muestra D)**

Se realizó en ensayo del proctor modificado del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna, para determinar el óptimo contenido de humedad para la cual el suelo alcanzará su máxima densidad seca.

Tabla 46

*Proctor modificado del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna*

Ensayo	N°	1	2	3	4
<b>Peso específico</b>					
Peso del suelo húmedo + molde	gr	7356	7575	7757	7838
Peso del molde	gr	3271	3271	3271	3271
Peso del suelo húmedo	gr	4085	4304	4486	4567
Volumen del molde	gr	2104	2104	2104	2104
Densidad húmeda	gr/cm <sup>3</sup>	1.942	2.046	2.132	2.171
<b>Contenido de humedad</b>					
Peso de la tara	gr	109.67	111.37	113.37	109.48
Peso del suelo húmedo + tara	gr	297.56	340.12	232.42	249.34
Peso del suelo seco + tara	gr	283.24	316.97	217.21	227.45
Peso del agua	gr	14.32	23.15	15.21	21.89
Peso del suelo húmedo	gr	187.89	228.75	119.05	139.86
Peso del suelo seco	gr	173.57	205.6	103.84	117.97
% de contenido de humedad	%	<b>8.25</b>	<b>11.26</b>	<b>14.65</b>	<b>18.56</b>
<b>Peso específico seco</b>					
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.794</b>	<b>1.839</b>	<b>1.860</b>	<b>1.831</b>
<b>Óptimo contenido de humedad</b>	<b>14.85 %</b>				
<b>Máxima densidad seca</b>	<b>1.86 gr/cm<sup>3</sup></b>				

Fuente: Elaboración propia

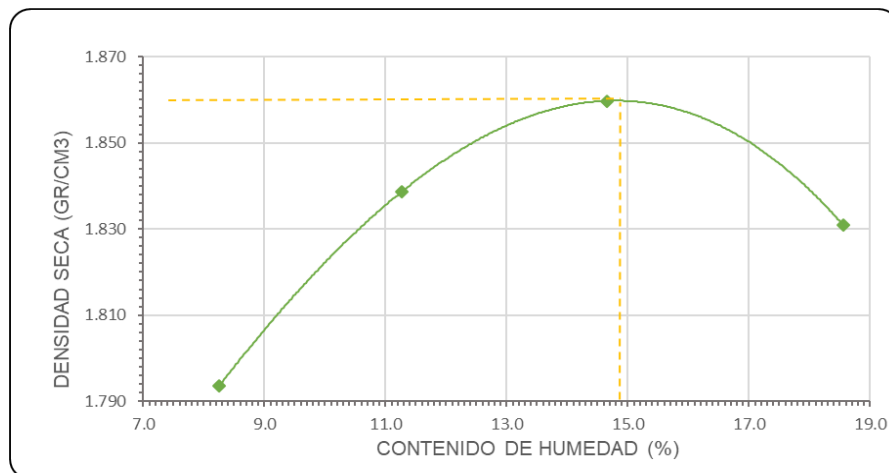


Figura 34. Curva de compactación del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna

El óptimo contenido de humedad es 14.85% y la máxima densidad seca es 1.86 gr/cm<sup>3</sup>.

➤ **Relación de soporte California - California Bearing Ratio (CBR) del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna (Muestra D)**

Se realizó el ensayo denominado CBR, en el cuál se determina un índice de resistencia del suelo.

Tabla 47

*Ensayo CBR - Compactación (Suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna)*

<b>Compactación</b>			
<b>Molde N°</b>	<b>Molde N° 1 (56 Golpes)</b>	<b>Molde N° 2 (25 Golpes)</b>	<b>Molde N° 3 (10 Golpes)</b>
N° de Capa	5	5	5
Golpes por cada N°	<b>56</b>	<b>25</b>	<b>10</b>
Peso molde + muestra húmeda (gr)	9469.00	9525.00	9122.00
Peso del molde (gr)	5089.00	5231.00	5171.00
Peso de la muestra húmeda (gr)	4380.00	4294.00	3951.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2048.00	2048.00	2048.00
Peso volumétrico húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	2.139	2.097	1.929
Contenido de agua W (%) (OCH)	14.85	14.85	14.85
Peso volumétrico seco (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1.862 gr/cm<sup>3</sup></b>	<b>1.826 gr/cm<sup>3</sup></b>	<b>1.680 gr/cm<sup>3</sup></b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48

*Ensayo CBR - Expansión (suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna)*

<b>% Expansión</b>					
<b>Molde N° 1 (56 golpes)</b>		<b>Molde N° 2 (25 golpes)</b>		<b>Molde N° 3 (10 golpes)</b>	
Lectura inicial	Lectura final	Lectura inicial	Lectura final	Lectura inicial	Lectura final
0.000	1.020	0.000	1.420	0.000	1.940
<b>0.875%</b>		<b>1.218%</b>		<b>1.664%</b>	

Fuente: Elaboración propia

Se evidencia una expansión de la Muestra D es de 0.875% para 56 golpes, 1.218 % para 25 golpes y de 1.664% para 10 golpes.

Tabla 49

Ensayo CBR - Penetración (suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna)

Penetración									
Penetración	Molde N° 1 (56 Golpes)			Molde N° 2 (25 Golpes)			Molde N° 3 (10 Golpes)		
Pulg.	Kg.	Lbs.	Lbs/pulg2	Kg.	Lbs.	Lbs/pulg2	Kg.	Lbs.	Lbs/pulg2
0.025	120.6	266	89	120.6	266	89	118.6	262	87
0.050	142.2	314	105	135.0	298	99	128.5	283	94
0.075	168.0	370	123	156.4	345	115	139.7	308	103
<b>0.100</b>	<b>188.2</b>	<b>415</b>	<b>138</b>	<b>175.4</b>	<b>387</b>	<b>129</b>	<b>148.6</b>	<b>328</b>	<b>109</b>
0.150	200.4	442	147	190.4	420	140	159.4	351	117
0.200	209.7	462	154	199.4	440	147	166.8	368	123
0.250	218.4	482	161	207.5	458	153	171.6	378	126
0.300	227.4	501	167	215.8	476	159	175.0	386	129
0.400	251.4	554	185	231.5	510	170	180.4	398	133
0.500	289.5	638	213	252.8	557	186	185.9	410	137

Fuente: Elaboración propia

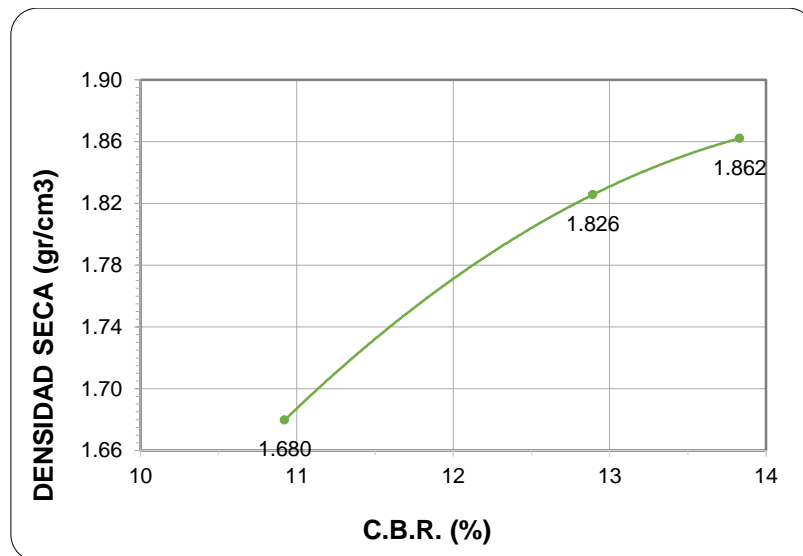


Figura 35. Curva de C.B.R del suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna

Tabla 50

Ensayo CBR - Suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna

N° Golpes	% CBR	D.S.	Densidad seca gr/cm3		CBR (%)
56	13.8	1.862	100% MDS	1.860	13.7
25	12.9	1.826	95% MDS	1.767	<b>11.8</b>
10	10.9	1.680			

Fuente: Elaboración propia



El suelo adicionado con mucílago de penca de tuna en su muestra D presenta un CBR de 11.8% por lo tanto, según la tabla 22 establecida por el Manual de carreteras: Suelos y pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el suelo es considerado como sub rasante buena.

De acuerdo al Manual de carreteras, los suelos deberán ser suelos adecuados con CBR > 6%, por lo tanto, el suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna, es considerando apto para la capa de la sub rasante.

Las características físicas y mecánicas del suelo arcilloso con adición de mucílago de penca de tuna en el Jirón La Unión se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 51

*Resumen de las características físicas y mecánicas de los suelos adicionados con mucílago de penca de tuna y agua*

	<b>Muestra B</b>	<b>Muestra C</b>	<b>Muestra D</b>
	<i>25% Mucílago de penca de tuna</i>	<i>50% Mucílago de penca de tuna</i>	<i>75% Mucílago de penca de tuna</i>
<b>Granulometría</b>	94.21% material fino, 4.87% de arena, 0.92% de grava	93.02% material fino, 5.68% de arena, 1.29% de grava	91.82% material fino, 6.32% de arena, 1.86% de grava
<b>Limite líquido (LL)</b>	37.6 %	38.1 %	38.5 %
<b>Limite plástico (LP)</b>	18.19 %	19.82 %	20.38 %
<b>Índice plástico (IP)</b>	19.41 %	18.28 %	18.12 %
<b>Clasificación SUCS</b>	CL	CL	CL
<b>Clasificación AASHTO</b>	A-6 (19)	A-6 (18)	A-6 (17)
<b>Máxima densidad seca (MDS)</b>	1.85 gr/cm <sup>3</sup>	1.854 gr/cm <sup>3</sup>	1.86 gr/cm <sup>3</sup>
<b>Óptimo contenido de humedad (OCH)</b>	14.0 %	14.2 %	14.85 %
<b>CBR AL 95% MDS</b>	<b>7.6 %</b>	<b>9.4 %</b>	<b>11.8 %</b>
<b>Expansión (%)</b>	1.098% - 56 golpes 1.398% - 25 golpes 1.784% - 10 golpes	1.046% - 56 golpes 1.338% - 25 golpes 1.733% - 10 golpes	0.875% - 56 golpes 1.218% - 25 golpes 1.664% - 10 golpes

Fuente: Elaboración propia

Las características físicas y mecánicas del suelo se modifican con la adición de mucílago de penca de tuna en sus distintas dosificaciones. Se puede evidenciar el incremento del límite líquido, incremento en el valor del límite plástico, disminución del índice de plasticidad, la expansión disminuye con el incremento de mucílago de penca de tuna, asimismo incrementa el CBR a 7.6% con 25% de mucílago de penca de tuna, a 9.4% con la adición de 50% de mucílago de penca de tuna y de 11.8% con la adición de 75% de mucílago de penca de tuna. De acuerdo a la Tabla 22 establecido por el Manual de carreteras los suelos aptos para las capas de sub rasante son con  $CBR \geq 6\%$ , por lo tanto, los suelos adicionados con mucilago de penca de tuna en sus tres dosificaciones son aptos para ser utilizada como capa de sub rasante.

**c. Determinar la dosificación óptima del mucílago de penca de tuna para mejorar las características físico-mecánicas del suelo arcilloso en el Jirón La Unión**

Para determinar la dosificación óptima del mucílago de penca de tuna para mejorar las características físico- mecánicas del suelo, analizaremos los efectos de cada de una de las dosificaciones de mucílago de penca de tuna en las características más importantes para la sub rasante.

Tabla 52  
Comparación de características para la sub rasante

Muestra		CBR AL 95% MDS	Expansión (%)
<b>Muestra A</b>	<i>Suelo del Jirón La Unión</i>	5.70 %	1.132% - 56 golpes 1.450% - 25 golpes 1.818% - 10 golpes
<b>Muestra B</b>	<i>25% Mucílago de penca de tuna</i>	7.60 %	1.098% - 56 golpes 1.398% - 25 golpes 1.784% - 10 golpes
<b>Muestra C</b>	<i>50% Mucílago de penca de tuna</i>	9.40 %	1.046% - 56 golpes 1.338% - 25 golpes 1.733% -10 golpes
<b>Muestra D</b>	<i>75% Mucílago de penca de tuna</i>	11.10 %	0.875% - 56 golpes 1.218% - 25 golpes 1.664% - 10 golpes

Fuente: Elaboración propia

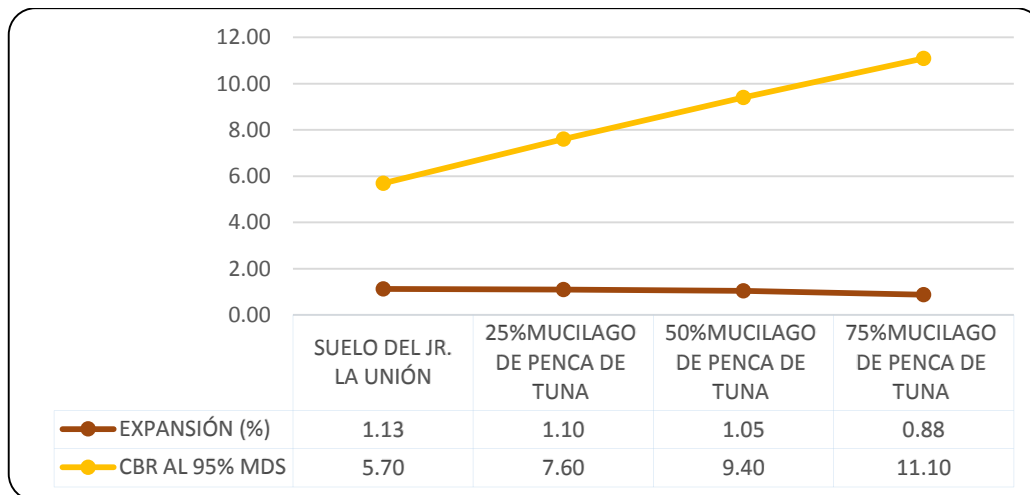


Figura 36. Comparación de características importantes para la sub rasante

La dosificación que presenta mejor comportamiento es adicionando 75% de mucílago de penca de tuna, en el cual se evidencia mayor disminución de la expansión. Asimismo, el CBR aumenta a 11.10 %, lo cual según el Manual de carreteras: Suelos y pavimentos el suelo es considerado como sub rasante buena.

## 4.2. Resultado general

### ➤ Análisis granulométrico

Se realizó la comparación del análisis granulométrico de las cuatro muestras (suelo del Jirón La Unión, suelos adicionados con 25% de mucílago de penca de tuna, 50% de mucílago de penca de tuna y 75% de mucílago de penca de tuna).

Tabla 53  
Comparación de granulometría

Tamiz	Abertura (mm)	% Que pasa			
		Muestra A <i>Suelo del Jirón La Unión</i>	Muestra B <i>25% Mucílago de penca de tuna</i>	Muestra C <i>50% Mucílago de penca de tuna</i>	Muestra D <i>75% Mucílago de penca de tuna</i>
3"	75.000	100.00	100.00	100.00	100.00
2 1/2"	62.000	100.00	100.00	100.00	100.00
2"	50.000	100.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	37.500	100.00	100.00	100.00	100.00
1"	25.000	100.00	100.00	100.00	100.00
3/4"	19.000	100.00	99.90	99.80	99.60
1/2"	12.500	99.80	99.70	99.40	99.10
3/8"	9.500	99.70	99.50	99.20	98.80
1/4"	6.300	99.50	99.20	98.90	98.30
Nº4	4.750	99.30	99.10	98.70	98.10
Nº10	2.000	98.70	98.40	97.80	97.10
Nº20	0.850	98.10	97.70	97.00	96.20
Nº40	0.430	97.60	97.10	96.40	95.50
Nº60	0.250	97.10	96.50	95.50	94.50
Nº140	0.106	95.60	95.00	94.10	93.10
Nº200	0.075	95.10	94.21	93.02	91.82

Fuente: Elaboración propia

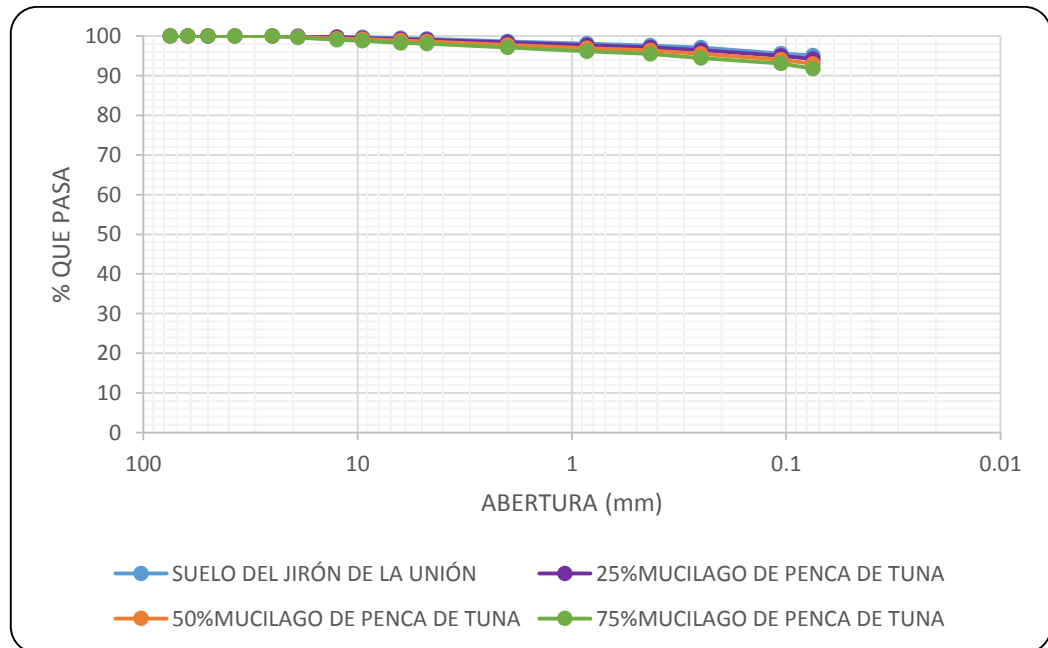


Figura 37. Comparación de curva granulométrica

Según el gráfico se puede observar que las curvas granulométricas de las muestras de suelo del Jirón La Unión, suelos adicionados con 25%,50% y 75% de mucílago de penca de tuna están compuestos por más del 91% de material fino en las tres muestras y no presentan variación representativa.

➤ **Límite líquido (LL)**

Tabla 54  
Comparación de límite líquido

Muestra		Límite líquido (LL)
Suelo del Jirón La Unión	Muestra A	37.1 %
25% Mucílago de penca de tuna	Muestra B	37.6 %
50% Mucílago de penca de tuna	Muestra C	38.1 %
75% Mucílago de penca de tuna	Muestra D	38.5 %

Fuente: Elaboración propia

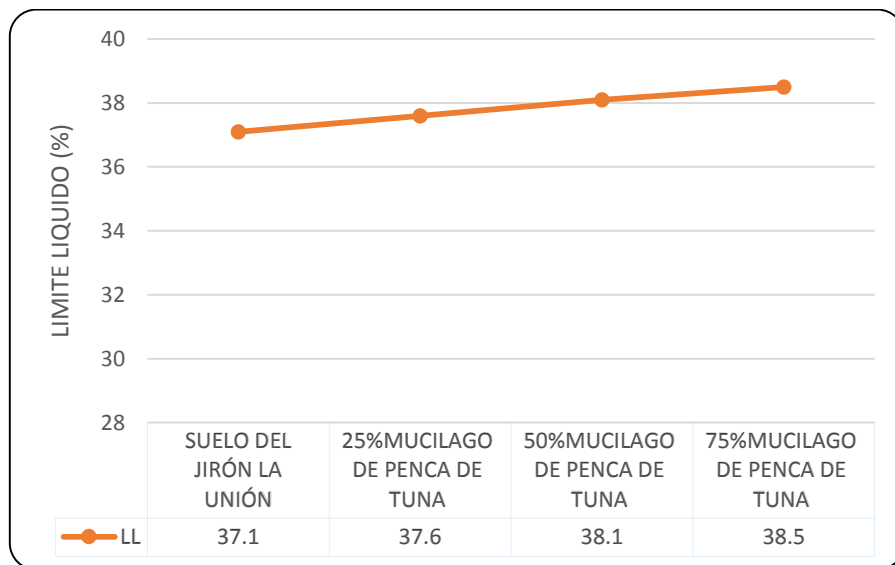


Figura 38. Comparación de límite líquido

En el suelo adicionado con 25% de mucílago de penca de tuna el valor de límite líquido aumenta en 0.5%, en el suelo adicionado con 50% con mucílago de penca de tuna el límite líquido aumenta en 1%, y en el suelo

adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna el límite líquido aumenta en 1.4%. Según el gráfico se puede observar Es según va aumentando la dosificación de mucílago de penca de tuna se incrementa el límite líquido en las muestras B, C y D.

➤ **Límite plástico (LP)**

Tabla 55  
Comparación de límite plástico

Muestra		Límite plástico (LP)
Suelo del Jirón La Unión	Muestra A	14.32 %
25% Mucílago de penca de tuna	Muestra B	18.19 %
50% Mucílago de penca de tuna	Muestra C	19.82 %
75% Mucílago de penca de tuna	Muestra D	20.38 %

Fuente: Elaboración propia

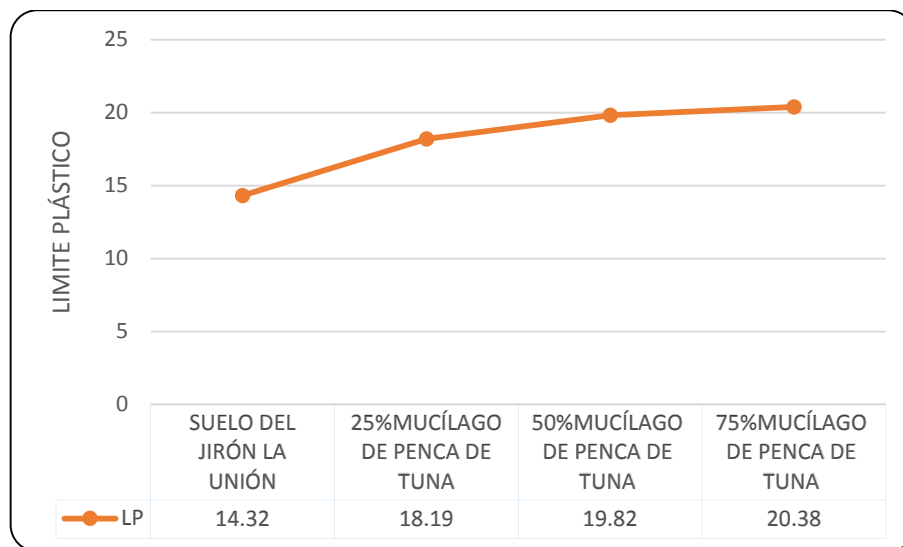


Figura 39. Comparación de límite plástico

El suelo adicionado con 25% de penca de tuna el límite plástico aumenta en 3.87%, en el suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna el límite plástico aumenta en 5.5%, y en el suelo adicionado con 75% de

mucílago de penca de tuna el límite plástico aumenta en 6.06%, es decir el incremento del límite plástico se evidencia con el aumento de la cantidad de mucílago de penca de tuna en las muestras B, C y D.

➤ **Índice de plasticidad (IP)**

Tabla 56  
Comparación de índice de plasticidad

Muestra		Índice plástico (IP)
Suelo del Jirón La Unión	Muestra A	22.78 %
25% Mucílago de penca de tuna	Muestra B	19.41 %
50% Mucílago de penca de tuna	Muestra C	18.28 %
75% Mucílago de penca de tuna	Muestra D	18.12 %

Fuente: Elaboración propia

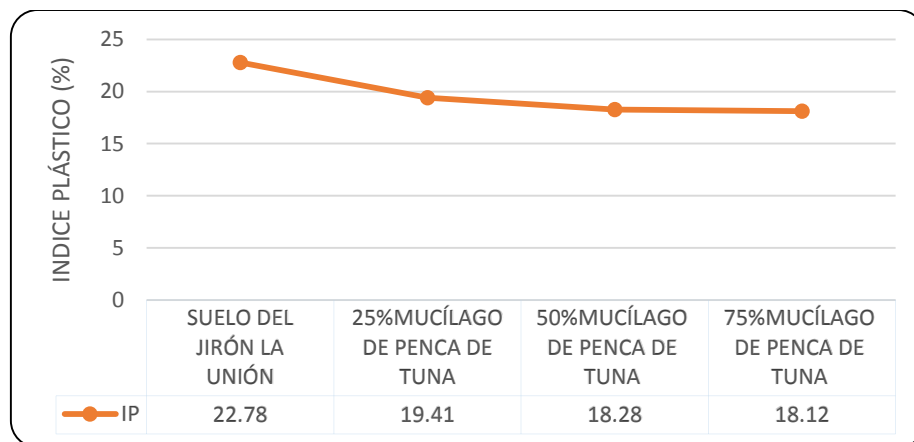


Figura 40. Comparación de índice de plasticidad

En el gráfico se puede observar que en el suelo adicionado con 25% de penca de tuna el índice de plasticidad disminuye 3.37%, en el suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna el índice de plasticidad disminuye 4.5%, y en el suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna el índice de plasticidad disminuye 4.66%. El del índice de

plasticidad disminuye según va aumentando la dosificación de mucílago de penca de tuna.

➤ **Proctor modificado (Máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad)**

Tabla 57

Comparación del proctor modificado Óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca)

Muestra		Óptimo contenido de humedad (OCH)	Máxima densidad seca (MDS)
Suelo del Jirón La Unión	Muestra A	13.7 %	1.846 gr/cm <sup>3</sup>
25% Mucílago de penca de tuna	Muestra B	14.0 %	1.85 gr/cm <sup>3</sup>
50% Mucílago de penca de tuna	Muestra C	14.2 %	1.854 gr/cm <sup>3</sup>
75% Mucílago de penca de tuna	Muestra D	14.85 %	1.86 gr/cm <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia

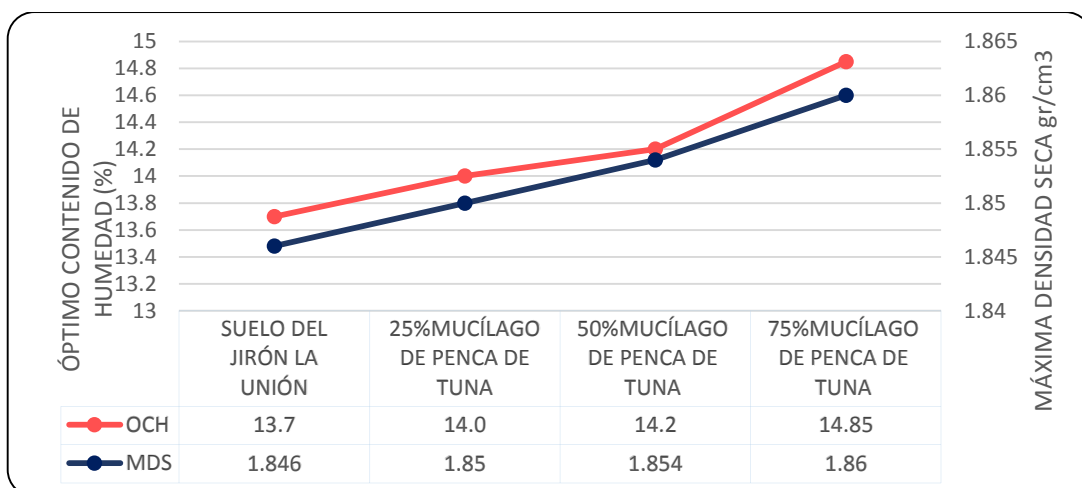


Figura 41. Comparación del proctor modificado (Óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca)

En el gráfico se puede observar el incremento de la máxima densidad seca (MDS) según va aumentando la dosificación de mucílago de penca de tuna en las muestras B, C y D. Asimismo, se puede observar el incremento del óptimo contenido de humedad (OCH) según va aumentando el mucílago de penca de tuna.



## ➤ Expansión

Tabla 58  
*Comparación de la Expansión*

Muestra		Expansión (%)
Suelo del Jirón La Unión	Muestra A	1.132% - 56 golpes
		1.450% - 25 golpes
		1.818% - 10 golpes
25% Mucílago de penca de tuna	Muestra B	1.098% - 56 golpes
		1.398% - 25 golpes
		1.784% - 10 golpes
50% Mucílago de penca de tuna	Muestra C	1.046% - 56 golpes
		1.338% - 25 golpes
		1.733% - 10 golpes
75% Mucílago de penca de tuna	Muestra D	0.875% - 56 golpes
		1.218% - 25 golpes
		1.664% - 10 golpes

Fuente: Elaboración propia

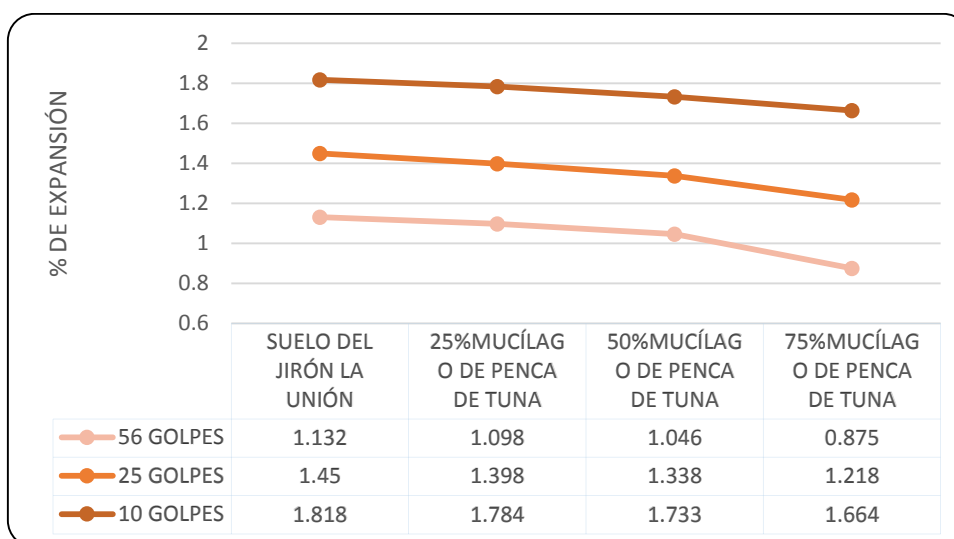


Figura 42. Comparación de la Expansión

En el gráfico se puede observar el decremento de la expansión de la muestra según va incrementando la dosificación de mucílago de penca de tuna en las muestras B, C y D. Observando un mayor decremento mayor en el suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna (Muestra D).

➤ **Relación de soporte California - California Bearing Ratio (CBR) al 95% de la MDS**

Tabla 59  
Comparación de CBR

MUESTRA		CBR AL 95% MDS
Suelo del Jirón La Unión	Muestra A	5.7 %
25% Mucílago de penca de tuna	Muestra B	7.6 %
50% Mucílago de penca de tuna	Muestra C	9.4 %
75% Mucílago de penca de tuna	Muestra D	<b>11.8 %</b>

Fuente: Elaboración propia

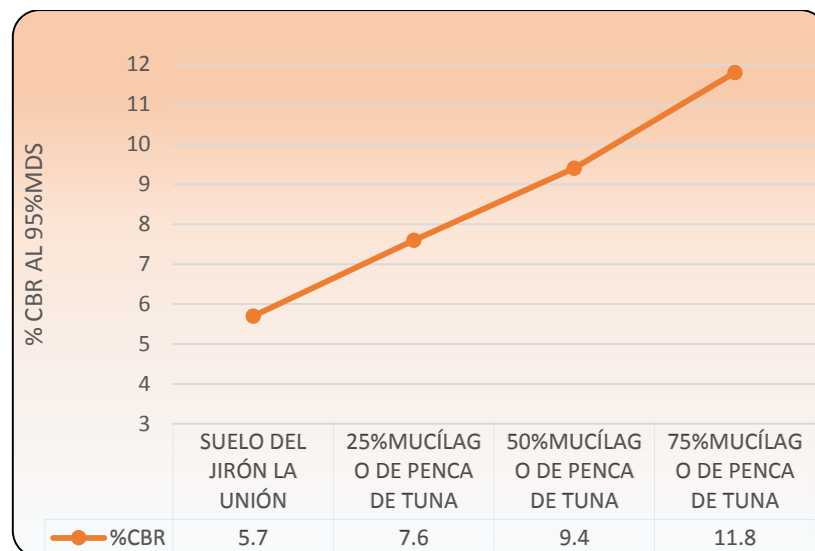


Figura 43. Comparación de CBR

Se evidencia que en el suelo adicionado con 25% de penca de tuna CBR aumenta en 1.9%, en el suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna el CBR aumenta en 3.7%, y en el suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna el CBR aumenta en 6.1%. En la figura se evidencia el incremento del CBR al 95% de su Máxima densidad seca según va incrementando la dosificación de mucílago de penca de tuna en las muestras B, C y D. Según las categorías para sub rasante con respecto a su valor de CBR mostrado en la Tabla 22 establecido por Manual de carreteras, el suelo del Jirón La Unión es una sub rasante

insuficiente, por lo tanto, no apta, los suelos adicionados con 25% de mucílago de penca de tuna; así como el suelo adicionado con 50% de mucílago de penca de tuna son sub rasante regular, por lo tanto, aptas. El suelo adicionado con 75% de mucílago de penca de tuna es una sub rasante buena, por lo tanto, es apta para la sub rasante.

Las características físicas y mecánicas del suelo del Jirón La Unión y suelo con adición de mucílago de penca de tuna en el Jirón La Unión, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 60

*Resumen de las características físicas y mecánicas del suelo del Jirón La Unión y adicionado con mucílago de penca de tuna*

	<b>Muestra A</b>	<b>Muestra B</b>	<b>Muestra C</b>	<b>Muestra D</b>
	Suelo del Jirón La Unión	25% Mucílago de penca de tuna	50% Mucílago de penca de tuna	75% Mucílago de penca de tuna
<b>Granulometría</b>	95.1% material fino, 4.29% de arena, 0.65% de grava	94.21% material fino, 4.87% de arena, 0.92% de grava	93.02% material fino, 5.68% de arena, 1.29% de grava	91.82% material fino, 6.32% de arena, 1.86% de grava
<b>Límite líquido (LL)</b>	37.1%	37.6%	38.1%	38.5%
<b>Límite plástico (LP)</b>	14.32%	18.19%	19.82%	20.38%
<b>Índice plástico (IP)</b>	22.78%	19.41%	18.28%	18.12%
<b>Clasificación SUCS</b>	CL	CL	CL	CL
<b>Clasificación AASHTO</b>	A-6 (21)	A-6 (19)	A-6 (19)	A-6 (17)
<b>Máxima densidad seca (MDS)</b>	1.846 gr/cm <sup>3</sup>	1.85 gr/cm <sup>3</sup>	1.854 gr/cm <sup>3</sup>	1.86 gr/cm <sup>3</sup>
<b>Óptimo contenido de humedad (OCH)</b>	13.7%	14.0%	14.2%	14.85%
<b>Expansión (%)</b>	1.132% - 56 golpes 1.450% - 25 golpes 1.818% - 10 golpes	1.098% - 56 golpes 1.398% - 25 golpes 1.784% - 10 golpes	1.046% - 56 golpes 1.338% - 25 golpes 1.733% - 10 golpes	0.875% - 56 golpes 1.218% - 25 golpes 1.664% - 10 golpes
<b>CBR AL 95% MDS</b>	5.7%	7.6%	9.4%	11.8%

Fuente: Elaboración propia

Con la adición de mucílago de penca de tuna en el suelo del Jirón La Unión en sus distintas dosificaciones los efectos que se pueden evidenciar son: el incremento del límite líquido, incremento en el valor del límite plástico, disminución del índice de plasticidad, disminución de la expansión, asimismo aumento del CBR, obteniendo valores por encima del 6%, lo que según el Manual de carreteras hace que los valores de CBR obtenidos hagan apto el suelo para ser utilizado como sub rasante.

## **CAPITULO V: DISCUSION DE RESULTADOS**

### **5.1. Específicos**

- a. El suelo del Jirón La Unión está compuesto por 95.1% de material fino, tiene un índice de plasticidad de 22.78%, es decir el suelo extraído del Jirón La Unión tiene Plasticidad alta (suelo muy arcilloso), por lo tanto, de acuerdo a su clasificación AASHTO es un suelo A-6(21) y de acuerdo a su clasificación SUCS es CL (Arcilla Inorgánica de plasticidad baja). Asimismo, su máxima densidad seca (MDS) es de 1.846 gr/cm<sup>3</sup> con un óptimo contenido de humedad de 13.7%, presenta una expansión de 1.132% para 56 golpes, 1.45% para 25 golpes y de 1.818% para 10 golpes y un CBR de 5.7%. De acuerdo al Ministerio de Transportes y Comunicaciones el suelo del Jirón La Unión es considerado como una sub rasante insuficiente, por lo tanto, no es apto para ser utilizado como sub rasante, por lo tanto la hipótesis “Según las características físicas y mecánicas del suelo en el Jirón La Unión, el suelo no será apto para ser utilizado como sub rasante según el Manual de carreteras” es aceptada, esto se ratifica con los resultados de las pruebas de laboratorio del expediente técnico “Mejoramiento vial del Jr. Francisco Toledo tramo: Jr. San Martín – río Alí, distrito de Chilca, Huancayo - Junín”, con código SNIP N° 117969, donde los estudios de suelos encontraron suelo arcilloso CL, con valor de CBR de 5.20% para una penetración de 0.1” al 95% de la máxima densidad seca.

- b. Las características físicas y mecánicas del suelo se modifican con la adición de mucílago de penca de tuna en sus distintas dosificaciones. Se puede evidenciar el incremento del límite líquido, incremento en el valor del límite plástico, disminución del índice de plasticidad, la expansión disminuye con el incremento de mucílago de penca de tuna, asimismo incrementa el CBR a 7.6% con 25% de mucílago de penca de tuna, a 9.4% con la adición de 50% de mucílago de penca de tuna y de 11.8% con la adición de 75% de mucílago de penca de tuna. De acuerdo al Manual de carreteras los suelos aptos para las capas de sub rasante son con  $\text{CBR} \geq 6\%$ , por lo tanto, los suelos adicionados con mucilago de penca de tuna en sus tres dosificaciones son aptos para ser utilizada como capa de sub rasante, por lo tanto la hipótesis es aceptada, “Según las características físicas y mecánicas del suelo para sub rasante con adición de mucílago de penca de tuna en el Jirón La Unión, los suelos serán aptos para ser utilizados como sub rasante según el Manual de carreteras”, esto se ratifica con los resultados de Teresa López, Juan Hernández y Jaime Horta, en la investigación “Polímeros para la estabilización volumétrica de arcillas expansivas” realizado para la División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería; Universidad Autónoma de Querétaro, México 2010, en la cual demostraron que la mezcla suelo-polímero tiene una reducción en la expansión del suelo.
- c. La dosificación que presenta mejor comportamiento es adicionando 75% de mucílago de penca de tuna, en el cual se evidencia mayor disminución de la expansión. Asimismo, el CBR aumenta a 11.10 %, lo cual según el Manual de carreteras: Suelos y pavimentos el suelo es considerado como sub rasante buena, por lo tanto, la hipótesis es aceptada, “La dosificación del mucílago de penca de tuna que tendrá mejor comportamiento para mejorar las características físico-mecánicas del suelo para sub rasante en el Jirón La Unión, será la de mayor porcentaje de mucilago de penca de tuna”, esto se ratifica con los resultados de los Bachilleres Diana Quintana y Mithdwar Vera, en su tesis "Evaluación de la resistencia a compresión de adobes con sustitución parcial y total de agua en peso por mucílago de

tuna en porcentajes Del 0%, 25%, 50%, 75% Y 100%” en el año 2017, para la Universidad Andina del Cusco, donde concluye que a mayor porcentaje de mucílago de penca de tuna, los adobes, mayor será la resistencia a compresión. Además, recomiendan usar los porcentajes de 75% y 100% de la sustitución de agua por mucilago de tuna.

## **5.2. General**

Con la adición de mucílago de penca de tuna en el suelo del Jirón La Unión en sus distintas dosificaciones los efectos que se pueden evidenciar son: el incremento del límite líquido, incremento en el valor del límite plástico, disminución del índice de plasticidad, disminución de la expansión, asimismo aumento del CBR, obteniendo valores por encima del 6%, lo que según el Manual de carreteras hace que los valores de CBR obtenidos hagan apto el suelo para ser utilizado como sub rasante, por lo tanto, la hipótesis “Los efectos en la sub rasante por la adición del mucílago de penca de tuna para la estabilización del suelo arcilloso en el Jirón La Unión, Chilca, Huancayo, 2018, serán aceptables por el Manual de Carreteras” es aceptada, esto se ratifica con los resultados obtenidos de la investigación de los Bachilleres Diana Quintana y Mithdwar Vera "Evaluación de la resistencia a compresión de adobes con sustitución parcial y total de agua en peso por mucílago de tuna en porcentajes Del 0%, 25%, 50%, 75% Y 100%” 2017, para la Universidad Andina del Cusco, donde demostraron que al elaborar adobes sustituyendo el agua en peso por mucílago de tuna en porcentajes del 0%, 25%, 50%, 75% y 100 se aumenta la resistencia a compresión del adobe conforme se incremente la cantidad de mucílago.

## CONCLUSIONES

1. Las características físicas y mecánicas del suelo en el Jirón La Unión son insuficientes, por lo tanto, no aptos para ser utilizado como sub rasante según el Manual de carreteras.
2. Las características físicas y mecánicas del suelo con adición de mucilago de penca de tuna mejoran en sus tres dosificaciones, por lo tanto, son aptos para ser utilizados como sub rasante según el Manual de carreteras.
3. La dosificación de 75% de mucilago de penca de tuna presenta mejor comportamiento en el mejoramiento de las características físico - mecánicas del suelo para sub rasante en el Jirón La Unión.
4. La adición de mucilago de penca de tuna en el suelo en sus distintas dosificaciones estabiliza el suelo arcilloso en el Jirón La Unión, por lo tanto, el suelo es aceptable para ser utilizado como sub rasante según el Manual de Carreteras.



## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda ampliar la investigación realizando ensayos con más dosificaciones de mucílago de penca de tuna.
2. Realizar, evaluar y profundizar la investigación aplicando el mucílago de penca de tuna en diferentes tipos de suelos.
3. Para la extracción del mucílago de tuna, se debe tener en cuenta los días de maceración ya que el objetivo es obtener el mucílago.
4. Revisar cuidadosamente las normas requeridas en la realización de los ensayos de laboratorio, para minimizar errores en los resultados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) Flores, J. (2015). *Estabilización de suelos con fines de conformación de la estructura de un pavimento flexible estabilizado con cemento en la ciudad de Juliaca*. Juliaca, Puno: Universidad andina Nestor Caceres Velasquez.
- (2) Solminihac , H., Echeverria , G., & Thenoux, G. (2001). *Estabilización Química de Suelos: Aplicaciones en la construcción de estructuras de pavimentos*. Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- (3) Quintana, D., & Vera, M. (2017). *Evaluación de la resistencia a compresión de adobes con sustitución parcial y total de agua en peso por mucílago de tuna en porcentajes del 0%, 25%, 50%, 75% y 100%*. Cusco, Perú: Universidad Andina del Cusco.
- (4) Municipalidad distrital de Chilca. (2015). *Expediente técnico "Mejoramiento vial del Jr. Francisco Toledo tramo:Jr. San Martín - río Alí, distrito de Chilca, Huancayo - Junín"*.
- (5) López, T., Hernández, J., & Horta, J. (2010). *Polimeros para la estabilización volumétrica de arcillas expansivas*. México: Universidad Autonoma de Querétaro.
- (6) Chavez, C. M., Echevarria, J. O., & Iriondo, V. H. (2018). *Modelación multicapa elástica de pavimentos flexibles en el Salvador mediante la aplicación de software*. El Salvador: Universidad de el Salvador.
- (7) Ministerio de vivienda. construcción y saneamiento. (2010). *Pavimntos Urbanos CE.010- Reglamento Nacional de Edificaciones*.
- (8) Ministerio de transportes y comunicaciones. (9 de Abril de 2014). *Manual de carreteras: Suelos, geología, geotécnia y pavimentos*. Lima.
- (9) Indecopi. (2008). *Normas técnicas peruanas:Suelos*.
- (10) Ministerio de transportes y comunicaciones. (3 de Junio de 2016). *Manual de ensayo de materiales*.
- (11) Cedeño, D. G. (2013). *Investigación de la estabilización de suelos con enzima aplicado a la sub-rasante de la avenida Quitumbe - Ñan, Canton Quito*. Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- (12) Orozco, E. (2017). *Elaboración y caracterizacion de mucilago de nopal-pectina:Efecto de la concentración del mucilago de nopal en las propiedades fisicoquimicas y mecánicas*. México: Universidad autónoma del estado de México.
- (13) Montejó, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- (14) Escobar, C. E., & Duque , G. (2002). *Mecánica de suelos*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

## **ANEXO A: MATRIZ DE CONSISTENCIA**

TEMA:	ADICIÓN DEL MUCÍLAGO DE PENCA DE TUNA PARA ESTABILIZAR SUELO ARCILLOSO, CHILCA			
<b>Problema</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Variables</b>	<b>Metodología</b>
<b>General</b>	<b>General</b>	<b>General</b>	<b>Independiente</b> Adición del mucilago de penca de tuna	<b>Método de investigación:</b>  Método científico  <b>Tipo de investigación</b>  Aplicada - Cuantitativa
¿Cuáles serán los efectos en la sub rasante por la adición del mucílago de penca de tuna para la estabilización del suelo arcilloso en el Jirón La Unión, Chilca, Huancayo, 2018?	Determinar los efectos en la sub rasante por la adición del mucílago de penca de tuna para la estabilización del suelo arcilloso en el Jirón La Unión, Chilca, Huancayo, 2018	Los efectos en la sub rasante por la adición del mucílago de penca de tuna para la estabilización del suelo arcilloso en el Jirón La Unión, Chilca, Huancayo, 2018, serán aceptables por el Manual de Carreteras.		
<b>Específicos</b>	<b>Específicos</b>	<b>Específicos</b>		
a. ¿Cuáles serán las características físicas y mecánicas del suelo para sub rasante?	a. Evaluar las características físicas y mecánicas del suelo para sub rasante	a. Las características físicas y mecánicas del suelo en el Jirón La Unión, no serán aptos para ser utilizado como sub rasante según el Manual de carreteras.		
b. ¿Cuáles serán las características físicas y mecánicas del suelo para sub rasante con adición de mucilago de penca de tuna?	b. Evaluar las características físicas y mecánicas del suelo para sub rasante con adición de mucilago de penca de tuna.	b. Las características físicas y mecánicas del suelo para sub rasante con adición de mucílago de penca de tuna en el Jirón La Unión, serán aptos para ser utilizados como sub rasante según el Manual de carreteras.		
c. ¿Cuál será la dosificación del mucílago de penca de tuna que tendrá mejor comportamiento para mejorar las características físicas y mecánicas del suelo para sub rasante?	c. Identificar la dosificación del mucílago de penca de tuna que tendrá mejor comportamiento para mejorar las características físicas y mecánicas del suelo para sub rasante	c. La dosificación del mucílago de penca de tuna que tendrá mejor comportamiento para mejorar las características físicas y mecánicas del suelo para sub rasante en el Jirón La Unión, será la de mayor porcentaje de mucilago de penca de tuna		

## **ANEXO B: PRESUPUESTO**

## **ANEXO C: CERTIFICADOS DE LABORATORIO**