



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERA CIVIL**

Estudio del mucílago de penca de tuna para la estabilización de suelos arenoso arcilloso en la subrasante, Jicamarca Huarochiri 2019

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER EN INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**AUTORES:**

Chaca Limache, Cristhian Manuel (Orcid: 0000-0002-7105-0959)  
Choquecahua Cahuana, Yoselin Nicol (Orcid: 0000-0003-4203-8501)  
Marmanillo Mamani, Daina Giovanna (Orcid: 0000-0002-7213-0766)  
Villegas Aguilar, Maria Fernanda (Orcid: 0000-0003-3479-8316)

**ASESOR:**

Mg. Choque Flores, Leopoldo (Orcid: 0000-0003-0914-7159)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de Infraestructura Vial

LIMA-PERÚ  
2019

## **HOJA DE CONFORMIDAD DE JURADO**

### **Dedicatoria**

A nuestros padres, quienes con su amor incondicional nos brindaron su apoyo y nos guiaron en este largo camino para así nosotros cumplir nuestras metas.

### **Agradecimiento**

A todas nuestras familias, por su apoyo y palabras de aliento.

A nuestro asesor, por brindarnos su conocimiento y orientación para la realización de este trabajo de investigación.

## Declaratoria de autenticidad

Chaca Limache Cristhian Manuel, Choquecahua Cahuana Yoselin Nicol, Marmanillo Mamani Daina Giovanna y Villegas Aguilar Maria Fernanda, identificados con DNI N° 74082739 N° 73909420 N° 70303971, N° 73011328, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería Civil, Escuela Profesional de Ingeniería, declaramos bajo juramento que toda la documentación que acompañamos es veraz y auténtica. Asimismo, declaramos también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en el presente trabajo de investigación son auténticos y veraces. En tal sentido, asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión de información aportada por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, 03 de Diciembre del 2019.

---

Cristhian Manuel Chaca Limache  
DNI: 74082739

---

Yoselin Nicol Choquecahua Cahuana  
DNI: 73909420

---

Daina Giovanna Marmanillo Mamani  
DNI: 70303971

---

Maria Fernanda Villegas Aguilar  
DNI:73011328

## ÍNDICE

HOJA DE CONFORMIDAD DE JURADO .....	ii
Dedicatoria .....	iii
Agradecimiento.....	iv
Declaratoria de autenticidad.....	v
RESUMEN.....	x
ABSTRACT .....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Realidad problemática: .....	1
Antecedentes Internacionales:.....	1
Antecedentes Nacionales: .....	3
Teorías relacionadas al tema:.....	4
Formulación del problema.....	11
Justificación .....	12
Hipótesis:.....	12
Hipótesis general.....	12
Hipótesis específicas: .....	13
Objetivos: .....	13
Objetivo general.....	13
Objetivos específicos .....	13
II. MÉTODO .....	13
2.1. Variables operacionales:.....	13
2.1.1. Variables:.....	13
2.1.2. Operacionalización:.....	14
2.2. Tipo y diseño de investigación: .....	15
2.2.1. Tipo de la investigación: .....	15
2.2.2. Diseño de investigación: .....	15
2.3. Población, muestra y muestreo: .....	15
2.3.1. Población:.....	15

2.3.2. Muestra:.....	15
2.3.3. Muestreo:.....	15
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad: .....	16
2.5. Procedimiento: .....	17
2.6. Método de análisis de datos: .....	32
2.7. Aspectos éticos:.....	32
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:.....	33
IV. CONCLUSIONES:.....	41
V. RECOMENDACIONES Y REFERENCIAS: .....	43
ANEXOS.....	46

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de Suelos según tamaño de partículas .....	7
Tabla 2. Clasificación de suelos según índice de plasticidad .....	8
Tabla 3. Clasificación de Suelos según índice de Grupo .....	9
Tabla 4. Categorías de subrasante .....	9
Tabla 5. Número de calicatas para exploración de suelos .....	11
Tabla 6. Operacionalización de variables .....	14
Tabla 7. Formato de Análisis granulométrico .....	18
Tabla 8. Formatos de límites de Atterberg .....	19
Tabla 9. Formato de Proctor modificado.....	20
Tabla 10. Formato de Compactación.....	21
Tabla 11. Formato de expansión.....	21
Tabla 12. Formato de penetración .....	22
Tabla 13. Análisis granulométrico.....	33
Tabla 14. Curva Granulométrica .....	34
Tabla 15. Límite líquido .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 16. Curva de fluidez del suelo .....	35
Tabla 17. Límite plástico .....	35
Tabla 18. Índice de plasticidad.....	36
Tabla 19. Proctor modificado .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 20. Curva de compactación .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 21. Compactación.....	38
Tabla 22. Expansión .....	39
Tabla 23. Penetración .....	39
Tabla 24. Matriz de consistencia .....	46



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Retirado de espinas .....	25
Figura 2. Picado de la penca de tuna .....	25
Figura 3. Colado del mucílago .....	25
Figura 4. Lavado de material.....	33
Figura 5. Clasificación de estratos.....	33
Figura 6. Tamizado.....	33
Figura 7. Colocación del material.....	34
Figura 8. Muestra.....	34
Figura 9. Elaboración del gusanito .....	36
Figura 10. Compactación del material.....	38
Figura 11. Pesado del material a usar .....	38
Figura 12. Muestra antes de llevarse al horno .....	38
Figura 13. Colocación de muestra en la máquina.....	41
Figura 14. Remojo de muestra por 96 horas.....	41
Figura 15. Penetración.....	41

## RESUMEN

Según los estudios de suelos realizados en la zona de Jicamarca Huarochiri en el análisis granulométrico nos indica que es suelo arena pobremente grada con arcilla y grava, por lo que requiere su estabilización. Por ello el problema del presente trabajo de investigación es: ¿Cuál es la resistencia de la sub rasante al implementar el mucílago de penca de tuna para la estabilización de suelos arenosos arcillosos?, y el objetivo principal es: Explicar la resistencia de la sub rasante al implementar el mucílago de penca de tuna para la estabilización de suelos arenosos arcillosos y la hipótesis que debe contratarse es: El uso del mucílago de penca de tuna brindaría resistencia en la sub rasante en suelos arenosos arcillosos.

El método de investigación es el científico, el tipo de investigación es aplicada, el nivel de investigación es descriptivo – explicativo, el diseño del presente trabajo de investigación es experimental. La población y la muestra es el suelo arcillo donde se reemplazó agua por mucilago de penca de tuna en porcentaje de 100% en peso del agua.

La conclusión es que se explicó la resistencia de la subrasante al implementar el mucílago de penca de tuna obteniendo que, si estabiliza el suelo arenoso arcilloso en Jicamarca, Huarochiri, por lo tanto, el suelo es aceptable para ser utilizado como sub rasante según el Manual de Carreteras.

**Palabras claves:** Mucílago de penca de tuna, estabilización de suelos, sub rasante, arenoso arcilloso.

## **ABSTRACT**

According to soil studies conducted in the Jicamarca Huarochiri area in the granulometric analysis it indicates that it is poorly graded sand soil with clay and gravel, so it requires stabilization. Therefore, the problem of the present research work is: What is the resistance of the sub slope when implementing the prickly pear mucilage for the stabilization of sandy clay soils ?, and the main objective is: Explain the resistance of the sub flush when implementing the prickly pear prickly mucilage for the stabilization of clay sandy soils and the hypothesis to be hired is: The use of prickly pear prickly pear mucilage would provide resistance in the subsoil in clayey sandy soils.

The research method is scientific, the type of research is applied, the level of research is descriptive - explanatory, the design of this research work is experimental. The population and the sample is the clay soil where water was replaced by prickly pear prickly mucilage in a percentage of 100% by weight of the water.

The conclusion is that the resistance of the subgrade was explained when implementing the prickly pear mucilage obtaining that, if it stabilizes the sandy clay soil in Jicamarca, Huarochiri, therefore, the soil is acceptable to be used as a subgrade according to the Manual of roads.

Keywords: Prickly pear mucilage, soil stabilization, subgrade, sandy clay.

## I. INTRODUCCIÓN

### **Realidad problemática:**

Por años en las diversas zonas del Perú, como en la localidad de Jicamarca se han ido implementando y mejorando carreteras, ya que los vehículos se han incrementado significativamente. En algunas obras de pavimentación del distrito de Huarochirí-Jicamarca se han presentado problemas de diseño, debido a que cuentan con subrasantes malas, tales como los suelos arenosos arcillosos que no poseen características adecuadas para realizar un pavimento con larga vida útil. Debido a ello los pavimentos sufren daños en su estructura a corto plazo y ello no permite la correcta circulación de los vehículos, dañándolos y originando pérdidas, además produce daños en la salud de las personas ya sea por la liberación de los finos al desgastarse la capa de rodadura u otros factores.

Es significativa la importancia que el diseño de los pavimentos cumpla con las exigencias que requiera dicha zona, ya sea porque existe mucha carga vehicular, por las características del clima o suelo de la subrasante, pues la apreciación de los usuarios dependerá del estado en que se encuentre.

Las fallas y deformaciones que se presentan comúnmente en los pavimentos suelen ser por múltiples factores, pero principalmente ocurren por la mala calidad del suelo. En el Perú los suelos arenosos arcillosos contienen una baja capacidad de soporte, ello implica que para la construcción de pavimentos se utilicen métodos que mejoren sus características mecánicas, como, por ejemplo, estabilizándolo con productos adicionales, que a la vez va a generar un mayor costo, ya que los espesores de las capas serán mayores. Asimismo, a largo plazo pueden ocurrir problemas de hundimientos o asentamientos.

En la presente investigación se implementó el mucílago de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*), para la estabilización de la subrasante de suelos arenosos arcillosos, este método debe cumplir con los estándares normados que permitan la durabilidad del pavimento. La tuna o nopal, proviene de América, y en el Perú se encuentra ampliamente distribuida, principalmente en los valles interandinos, su clasificación es compleja porque sus características presentan gran

versatilidad según los climas, entre una de sus rasgos más resaltantes es que el nopal contiene hasta un 95% de agua en peso.

Del mismo modo como se ha mencionado anteriormente permite una mayor resistencia mecánica e impermeabilidad en la subrasante, además es un producto orgánico y no contaminante que contribuye de forma significativa al medio ambiente y a una construcción sostenible, a la vez ayuda a promover su cultivo y a generar ingresos para los agricultores.

En la búsqueda de información mediante tesis, libros, y artículos, se han confirmado diversos estudios dependiendo a la variable de esta investigación, en las que nos orientamos en los siguientes proyectos.

#### **Antecedentes Internacionales:**

Llunitasig S. , Siza A. (2017) Realizaron su trabajo de investigación para recibir el grado de Ingeniería civil desarrollado en la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, “Estudio a la compresión del adobe artesanal estabilizado con paja, estiércol, savia de penca tuna, sangre de toro y análisis de su comportamiento sísmico usando un modelo a escala” donde tiene como objetivo analizar las muestra de adobe con los diferentes aditivos naturales como la savia de penca de tuna para evaluar su resistencia a la compresión. Donde manifiesta que la colocación de este polímero en sus adobes aumenta la durabilidad frente a la lluvia. Donde implica mucho la dosificación y los días de remojo de 14 a 21 días. El cual nos ayuda a conocer los parámetros de los días que se debe remojar este polímero para así poder sacarle el mayor provecho en cuanto a sus propiedades físicas.

Rodrigues L. [et al ] ( 2016) Realizaron una investigación basada en las” Propiedades físicas del mucílago de Nopal” desarrollada en la Universidad de Guanajuato, México , en el cual manifiestan justamente solo las propiedades y sus aplicaciones en todos los campos como la medicina, agricultura , alimentación y sobre todo la construcción enfocándose en la restauración y protección de edificios históricos que contiene adobe (arcilla).Donde se determinó la viscosidad cinemática varía directamente proporcional con la concentración del mucílago de

nopal en sus aplicaciones, el cual nos ayuda a entender los beneficios que tiene este polímero natural como adhesivo.

Cedeño D. Avila J. (2013) Desarrollo una investigación para su tesis con el nombre “Investigación de la estabilización de suelos con enzima aplicado a la sub-rasante de la av. Quitumbe - Ñan, Cantón Quito”, donde manifiesta que se puede mejorar estabilizar los suelos arcilloso en la subrasante con la aplicación de enzimas o polímeros naturales, también indica que encontró una proporción de volumen lograra alcanzar el óptimo desempeño de la enzima o polímero que es de 1lt por cada 30m<sup>3</sup> de suelo.

Aranda Y. , Suárez, E. (2013) Realizaron un trabajo de investigación sobre “Consecuencia de la impermeabilidad del Mucílago de Nopal en bloques de tierra comprimidos” donde determinaron que, al anexar el mucílago de nopal en material arcilloso, este tiene un aumento significativo a la compresión de altas cargas de peso y resistencia a la humedad y en seco, el cual esto se basa en la disminución de las porosidades propias de los suelos arcillosos.

#### **Antecedentes Nacionales:**

Mendizabal K. (2018), en su tesis afirma “Adición del mucílago de penca de tuna para estabilizar suelo arcilloso, Chilca” desarrollado en la Universidad Peruana de los Andes. Este informe de investigación tuvo como objetivo determinar las consecuencias en la sub al implementar el componente orgánico mencionado para mejorar el suelo arcilloso en el Jirón La Unión, Chilca, Huancayo. Su trabajo de investigación concluyó que al adicionar el producto orgánico mencionado en distintas proporciones en el suelo llega a estabilizar el suelo arcilloso. También concluye que el suelo es admisible para poder ser empleado como sub rasante aplicando los porcentajes 25%, 50% Y 75% de producto orgánico y adicionando el mayor porcentaje se ve un mejoramiento en el comportamiento de las características físicas y mecánicas y según el Manual de Carreteras.

Quintana y Vera (2017), en su tesis afirma “Evaluación de la erosión y 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 desarrollo en la Universidad Andina del

Cusco”. El objetivo de esta investigación fue evaluar la erosión y resistencia a la compresión de adobes sustituyendo parcialmente y totalmente el agua por el producto orgánico en porcentajes de 0%, 25%, 50%, 75% y 100%. Su investigación demostró que la fabricación de adobes reemplazando el agua por producto orgánico en porcentajes de 0%, 25%, 50%, 75% y 100% aumentan la resistencia a la compresión del adobe colocando un mayor porcentaje de producto orgánico. Concluyen también en sus ensayos que utilizar los porcentajes de 75% y 100% directamente la resistencia se incrementa a la compresión del adobe.

Apolinares A. (2018), en su tesis afirma “Estabilización de la subrasante con la incorporación de ceniza vegetal” desarrollado en la Universidad Peruana de los Andes. En esta investigación el autor analiza los efectos de la estabilización de la subrasante con la incorporación de ceniza vegetal, para la Avenida Huarancayo, cuadras del 6 al 11 – Jauja. Se analizó los resultados de resistencia de la sub-rasante al incorporar ceniza vegetal en porcentajes de 15%, 25% y 35%. El autor concluyó que la estabilización de la subrasante con ceniza vegetal es muy adecuada, de acuerdo a los parámetros de la norma. El método utilizado es el científico, el tipo es aplicada, el nivel es explicativo, y el diseño de la investigación es experimental.

Castro A. (2017), en su tesis “Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cáscara de arroz para el mejoramiento de subrasante” elaborado en la Universidad Nacional de Ingeniería. La presente tesis consistió en un método de mejora en suelos arcillosos utilizando la ceniza de cáscara de arroz en la sub rasante, los ensayos se llevaron a cabo en el departamento de San Martín, realizando estudios físicos, mecánicas y químicos de los materiales adquiridos. Luego de realizar los debidos ensayos se concluyó en que se mostró un progreso debido la presencia de ceniza de cáscara de arroz, pero que con la combinación del uso de cal se obtuvieron mayores ventajas e incrementó los valores del CBR.

Apukinto I. (2016), en su tesis “Estabilización de adobe con especie de pasto natural en la zona alto andina” desarrollado en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. En la tesis se evalúa el comportamiento del adobe estabilizado con pasto natural (*Stipa ichu*) y solución de cactus, para esto el autor propuso trabajar con diferentes tratamientos de pasto natural y solución de cactus, se realizaron las debidas pruebas para el reconocimiento del material para su caracterización. Tras las pruebas, el autor dedujo que el césped natural (*Stipa ichu*) aporta

mejoras significativas en las deformaciones durante el secado y en el porcentaje de desgaste, con respecto a la resistencia a medida que aumenta el césped natural, siendo éste favorable a la resistencia sísmica.

Teorías relacionadas al tema:

- Estabilización de suelos:

Estabilización de suelos viene a ser el procedimiento por el cual el terreno natural es sometido a una determinada manipulación o mejora para que se pueda dar un provecho a sus cualidades, obteniendo un suelo estable, capaz de poder resistir las consecuencias del tráfico y los climas más severos (Equiservicios, 2016, p.2).

- Mucílago:

Componente viscoso llamado mucílago o hidrocoloide, conformado por carbohidratos de alto peso molecular. Contiene dos polímeros orgánicos naturales: amilasa y amil pectina. La amilasa permite formar capas delgadas que al estar secas muestran alta dureza (Orosco, 2017, p.12).

- Suelos:

El suelo es un cimiento, es la base fundamental de las vías de comunicación. Cuando el suelo o terreno no es apto y su calidad no es la adecuada para el fin que se requiere, debe modificarse, hacerse más dúctil y perdurable (Arredondo Verdú, 2011, p.221-222).

- Suelos arcillosos:

Cuadros Surichaqui (2017), afirma que “Este apelativo se da a las partículas sólidas de diámetros menores a 0.005mm, según AASTHO. Tiene la característica de volverse plástica al ser combinado con agua. Está químicamente conformado por agregados de silicato de aluminio hidratado, a veces contiene silicatos de hierro o magnesio hidratados” (p.31).

- Suelos arenosos:

El suelo arenoso está conformado por arena. Una característica de la arena es que cuando está húmeda o mojada no se adhiere y no retienen agua, a la vez se hunde rápidamente a capas más profundas. Se consideran suelos secos donde hay escasez de humedad. A



comparación de otros suelos requieren un riego continuo y un trabajo constante (Loriand, 2015, “Suelos arenosos”, párr.1).

- Característica del mucílago:

En solución acuosa, mejora las características de cohesión durante la producción de BTC, este efecto se ha utilizado desde la antigüedad [...] en el rubro de la construcción. Una de sus ventajas es que, al encontrarse el mucílago en baja proporción en dilución, no hay problemas durante su incorporación a la mezcla de materiales para la obtención de elementos. (Aranda J., Suarez, Edgardo, 2014, p1)

- Pavimento:

Estructura vial compuesta por varias capas de rodadura que le permiten controlar y distribuir las cargas emitidas hacia ella por los vehículos. en su forma básica está constituida por 3 capas horizontales, la base, sub base y capa asfáltica (Manual de carreteras, D.G ,2018, p16)

- Propiedades del mucílago de penca de tuna:

La viscosidad es la principal característica del mucílago, sobre el cual se proyecta la aplicación como aditivo alimentario, adhesivo de pintura y recubrimiento de mucosa gástrica ulcerada, entre otros. [...] En construcción y pinturas, la adición de mucílagos como adhesivo natural en la cal, con el fin de restaurar y proteger edificios históricos. [...] La viscosidad cinemática varía proporcionalmente con el incremento de la concentración e inversamente con las temperaturas. Por lo anterior y por la magnitud del valor máximo de viscosidad, este mucílago es un material prometedor para diversas aplicaciones. (Acta Universitaria, 2016, p.3)

Para evaluar las características del tipo de suelo se procede a realizar los siguientes ensayos:

- A. Granulometría, da a conocer los tamaños del agregado por medio del tamizado según especificaciones técnicas (Ensayo MTC EM 107). El propósito de este laboratorio es determinar la simetría de sus diferentes elementos, especificados según su dimensión.

Tabla 1. Clasificación de suelos según tamaño de partículas

Tipo de Material		Tamaño de las partículas
Grava		75 mm – 4.75 mm
Arena		Arena gruesa: 4.75 mm – 2.00 mm
		Arena media: 2.00mm – 0.425mm
		Arena fina: 0.425 mm – 0.075 mm
Material Fino	Limo	0.075 mm – 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

**Nota: Tomado de “Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”**

B. La plasticidad “Es la estabilidad del terreno hasta el límite de humedad donde no se desintegra, quiere decir que, la plasticidad de un suelo necesita, de los elementos finos que presenten” (Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos, 2013, p.36).

La plasticidad se puede determinar mediante la siguiente fórmula:

$$IP = LL - LP$$

- Límite líquido (LL), Cambio de estado semilíquido a plástico con la característica que se puede moldear.
- Límite plástico (LP), Cambio de estado plástico a semisólido con la característica que se rompe.

Tabla 2. Clasificación de suelos según IP

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

**Nota: Tomado de “Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”**

El IP señala “la distancia de humedad en el que el suelo tiene consistencia plástica y permite dar clasificación a un suelo. Una IP mayor significa que se tiene un suelo muy arcilloso; y un IP menor deriva un suelo ligeramente arcilloso” (Manuela de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos, 2013, p.37).

C. El índice de grupo es el “ índice AASHTO estándar comúnmente se usa para clasificar suelos, se basa en los límites de Atterberg. El índice de grupo de un suelo se calcula con la siguiente fórmula" (Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos, 2013, p.37).

$$IG = 0.2 (a) + 0.005 (ac) + 0.01(bd)$$

Donde:

- a = F-35 (F= Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200-74).

Referido entre 1 y 40.

- b = F-15 (F=Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200 -74).

Referido entre 1 y 40.

- c = LL – 40 (LL = límite líquido). Referido entre 0 y 20.

- d = IP-10 (IP = índice plástico). Referido entre 0 y 20 o más.

Tabla 3. Clasificación de Suelos según Índice de Grupo

Índice de Grupo	Suelo de Subrasante
IG > 9	Muy Pobre
IG está entre 4 a 9	Pobre
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 – 2	Bueno
IG está entre 0 – 1	Muy Bueno

**Nota: Tomado de “Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”**

D. Ensayo CBR, “Es la resistencia del suelo, el cual estará referido al 95% de la MDS (Densidad Máxima Seca) y una penetración de carga de 2.54 mm ” (Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos, 2013, p.37).

Tabla 4. Categorías de subrasante

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

**Nota: Tomado de “Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”**

- Subrasante:

Es el banco del pavimento. También viene a ser la lámina superior del terraplén o el fondo de las excavaciones realizadas en el terreno natural, que sostiene al pavimento, y está

formada por suelos tolerables (Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos, 2013, p.23).

“Los suelos con  $\text{CBR} \geq 6\%$  se aceptarán como suelos adecuados para las capas de subrasante. Si es menor será clasificada como subrasante pobre o inadecuada, los suelos necesitarán ser estabilizados, donde se evaluarán soluciones opcionales, como por ejemplo estabilización mecánica, reposición del suelo o estabilización química, etc.” (Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos, 2013, p.46).

Para conocer las características físico-mecánicas de la materia prima de la subrasante, se realizarán pozo de al menos 1.5m de profundidad, el número de pozos a utilizar se determina en la siguiente tabla.

Tabla 5. Cantidad de calicatas para exploración de suelos

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

**Nota: Tomado de “Manual de suelos, geología, geotecnia y pavimentos “**

- Suelos arcillosos:

Cuadros Surichaqui (2017), fundamenta que “Son partículas menores a 0,005 mm, según AASTHO. Este tipo de suelo tiene la cualidad de volverse plástico es mezclado con agua. Está químicamente constituido por agregados de silicato de aluminio hidratado, a la vez puede incluir silicatos de hierro o magnesio hidratados” (p.31).

### Formulación del problema

Los problemas identificados en la siguiente investigación se han realizado enfocándose en el estudio del mucílago de la penca de tuna en la subrasante de suelos arcillosos.

¿Cuál es la resistencia de la sub rasante al implementar el mucílago de penca de tuna para la estabilización de suelos arenosos arcillosos?

¿Cuáles son las características físicas y mecánicas del suelo para la subrasante con adición del 100% de mucílago de penca de tuna, en reemplazo del agua?

¿Cuál será el óptimo contenido de humedad utilizando un 100% de mucílago de penca de tuna para alcanzar la estabilización del suelo arenoso arcilloso adecuado?

### **Justificación**

Actualmente uno de los mayores retos que se está combatiendo la industria de la construcción civil es la de implementar nuevas tecnologías ya sea naturales o sintéticas que logre aumentar la vida útil de las obras de infraestructura vial, debido al constante deterioro de dichas obras, ya sea debido a una mala gestión técnica o constructiva.

La investigación presentada busca proporcionar alternativas de mejora con respecto a la mejora de las propiedades mecánicas y físicas del suelo arcillosos en la sub rasante de las obras viales. El cual se logrará empleando solución acuosa de mucilago de penca de tuna, dado como antecedente la falta de investigación y/o aplicación de materiales innovadores como estabilizantes de suelos en este caso arcillosos. Por ende, esta investigación se enfoca a la implementación de este recurso natural para la mejora de estabilidad del suelo arenoso arcilloso de la sub rasante, brindando así una gran contribución a la ingeniería en obras de infraestructura vial.

### **Hipótesis:**

#### **Hipótesis general**

El uso del mucílago de penca de tuna brindaría resistencia en la sub rasante en suelos arenosos arcillosos.

### **Hipótesis específicas:**

- Las características físicas y mecánicas del suelo con adición del 100% de mucílago de penca de tuna serán aptos para ser utilizados como subrasante según el Manual de Carreteras.
- El óptimo contenido de humedad determinaría la cantidad de mucílago de penca de tuna para alcanzar la estabilización del suelo arenoso arcilloso adecuado.

### **Objetivos:**

#### **Objetivo general**

Explicar la resistencia de la sub rasante al implementar el mucílago de penca de tuna para la estabilización de suelos arenosos arcillosos.

#### **Objetivos específicos**

- Evaluar las características físicas y mecánicas del suelo para la subrasante con adición del 100% de mucílago de penca de tuna, en reemplazo del agua.
- Determinar el óptimo contenido de humedad utilizando un 100% de mucílago de penca de tuna para alcanzar la estabilización del suelo arenoso arcilloso adecuado.

## **II. MÉTODO**

### **2.1. Variables operacionales:**

#### **2.1.1. Variables:**

**A. Variable independiente:** Mucílago de penca de tuna

**B. Variable dependiente:** Estabilización de suelos arenosos arcillosos



## 2.1.2. Operacionalización:

Tabla 6. Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
MUCÍLAGO DE PENCA DE TUNA	Componente viscoso llamado mucílago o hidrocoloide, conformado por carbohidratos de alto peso molecular. Contiene dos polímeros orgánicos naturales: amilasa y amilpectina. La amilasa forma una cadena helicoidal que permite formar películas delgadas que al estar secas muestran alta rigidez (Orosco, 2017, p.12).	Para que el polímero de mucílago de penca de tuna influya en el aumento de estabilidad del suelo arcilloso, se dosificará un 100% con respecto al peso del agua.	Dosificación	100% de Mucilago de penca de tuna	RAZÓN
ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS	Estabilización de suelos viene a ser el proceso por el cual los suelos naturales son sometidos a una determinada manipulación o tratamiento para que se pueda dar un provecho a sus cualidades, obteniendo un suelo estable, capaz de poder resistir las consecuencias del tráfico y los climas más severos (Equiservicios, 2016, p.2).	Para la verificación de la resistencia y estabilización del suelo arcillo, se basará en el manual de ensayos de materiales del MTC, y con ayuda de los equipos propios de cada ensayo se logrará medir los indicadores de análisis granulométrico, límite líquido y plástico e índice de plasticidad, Proctor modificado y CBR.	Características del suelo	Análisis granulométrico	RAZÓN
			Plasticidad	Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad	
			Humedad	Proctor modificado	
			Resistencia	CBR	

**Fuente:** Elaborado por los investigadores

## **2.2. Tipo y diseño de investigación:**

### **2.2.1. Tipo de la investigación:**

Se considera aplicada porque la investigación aplicada se caracteriza por aplicar el uso de conocimientos, al mismo tiempo que se obtienen otros, luego de implementar y sistematizar la práctica basada en la investigación. En este caso se está buscando mejorar la inestabilidad de suelos arcillosos.

### **2.2.2. Diseño de investigación:**

El diseño utilizado es cuasi - experimental.

En este proyecto de investigación se utilizará un diseño cuasi-experimental.

Según Borja (2012) Los cuasi-experimentos son aquellos experimentos en los que los conjuntos de estudio no han sido elegidos al azar porque ya estaban formados de esa forma antes de la investigación.

O <sub>1</sub> O <sub>2</sub> O <sub>3</sub> O <sub>4</sub> X O <sub>5</sub> O <sub>6</sub> O <sub>7</sub> O <sub>8</sub>
---

## **2.3. Población, muestra y muestreo:**

### **2.3.1. Población:**

Según Ramírez (2005).” La población es el objetivo principal del estudio y no necesariamente por su ubicación o límites geográficos, u otras características particulares dentro de ella "

La población del presente trabajo de investigación será el suelo arcillo donde el cual se reemplazó agua por mucilago de penca de tuna en porcentaje de 100% en peso del agua.

### **2.3.2. Muestra:**

La muestra para este trabajo de investigación coincide con la población el cual será el suelo arcillo donde el cual se reemplazó agua por mucilago de penca de tuna en porcentaje de 100% en peso del agua.

### **2.3.3. Muestreo:**

El muestro para la presente investigación será no probabilístico.

## 2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad:

### - Técnicas e recolección de datos:

#### a) Técnicas de campo:

Extracción de las muestras del suelo: Se usará diversas herramientas para la extracción de las muestras del suelo (pico, pala, cinta métrica). Para luego excavar y conocer sus tipos de estrato de suelo a estudiar.

Extracción del mucílago de penca de tuna: Se usará herramientas para la extracción de las pencas (cuchillo, guantes, machete, lijas). Para luego retirar el mucílago para pasar al remojo.

Se tuvo en cuenta 10 días de maceración para obtener el mucílago.



Figura 1 Retirado de espinas



Figura 2 Picado de la penca de tuna



Figura 3 Colado del mucílago

**b) Técnicas de laboratorio:**

Ensayos de suelos: Se realizaron los ensayos necesarios como, análisis granulométrico, límite plástico, límite líquido, índice de plasticidad, Proctor modificado, CBR que nos permitirá conocer las diferentes características, resistencia, plasticidad, humedad y permeabilidad del suelo.

**c) Técnicas de gabinete:**

Proceso de datos: Se procede analizar los datos obtenidos del laboratorio al software.

Fuentes bibliográficas: Para dicha Investigación se recurrió a tesis, revistas virtuales, libros que fueron de gran ayuda para el desarrollo de este trabajo de investigación.

- **Instrumentos de recolección de datos:**

Se utilizan formatos de ensayos de laboratorio que se rellenarán durante los ensayos respectivos como:

Ensayos de análisis granulométrico, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, Proctor modificado, CBR.

El software utilizado es Microsoft Excel.

**2.5.Procedimiento:**

- **Fase de pre campo:**

Elaboración de los formatos de laboratorio que nos permitirá la recopilación de datos.

## Análisis granulométrico:

Tabla 7. Formato de Análisis granulométrico



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
Antes del lavado	gr	Después del lavado	gr
Peso de la bandeja=		Peso de la bandeja=	
Peso de la muestra seca=		Peso de la muestra seca=	
Peso de la bandeja + muestra seca=		Muestra lavada seca + peso de la bandeja=	

GRANULOMETRÍA DEL SUELO					
Mallas estándar		Peso retenido (gr)	% Retenido	%Retenido acumulado	% Que pasa
Tamiz	□mm				
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				
N° 4	4.75				
N°10	2				
N°20	0.85				
N°40	0.43				
N°60	0.25				
N°80	0.177				
N°100	0.149				
N°200	0.075				
Fondo	0				

**Fuente:** Elaborado por investigadores

Límite de Atterberg:



Tabla 8. Formatos de límites de Atterberg

LÍMITES DE ATTERBERG				
LÍMITE LÍQUIDO				
Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso tara	gr			
Peso de tara + muestra húmeda	gr			
Peso de tara + muestra seca	gr			
Peso del agua	gr			
Peso de la muestra seca	gr			
% contenido de humedad	%			
Número de golpes	Unid			
LÍMITE LÍQUIDO				

LÍMITE PLÁSTICO				
Descripción	Unid	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso de tara	gr			
Peso de tara + muestra húmeda	gr			
Peso de tara + muestra seca	gr			
Peso del agua	gr			
Peso de la muestra seca	gr			
Contenido de humedad	%			
LÍMITE PLÁSTICO				

ÍNDICE DE PLASTICIDAD		
Límite líquido	Límite plástico	IP

**Fuente:** Elaborado por investigadores

Proctor Modificado:

Tabla 9. Formato de Proctor modificado



PROCTOR MODIFICADO					
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 mucílago	gr				
Peso del suelo húmedo	gr				
Peso del suelo seco	gr				
% de contenido de humedad	%				
Cantidad de mucílago	ml				
<b>Peso específico seco</b>					
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>				
Óptimo contenido de humedad					
Máxima densidad seca					

**Fuente:** Elaborado por investigadores

CBR:

Tabla 10. Formato de Compactación



Compactación			
Molde N°	Molde N° 1 (56 golpes)	Molde N°2 (26 golpes)	Molde N° 3 (12 golpes)
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> )			

Tabla 11. Formato de expansión

% Expansión					
Molde N° 1		Molde N° 2		Molde N° 3	
Lectura inicial	Lectura final	Lectura inicial	Lectura final	Lectura inicial	Lectura final



Tabla 12. Formato de penetración

Penetración									
Penetración	Molde Nº 1 (56 Golpes)			Molde Nº 2 (25 Golpes)			Molde Nº 3 (10 Golpes)		
Pulg.	Kg.	Lbs.	Lbs/pulg <sup>2</sup>	Kg.	Lbs.	Lbs/pulg <sup>2</sup>	Kg.	Lbs.	Lbs/pulg <sup>2</sup>
0.025									
0.05									
0.075									
0.1									
0.125									
0.15									
0.2									
0.3									
0.4									
0.5									

**Fuente:** Elaborado por investigadores

- **Obtención de muestra de campo:**

Se extrajeron calicatas en Anexo 22 Jicamarca San Antonio de Huarochiri.

Obtención y extracción de penca de tuna utilizando cuchillos y guantes para la protección personal y para el retiro de mucílago se utilizaron cuchillos para cortar en pequeños trozos y pase a ser remojado.

- **Caracterización física y mecánica del suelo:**

Donde se pasan a realizar los ensayos respectivos del suelo mencionados anteriormente incluyendo el porcentaje de mucílago de penca tuna.

➤ **Análisis granulométrico:**

Este ensayo consiste en tamizar la muestra mediante los distintos números de mallas y así poder obtener los distintos diámetros de partículas del suelo.

Normas:

Manual de Carreteras establecido por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial aprobado por D.S N° 034-2088 – MTC / Capítulo IV – suelos.

Equipos:

- ✓ Balanza calibrada
- ✓ Horno
- ✓ Tamices (3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", N°4, N°10, N°20, N°40, N°60, N° 80, N°100 y N°200).
- ✓ Recipientes de aluminios
- ✓ Cepillos para limpiar los tamices

Procedimiento:

- ✓ Se puso la muestra sobre un recipiente y se procedió a mezclar, luego se dividió el material en 4 partes del cual se agarró 1/4 y se obtuvo la muestra requerida.
- ✓ Se pesó la muestra.
- ✓ Inmediatamente se lavó la muestra sobre el tamiz N° 200 con la finalidad de que todo el material fino menor a 0.075 mm se suelte.
- ✓ Luego de lavado se coloca en el horno por 24 horas.
- ✓ Una vez transcurrido las 24 horas se pesa la muestra después del lavado.
- ✓ Posteriormente el material seco pasa por una serie de tamices (3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", N°4, N°10, N°20, N°40, N°60, N° 80, N°100 y N°200) y se agitan por un promedio de 10 minutos
- ✓ En seguida se registra lo retenido en cada tamiz y al final se suma para así hallar el peso que se obtuvo con el peso inicial, si se tiene una pérdida de más del 2% en relación al peso original se considera que el experimento no es satisfactorio y, por ende, debe repetirse todo el procedimiento con otra muestra.



Figura 4. Lavado de material



Figura 5. Clasificación de estratos



Figura 6. Tamizado

### ➤ Límite líquido

El ensayo de Límite Líquido nos permite conocer la clasificación de la muestra de suelo desde el punto de vista de su plasticidad, por consiguiente la cantidad de arcilla que contenga nos demuestra su comportamiento funcional.

Cuando la humedad con la que el ranurador separa dos partes de la pasta de la muestra colocada en una cuchara Casagrande, se junta en el fondo, con un espacio de 13 mm, dando 25 golpes desde una altura. de 1cm.

Normas:

NTP 339.129:1999 SUELOS.

Equipos:

- ✓ Recipiente para Almacenaje.
- ✓ Espátula de hoja flexible.
- ✓ Tamiz N° 40
- ✓ Casagrande
- ✓ Balanza electrónica calibrada

Procedimiento:

- ✓ La muestra seca pasante de la malla N° 40, se mezcló en la vasija con el material “mucílago de penca de tuna” hasta alcanzar la consistencia deseada.
- ✓ Se procede a colocar la muestra en la Cuchara de Casagrande aplanando el suelo con la espátula y conjuntamente nivelando hasta obtener una profundidad de 1 cm.
- ✓ Posteriormente se dan de 15 golpes a más a la cazuela de bronce para que ocasione hasta que se dé el cierre evitando la introducción de burbujas de aire dentro de la muestra.
- ✓ Se realiza este procedimiento 3 veces con distintos porcentajes mucílago.



Figura 7. Colocación del material



Figura 8. Muestra

➤ **Límite plástico**

El límite plástico (LP) se designa a la humedad mínima con la que se pueden formar barras cilíndricas de 3,2 mm, formando con las palmas de las manos el famoso gusanito, sin que se deshagan, hasta que se produzcan pequeñas fisuras.

Normas:

NTP 339.129:1999 SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

Equipos:

- ✓ Espátula
- ✓ Recipientes
- ✓ Balanza electrónica calibrada
- ✓ Horno eléctrico
- ✓ Tamiz N° 40
- ✓ Vidrio grueso esmerilado.

Procedimiento:

- ✓ La muestra pasa por la malla N° 40.
- ✓ Se mezcló la muestra pasante con el mucílago de penca de tuna hasta formar una esfera para luego darle forma de un cilindro rodando con los dedos sobre el vidrio grueso.
- ✓ Luego esta muestra en forma de cilindro se ubica en recipientes.
- ✓ Para proceder al cálculo de contenido de humedad se pasa a pesar la muestra húmeda, consecutivamente se coloca la muestra en el horno para su secado respectivo, luego se pesa la muestra seca.
- ✓ Repetir dos veces el procedimiento.



Figura 9. Elaboración del gusanito

➤ **Proctor modificado**

Esta prueba consiste en hallar el vínculo entre el peso seco y el contenido de agua hallando la curva de compactación.

Normas:

NTP 339.141:1999 SUELOS 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>)).

Equipos:

- ✓ Ensamblaje del Molde
- ✓ Molde 4 pulgadas
- ✓ Molde de 6 pulgadas
- ✓ Pisón compactador 4,54 ± 0,01 kg
- ✓ Balanza
- ✓ Horno
- ✓ Regla metálica
- ✓ Tamices De ¾ pulg, 3/8 pulg y N° 4
- ✓ Espátula

Procedimiento:

- ✓ Método A
  - Se utiliza el molde de 6”.
  - Se usa la muestra que pasa por la malla N° 4
  - 5 capas de compactación
  - 12 golpes por capa
  - Menos o igual al 20% del peso del material es retenido en la malla N° 4
- ✓ Método B
  - Se utiliza el molde de 4”.
  - Se emplea el material que pasa por el tamiz de 3/8 pulg
  - 5 capas de compactación
  - 26 golpes por capa
  - Menos o igual al 20% del peso del material es retenido en la malla N° 4 y 20% ó menos de peso del material es retenido en el tamiz 3/8 pulg
- ✓ Método C
  - Se emplea el molde de 6”.
  - Se emplea el material que pasa por la malla ¾ pulg.
  - 5 capas de compactación
  - 56 golpes por capa
  - Menos o igual al 20% del peso del material se retiene en la malla 3/8 pulg y menos de 30% en peso es retenido en la malla ¾ pulg



Figura 10. Compactación del material



Figura 11. Pesado del material a usar



Figura 12. Muestra antes de llevarse al horno



➤ **CBR (Relación de soporte California):**

Determina la resistencia de los suelos, que se conoce como CBR. Este ensayo se emplea para hallar la capacidad portante de la subrasante y de la base, subbase y capas afirmadas.

Normas:

NTP 339.145:1999 SUELOS. Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio.

Equipos:

- ✓ Prensa hidráulica
- ✓ Molde 6"
- ✓ Disco espaciador
- ✓ Pistón compactador
- ✓ Pesas de metal
- ✓ Medidor de expansión
- ✓ Pistón de penetración metálico
- ✓ Diales con recorrido mínimo de 25mm
- ✓ Tina
- ✓ Balanza calibrada
- ✓ Horno
- ✓ Malla N° 4, 3/4" y 2"
- ✓ Papel filtro
- ✓ Espátula

Procedimiento:

- ✓ Cuando más del 75% de la muestra pasa a través de la malla  $\frac{3}{4}$ ", lo pasante se utiliza para la prueba. Cuando la muestra retenida en el tamiz  $\frac{3}{4}$  " es mayor al 25% en peso, el material retenido en dicha malla se separa y se suplanta por una proporción igual de material entre los  $\frac{3}{4}$ " y 4.75 mm (No. 4)
- ✓ Luego se pasa al apisonado, con más de 6 kg.
- ✓ Se procede a pesar el molde y a la vez se coloca el collar y el disco espaciador y encima el papel filtro, luego se compacta cada molde con 5 capas aplicando 12,26 y 56 golpes.
- ✓ Se retira el collarín y se voltea el molde retirando a la misma vez la base del molde y el disco espaciador.
- ✓ Para hallar la densidad y la humedad de la muestra se pesa el molde con la muestra.
- ✓ Se coloca el trípode con un dial tomando una lectura inicial luego se procede a sumergir el molde dejando libre la parte inferior y superior durante 96 horas, cada 24 horas realizando una lectura al dial.
- ✓ Lugo de ser sumergido por 96 horas se retira el molde.
- ✓ Se coloca en la prensa el molde con la muestra y la sobrecarga aplicando una velocidad de penetración de 1.27mm.



Figura 13. Colocación de muestra en la máquina



Figura 14. Remojo de muestra por 96 horas



Figura 15. Penetración

- **Fase de gabinete:**

Ahí se analizan cada resultado obtenido con el apoyo del software Microsoft Excel, aplicando las fórmulas que muestran las normas.

**2.6.Método de análisis de datos:**

El análisis y cálculo de los resultados se realizó con el Software Microsoft Excel creando hojas de cálculo. A la vez los resultados fueron contrastados con el Manual de carreteras: Suelos y pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

**2.7.Aspectos éticos:**

En dicho trabajo de investigación se tendrá mucho en cuenta que los resultados obtenidos en ellos ensayos sean contrastados con el Manual de carreteras: Suelos y pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Así mismo, los resultados que se reciban de los estudios básicos preliminares de dicho proyecto serán con total veracidad y confiabilidad.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

- Resultados específicos:

Propiedades físicas y mecánicas del suelo con adición del 100% del producto orgánico mencionado en reemplazo del agua:

Se determinaron las características del suelo adicionado con 100% del producto orgánico mencionado en reemplazo del agua cumpliendo con el objetivo de la investigación.

- **Análisis granulométrico:**

Tabla 13. Análisis granulométrico

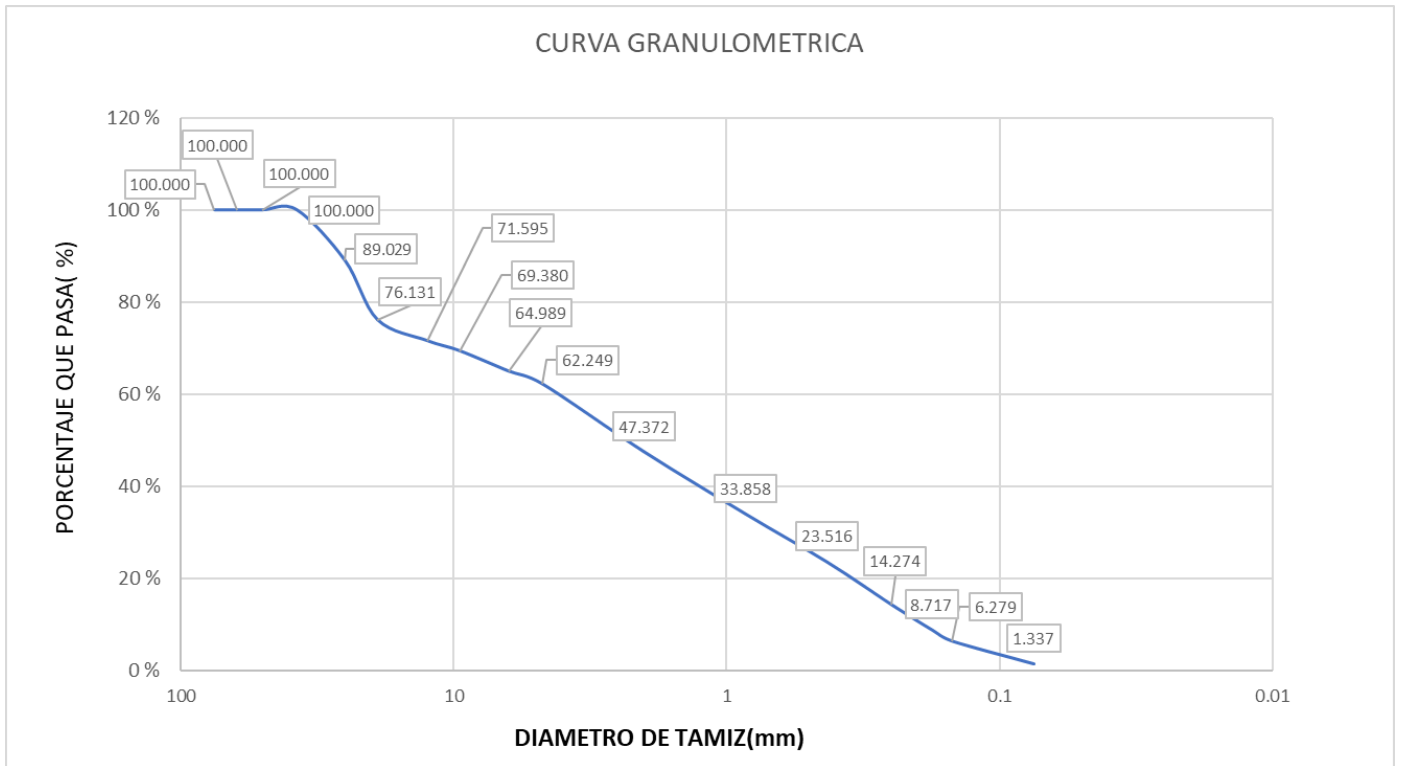


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
Antes del lavado	gr	Después del lavado	gr
Peso de la bandeja=	2201	Peso de la bandeja=	2201
Peso de la muestra seca=	15000	Peso de la muestra seca=	7686
Peso de la bandeja + muestra seca=	17201	Muestra lavada seca + peso de la bandeja=	9887

GRANULOMETRÍA DEL SUELO					
Mallas estándar		Peso retenido (gr)	% Retenido	%Retenido acumulado	% Que pasa
Tamiz	□mm				
3"	75	0	0	0	100.000
2 1/2"	62	0	0	0	100.000
2"	50	0	0	0	100.000
1 1/2"	37.5	0	0	0	100.000
1"	25	837	10.971	10.971	89.029
3/4"	19	984	12.898	23.869	76.131
1/2"	12.5	346	4.535	28.405	71.595
3/8"	9.5	169	2.215	30.620	69.380
1/4"	6.3	335	4.391	35.011	64.989
N° 4	4.75	209	2.740	37.751	62.249
N° 10	2	1135	14.877	52.628	47.372
N° 20	0.85	1031	13.514	66.142	33.858
N° 40	0.43	789	10.342	76.484	23.516
N° 60	0.25	705	9.241	85.726	14.274
N° 80	0.177	424	5.558	91.283	8.717
N° 100	0.149	186	2.438	93.721	6.279
N° 200	0.075	377	4.942	98.663	1.337
Fondo	0	102	1.337	100.000	0.000
		7629	100	64.989	35.011

**Fuente:** Elaborado por investigadores

Tabla 14. Curva Granulométrica



Mediante el análisis granulométrico se determinó los distintos diámetros de partículas en la muestra en la cual se demuestra que está compuesta por 35.01% de material grueso, así también el suelo está compuesto por 1.337% es decir, material fino. El material retenido entre las mallas 0.075mm y 4.75mm de abertura retuvo un 60.91% siendo arena. Un 37,751% se encuentra retenido entre las mallas de 4.75mm a 75mm, teniendo grava.

- **Límite líquido:**

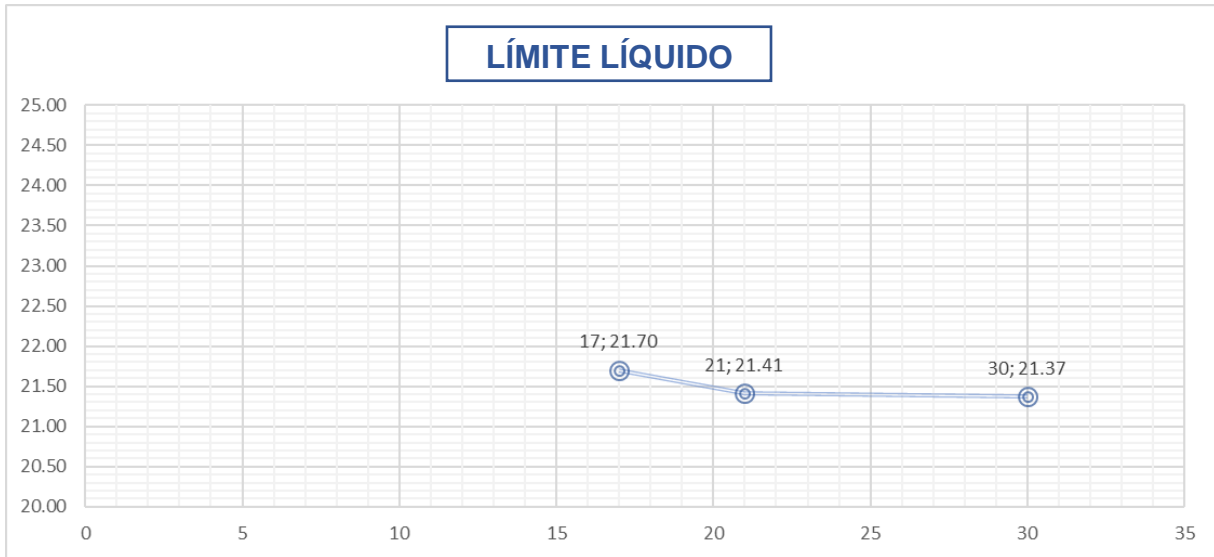
Ensayo elaborado con cuchara Casagrande.



Tabla 15. Límite líquido

LÍMITES DE ATTERBERG				
LÍMITE LÍQUIDO				
Descripción	Unidad	Muestra1	Muestra2	Muestra 3
Peso tara	gr	16.89	15.22	16.09
Peso de tara + muestra húmeda	gr	29.06	29.17	34.49
Peso de tara + muestra seca	gr	26.89	26.71	31.25
Peso del agua	gr	2.17	2.46	3.24
Peso de la muestra seca	gr	10	11.49	15.16
% contenido de humedad	%	21.70	21.41	21.37
Número de golpes	Unid	17	21	30
LÍMITE LÍQUIDO		21.43		

Tabla 15. Curva de fluidez del suelo



El presente ensayo permitió calcular el límite líquido usando la cuchara Casagrande.

Se empleó el 100% de mucílago de penca de tuna obteniendo un límite líquido de 21.43%.

- **Límite plástico:**

Tabla 16. Límite plástico

LÍMITE PLÁSTICO				
Descripción	Unid	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso de tara	gr	30.93	30.34	14.3
Peso de tara + muestra húmeda	gr	41.02	39.74	24.1
Peso de tara + muestra seca	gr	39.35	38.37	22.0
Peso del agua	gr	1.67	1.37	2.1
Peso de la muestra seca	gr	8.42	8.03	7.7
Contenido de humedad	%	19.83	17.06	27.27
LÍMITE PLÁSTICO		21.39		

De acuerdo con la prueba de laboratorio realizada, se tiene un límite plástico del suelo adicionado con 100% de producto orgánico es 21,39%.

- **Índice de plasticidad:**

Tabla 17. Índice de plasticidad

ÍNDICE DE PLASTICIDAD		
Límite líquido	Límite plástico	IP
21.43%	21.39%	0.04%

El IP del suelo adicionado con 100% de producto orgánico es 0.04%. Contrastando los resultados con el Manual de carreteras: Suelos y pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el suelo adicionado mucílago de penca de tuna en su dosificación no tiene plasticidad (suelos exentos de arcilla) con IP es 0.04%.

- **Proctor Modificado:**

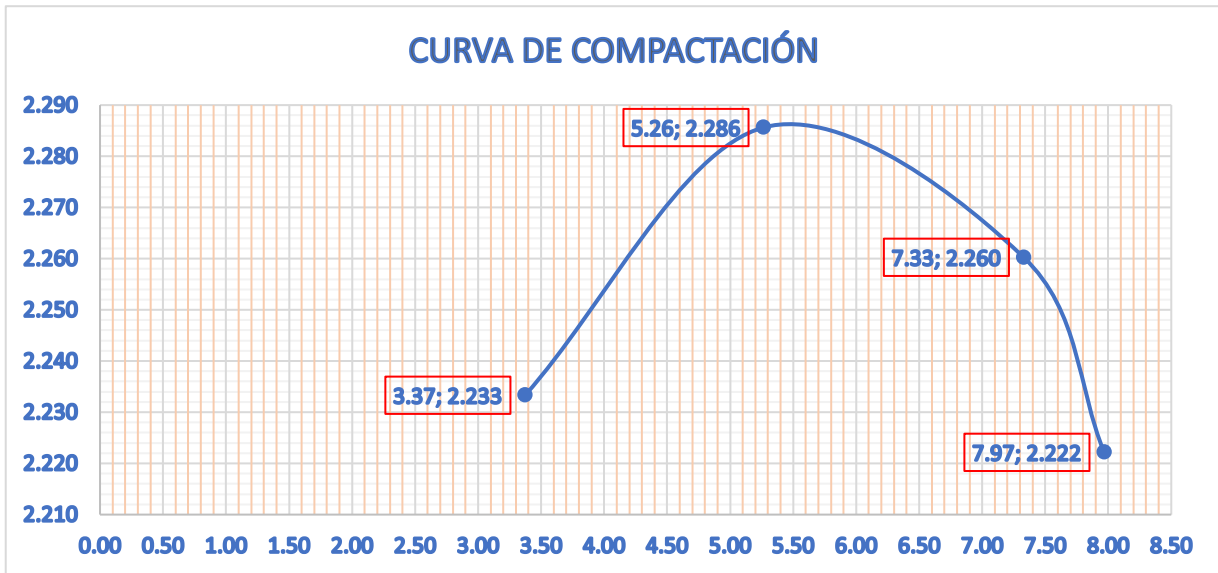
Tabla 18. Proctor modificado



Ensayo	Nº	1	2	3	4
<b>Peso específico</b>					
Peso del suelo húmedo + molde	gr	7991	8195	8237	8181
Peso del molde	gr	3148	3148	3148	3148
Peso del suelo húmedo	gr	4843	5047	5089	5033
Volumen del molde	gr	2097.77	2097.77	2097.77	2097.77
Densidad húmeda	gr/cm3	2.309	2.406	2.426	2.399
<b>Contenido de humedad</b>					
Peso de la tara	gr	52.74	91.78	145.23	98.58
Peso del suelo húmedo + tara	gr	723.94	652.07	869.74	952.43
Peso del suelo seco + tara	gr	702.04	624.06	820.27	889.42
Peso del mucílago	gr	21.9	28.01	49.47	63.01
Peso del suelo húmedo	gr	671.2	560.29	724.51	853.85
Peso del suelo seco	gr	649.3	532.28	675.04	790.84
% de contenido de humedad	%	3.37	5.26	7.33	7.97
Cantidad de mucílago	ml	120	240	360	480
<b>Peso específico seco</b>					
Densidad seca	gr/cm3	2.233	2.286	2.260	2.222
<b>Óptimo contenido de humedad</b>		<b>5.90%</b>			
<b>Máxima densidad seca</b>		<b>2.289</b>			

**Fuente:** Elaborado por investigadores

Tabla 19. Curva de compactación



Se tiene un óptimo contenido de humedad de 5.90% y una máxima densidad seca de 2.289 gr/cm<sup>3</sup>.



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

Se realizó el ensayo de CBR, el cual estará inferido al 95% de la Máxima densidad seca, añadiendo 100% de mucílago de penca de tuna.

Tabla 20. Compactación

Compactación			
Molde N°	Molde N° 1 (56 golpes)	Molde N°2 (26 golpes)	Molde N° 3 (12 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)	13138	13047	12892
Peso del molde (gr)	7984	7984	7984
Peso de la muestra húmeda (gr)	5154	5063	4908
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	3157.38	3157.38	3157.38
Peso volumétrico húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1.632	1.604	1.554
Contenido de agua W (%) (OCH)	5.9	5.9	5.9
Peso volumétrico seco (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1.541</b>	<b>1.514</b>	<b>1.468</b>

**Fuente:** Elaborado por los investigadores

En la tabla N°21 se muestra los valores obtenidos de peso húmedo, OCH% de humedad y densidad seca. Dado que estos valores nos ayudaran para determinar el valor del CBR de nuestra muestra de suelo.

Tabla 21. 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
11.65	13.42	12.18	14.51	10.94	13.53
<b>1.77</b>		<b>2.33</b>		<b>2.59</b>	
<b>1.39%</b>		<b>1.83%</b>		<b>2.04%</b>	

En la tabla N° 22, se muestra los valores de expansión de la muestra de suelo adicionado el producto orgánico al 100% , donde en el molde N° 1 de 55 golpes presenta 1.39% , molde N° 2 de 26 golpes ,1.83% , molde N° 3 de 12 golpes,2.04% .

Tabla 22. Penetración

<b>Penetración</b>									
<b>Penetración</b>	<b>Molde N° 1 (55 Golpes)</b>			<b>Molde N° 2 (26 Golpes)</b>			<b>Molde N° 3 (12 Golpes)</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>	<b>Lbs/pulg2</b>
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	20.0	44.1	14.7	16.6	36.6	12.2	11.2	24.7	8.2
0.05	42.4	93.5	31.2	22.2	48.9	16.3	16.2	35.7	11.9
0.075	113.0	249.1	83.0	45.0	99.2	33.1	28.5	62.8	20.9
0.1	200.5	442.1	147.4	148.2	326.7	108.9	91.6	201.9	67.3
0.125	367.2	809.5	269.8	247.6	545.9	182.0	150.9	332.7	110.9
0.15	528.4	1164.9	388.3	367.3	809.7	269.9	247.5	545.6	181.9
0.2	601.4	1325.8	441.9	539.4	1189.2	396.4	488.9	1077.8	359.3
0.3	654.0	1441.8	480.6	641.7	1414.7	471.6	583.4	1286.2	428.7
Para : 0.1"			14.74%			10.89%			6.73%
Para : 0.2"			29.46%			26.43%			23.95%

Ensayo de C.B.R – penetración, adicionado el producto orgánico al 100%.

Tabla 24 Curva de C.B.R.

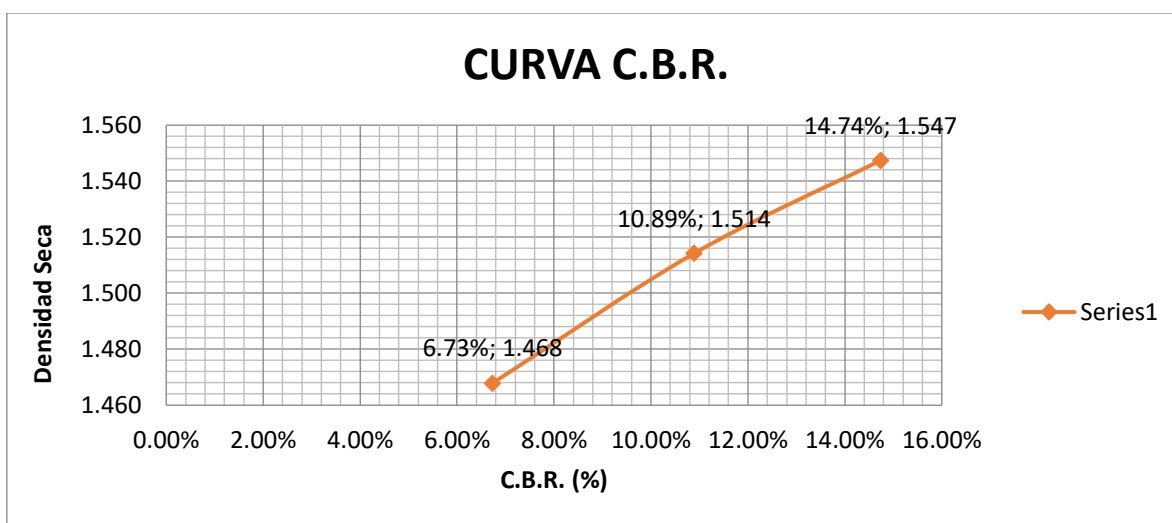


Tabla 25 Ensayo de C.B.R de la muestra de suelo adicionado con mucílago de penca de tuna al 100%

N de golpes	% CBR	D.S.	DENSIDAD SECA gr/cm3		CBR %
55	14.74%	1.541	100% MDS	1.547	14.3
26	10.89%	1.514	95% MDS	1.470	6.9
12	6.73%	1.468			

En la tabla N° 23 y 25 se observa los resultados obtenidos del ensayo C.B.R realizado a la muestra de suelo con adición del producto orgánico al 100%, donde se utilizó la medida de 0.1” de penetración para determinar el % de C.B.R, así como se muestra en la tabla N° 25 se obtuvo 6.9% al 95% MDS .

- **DISCUSIÓN DE RESULTADOS:**

1. Correspondiente al objetivo general de explicar la resistencia de la sub rasante al implementar el producto orgánico mencionado para la estabilización de suelos arenosos arcillosos, se procedió con los ensayos correspondientes para realizar un análisis de los objetivos específicos mencionados.
2. En la muestra de suelo obtenida del Anexo 22 de Jicamarca, Huarochiri, adicionándole el producto orgánico mencionado al 100%. En el ensayo de limite liquido (LL) se obtuvo un 21.43% y en el Limite Plástico (LP) un 21.39%. Asimismo, el valor de su máxima densidad seca (MDS) es de 1.547 gr/cm<sup>3</sup> con un valor óptimo de contenido de Humedad de 5.9%. Además, se presentó mediante el ensayo de Inmersión del CBR, donde se obtuvo 1.39% para 55 golpes, 1.83% para 26 golpes y 2.04% para 12 golpes. posteriormente con los valores de densidad seca gr/cm<sup>3</sup> y los porcentajes de CBR a 0.1” , mediante la curva de CBR se obtuvo un 6.9 % , el cual según las categorías mencionadas en la tabla N°4 del manual de carreteras , donde para una sub rasante se debe tener un  $CBR \geq 6$  , por lo tanto el suelo adicionado con mucilago de penca de tuna al 100% en reemplazo de agua si esta apto para usarse en la capa de la sub rasante.
3. Con el ensayo de Proctor modificado se obtuvo un valor óptimo de contenido de Humedad de 5.9% y el valor de su máxima densidad seca (MDS) que es de 1.547 gr/cm<sup>3</sup>, el cual nos sirvió para obtener la cantidad exacta de mucilago de penca de tuna en *ml* y demás para responder al objetivo específico, Determinar el óptimo contenido de humedad utilizando un 100% de mucílago de penca de tuna para alcanzar la estabilización del suelo arenoso arcilloso adecuado.

#### **4. CONCLUSIONES:**

1. Se evaluaron las características físicas y mecánicas del suelo arenoso arcilloso con adición del 100% de mucílago de penca de tuna en reemplazo del agua obteniendo que puede ser utilizado como subrasante según el Manual de Carreteras.
2. Se determinó el óptimo contenido de humedad utilizando el 100% de mucílago de penca de tuna para alcanzar la estabilización del suelo arenoso arcilloso adecuado es cuál es el 5.9%.
3. Se explicó la resistencia de la subrasante al implementar el mucílago de penca de tuna obteniendo que, si estabiliza el suelo arenoso arcilloso en Jicamarca, Huarochiri, por lo tanto, el suelo es aceptable para ser utilizado como sub rasante según el Manual de Carreteras.

## **5. RECOMENDACIONES Y REFERENCIAS:**

### **- RECOMENDACIONES:**

- Recurrir a laboratorios con equipos calibrados.
- Se recomienda aplicar el producto orgánico en diferentes tipos de suelos.
- Para la extirpación del producto orgánico, se debe estar informados sobre los días de maceración del producto.
- Se recomienda emplear más dosificaciones de mucílago de penca de tuna.

- **REFERENCIAS:**

1. Ministerio de transportes y comunicaciones. (Mayo de 2016). Manual de ensayo de materiales.
2. 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.
3. LLumitasig, S, & Siza A. (2017). Estudio de la resistencia a compresión del adobe artesanal estabilizado con paja, estiércol, savia de penca de tuna, sangre de toro y análisis de su comportamiento sísmico usando un modelo a escala. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
4. Rodríguez L. [et al ] (2016). Propiedades físicas del mucílago de Nopal. Guanajuato, México: Universidad de Guanajuato.
5. Cedeño. (2013). Investigación de la Estabilización de suelos con enzima aplicado a la sub-Rasante de la avenida quitumbe-Ñan, Canton quito. Quito,Ecuador:Universidad Central del ecuador.
6. Aranda J., Suárez, E. (2013). Efecto de la impermeabilidad del Mucílago de Nopal en bloques de tierra comprimidos. México: Universidad de la Salle Bajío
7. Mendizábal K. (2018). Adición del mucílago de penca de tuna para estabilizar suelo arcilloso, Chilca. Huancayo: Universidad Peruana de los Andes.
8. Apolinares A.(2018). Estabilización de la Subrasante con la incorporación de ceniza vegetal: Universidad peruana de los andes.
9. Castro A.(2017).Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cascara de arroz para el mejoramiento de subrasante.Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
10. Apukinto, I.(2016).Estabilización de adobe con especie de pasto natural en la zona alto andina. : Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
11. Borja,M.(2012) . Metodología de la Investigación científica para ingenieros. Chiclayo
12. Ministerio de transportes y carreteras (2013). Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Perú
13. Fernández, C & Baptista, Pilar. (2014). Metodología de la investigación. México.

14. Equiservicios S.A.S.(2016) Equiservicios industriales. Colombia
15. Orozco, E. (2017). Elaboración y caracterización de mucilago de nopalpectina: Efecto de la concentración del mucilago de nopal en las propiedades fisicoquímicas y mecánicas. México: Universidad autónoma del estado de México.
16. Indecopi. (2008). Normas técnicas peruanas: Suelos.
17. Solminihaç , H., Echeverría , G., & Thenoux, G. (2001). Estabilización Química de Suelos: Aplicaciones en la construcción de estructuras de pavimentos. Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
18. Instituto de la Construcción y Gerencia ICG.(2000) .Manual de ensayo de materiales
19. Laboratorio de mecánica de Suelos.(2006). Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada(56 000 pie-lb/pie<sup>3</sup> [2 700 kn-m/m<sup>3</sup>]) (proctor modificado). Universidad Nacional de Ingeniería.
20. JIMENEZ, Evelyn. Obtención del mucílago de la cáscara de la tuna (opuntia ficusindica) a partir de diferentes métodos de extracción. Universidad de Chile, Chile. 2014, 77p.



## ANEXOS

ANEXO						
MATRIZ DE CONSISTENCIA						
Estudio del mucílago de penca de tuna para la estabilización de suelos arenosos arcillosos en la subrasante, Cajarmarquilla Huarochiri 2019						
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Cuál es la resistencia de la subrasante al implementar el mucílago de penca de tuna para la estabilización de suelos arenosos arcillosos?	Explicar la resistencia de la subrasante al implementar el mucílago de penca de tuna para la estabilización de suelos arenosos arcillosos.	El uso del mucílago de penca de tuna brindaría resistencia en la subrasante en suelos arenosos arcillosos.	V1: Mucílago de penca de tuna	Dosificación	100% de Mucílago de penca de tuna	Tipo de investigación: Aplicada-cuantitativo
						Diseño de la investigación: Experimental
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS				
1. ¿Cuáles son las características físicas y mecánicas del suelo para la subrasante con adición del 100% de mucílago de penca de tuna, en reemplazo del agua?	Evaluar las características físicas y mecánicas del suelo para la subrasante con adición del 100% de mucílago de penca de tuna, en reemplazo del agua	Las características físicas y mecánicas del suelo con adición del 100% de mucílago de penca de tuna serán aptos para ser utilizados como subrasante según el Manual de Carreteras	V2: Estabilización de suelos arenosos arcillosos	Características del suelo	Análisis granulométrico	Nivel de investigación: Descriptivo - explicativo
				Plasticidad	Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad	
2. ¿Cuál será el óptimo contenido de humedad utilizando un 100% de mucílago de penca de tuna para alcanzar la estabilización del suelo arenoso arcilloso adecuado?	Determinar el óptimo contenido de humedad utilizando un 100% de mucílago de penca de tuna para alcanzar la estabilización del suelo arenoso arcilloso adecuado	El óptimo contenido de humedad determinaría la cantidad de mucílago de penca de tuna para alcanzar la estabilización del suelo arenoso arcilloso adecuado		Humedad	Proctor modificado	
				Resistencia	CBR	

Tabla 23. Matriz de consistencia





**Declaratoria de Originalidad de los Autores**

Nosotros, MARMANILLO MAMANI DAINA GIOVANNA, VILLEGAS AGUILAR MARIA FERNANDA, CHACA LIMACHE CRISTHIAN MANUEL, CHOQUECAHUA CAHUANA YOSELIN NICOL estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ATE, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan el Trabajo de Investigación titulado: "ESTUDIO DEL MUCÍLAGO DE PENCA DE TUNA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS EN LA SUBRASANTE, LIMA 2019", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que el Trabajo de Investigación:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado, ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Firma</b>
VILLEGAS AGUILAR MARIA FERNANDA <b>DNI:</b> 73011328 <b>ORCID</b> 0000-0003-3479-8316	Firmado digitalmente por: MFVILLEGASV el 15-02-2021 12:31:05
CHACA LIMACHE CRISTHIAN MANUEL <b>DNI:</b> 74082739 <b>ORCID</b> 0000-0002-7105-0959	Firmado digitalmente por: CCHACA el 15-02-2021 17:14:37
MARMANILLO MAMANI DAINA GIOVANNA	Firmado digitalmente por:

<b>DNI:</b> 70303971 <b>ORCID</b> 0000-0002-7213-0766	DMARMANILLO el 14-02-2021 21:39:17
CHOQUECAHUA CAHUANA YOSELIN NICOL <b>DNI:</b> 73909420 <b>ORCID</b> 0000-0003-4203-8501	Firmado digitalmente por: JCHOQUECAHUA el 15-02-2021 17:59:01

Código documento Trilce: INV - 0054132