



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**Aplicación de mucílago de penca de tuna y su efecto en  
CBR de subrasante, carretera Juliaca - Caminaca, Puno  
2021**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Civil

**AUTORES:**

Br. Machaca Condori, Javier Alejandro (ORCID: 0000-0002-7210-0292)

Br. Quispe Quiro, Rubén (ORCID: 0000-0002-7660-5220)

**ASESOR:**

Doc. Herrera Viloche Alex Arquímedes (ORCID: 0000-0001-9560-6846)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de Infraestructura Vial

TRUJILLO - PERÚ

2021

## DEDICATORIA

*De: Machaca Condori, Javier Alejandro*

*Este trabajo de tesis la dedico a mi hija Zulema, a mis padres Camilo y Julia, a mis hermanos Eloy, Lidia, Sonia y Zenovia por los sabios consejos y apoyo desinteresado, ya que sin su ayuda todo sería complicado.*

*De: Quispe Quiro, Rubén*

*A mi abuela Francisca, una admirable persona que entrego todo por los que ama, hoy sigue aquí, guiando mis pasos, aunque ya no están en este mundo.*

*A mis padres Ramón Jorge y Carmen Alejandra, siempre con amor y cariño estuvieron a mi lado brindándome su apoyo, reconozco todo el sacrificio que hicieron por mi para poder cumplir mis metas.*

*A mis hermanos Yolanda, Samuel, Marina, Inés, Dina y Sobrinos(as) por ser mi apoyo incondicional enseñándome a seguir luchando por alcanzar mis sueños.*

## AGRADECIMIENTO

*De: Machaca Condori, Javier Alejandro*

*Agradezco a Dios y a mi familia por estar guiándome siempre por el camino correcto, dándome sus consejos. De igual manera agradezco a la universidad César Vallejo por darnos la oportunidad de poder ser parte de ella.*

*De: Quispe Quiro, Ruben*

*Agradezco a Dios por darme una maravillosa familia y poder disfrutar de ella cada día. Agradezco a mi familia por acompañarme y siempre estar presente en cada paso que voy dando. La vida no es sencilla, pero gracias a su apoyo, consejos y a su infinita generosidad, lo difícil se pudo superar. Doy gracias y hago presente mi gran estima hacia ustedes.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS .....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	vi
RESUMEN .....	viii
ABSTRACT .....	ix
INTRODUCCIÓN .....	1
I. MARCO TEÓRICO .....	4
II. METODOLOGÍA .....	12
3.1. Diseño y tipo de investigación.....	12
3.2. Variables y operacionalización.....	13
3.3. Población y muestra.....	14
3.4. Instrumentos y técnicas de recolección de datos.....	15
3.5. Procedimientos .....	16
3.6. Método de análisis de datos.....	18
3.7. Aspectos éticos .....	18
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	63
ANEXOS N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	69
ANEXOS N° 02: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS

Figura 01. Resumen del CBR de suelo natural. ....	20
Figura 02. Resumen de CBR aplicando 25% MPT + 75% H2O.....	21
Figura 03. Resumen de CBR aplicando 50% MPT + 50% H2O.....	22
Figura 04. Resumen de CBR aplicando 75% MPT + 25% H2O.....	23
Figura 05. Resumen de CBR aplicando 100% MPT + 0% H2O.....	24
Figura 06. Resumen de CBR de subrasante.....	25
Figura 07. Expansión de suelo patrón.....	26
Figura 08. Expansión de suelo aplicando 25% MPT + 75% H2O. ....	27
Figura 09. Expansión de suelo aplicando 50% MPT + 50% H2O. ....	28
Figura 10. Expansión de suelo aplicando 75% MPT + 25% H2O. ....	30
Figura 11. Expansión de suelo aplicando 100% MPT + 0% H2O. ....	31
Figura 12. Resumen de expansión de la subrasante. ....	32
Figura 13. Índice de plasticidad del suelo natural de subrasante.....	33
Figura 14. Índice de plasticidad aplicando 25% MPT + 75% H2O.....	35
Figura 15. Índice de plasticidad aplicando 50% MPT + 50% H2O.....	36
Figura 16. Índice de plasticidad aplicando 75% MPT + 25% H2O.....	37
Figura 17. Índice de plasticidad aplicando 100% MPT.....	38
Figura 18. Resumen del índice de plástico de subrasante.....	39
Figura 19. Resumen del contenido de humedad óptimo.....	44

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. CBR de suelo natural. ....	19
Tabla 02. CBR de subrasante aplicando el 25% MPT + 75% H2O. ....	20
Tabla 03. CBR de subrasante aplicando el 50% MPT + 50% H2O. ....	21
Tabla 04. CBR de subrasante aplicando 75% MPT + 25% H2O) ....	23
Tabla 05. CBR de subrasante aplicando el 100% MPT + 0% H2O. ....	24
Tabla 06. Resumen valores de CBR de subrasante. ....	25
Tabla 07. Expansión de suelo patrón ....	26
Tabla 08. Expansión de suelo aplicando 25% MPT + 75% H2O. ....	27
Tabla 09. Expansión de suelo aplicando 50% MPT + 50% H2O. ....	28
Tabla 10. Expansión de suelo aplicando 75% MPT + 25% H2O. ....	29
Tabla 11. Expansión de suelo aplicando 100% MPT + 0% H2O. ....	30
Tabla 12. Resumen de expansión de suelo en subrasante. ....	31
Tabla 13. Índice de plasticidad de la Suelo Natural de subrasante ....	32
Tabla 14. Índice de plasticidad aplicando 25% MPT + 75% H2O ....	34
Tabla 15. Índice de plasticidad aplicando 50% MPT + 50% H2O ....	35
Tabla 16. Índice de plasticidad aplicando 75% MPT + 25% H2O. ....	36
Tabla 17. Índice de plasticidad aplicando 100% MPT ....	38
Tabla 18. Resumen índice de plasticidad de la subrasante. ....	39
Tabla 19. Contenido de humedad óptimo del suelo natural. ....	40
Tabla 20. Optimo contenido de humedad aplicando 25% MPT + 75% H2O ..... 40	40
Tabla 21. Optimo contenido de humedad aplicando 50% MPT + 50% H2O ..... 41	41
Tabla 22. Optimo contenido de humedad aplicando 75% MPT + 25% H2O ..... 42	42
Tabla 23. Optimo contenido de humedad aplicando 100% MPT. ....	42
Tabla 24. Contenido de humedad óptimo de la subrasante resumen ....	43
Tabla 25. Resumen de general. ....	44
Tabla 26. Prueba de normalidad (capacidad de soporte). ....	46
Tabla 27. Prueba de ANOVA (capacidad de soporte). ....	46
Tabla 28. Comparación múltiple (capacidad de soporte) ....	47
Tabla 29. Prueba post-hoc de Tukey (capacidad de soporte) ....	48
Tabla 30. Prueba de normalidad (expansión). ....	48
Tabla 31. Prueba de ANOVA (expansión). ....	49

Tabla 32. Comparación múltiple (expansión) .....	49
Tabla 33. Prueba post-hoc de Tukey (expansión).....	50
Tabla 34. Prueba de normalidad (índice de plasticidad) .....	51
Tabla 35. Prueba de ANOVA (índice de plasticidad).....	51
Tabla 36. Múltiple comparación (índice de plasticidad).....	52
Tabla 37. Prueba post-hoc de Tukey (índice de plasticidad).....	53
Tabla 38. Prueba de normalidad (Contenido de Humedad Óptimo ).....	53
Tabla 39. Prueba de ANOVA (Óptimo Contenido de Humedad ).....	54
Tabla 40. Comparación múltiple (Contenido de Humedad Óptimo ) .....	54
Tabla 41. Prueba post-hoc de Tukey (Contenido de Humedad Óptimo).....	55
Tabla 42. Prueba de normalidad (Contenido de Humedad Óptimo).....	56
Tabla 43. Prueba de ANOVA (Contenido de Humedad Óptimo).....	56
Tabla 44. Comparación múltiple (Contenido de Humedad Óptimo) .....	57
Tabla 45. Prueba post-hoc de Tukey (Contenido de Humedad Óptimo).....	58

## RESUMEN

La presente tesis titulada “Aplicación de mucílago de penca de tuna y su efecto en CBR de subrasante, carretera Juliaca - Caminaca, Puno 2021” que tiene como objetivo general determinar el CBR con la aplicación de mucílago de penca de tuna en subrasante de carretera Juliaca – Caminaca, Puno 2021 en proporciones de 25%, 50%, 75% y 100% en relación al peso de agua en la muestra de subrasante. La metodología que se empleó es de diseño experimental, de nivel explicativo y con un enfoque cuantitativo, con la variable independiente que es el mucílago de penca de tuna y la variable dependiente es el CBR de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca. Los resultados conseguidos mediante ensayos de mecánica de suelos indican que los valores de capacidad de soporte se van incrementando a medida que se aplica más mucílago de penca de tuna, obteniéndose resultados de CBR promedio de: 7.23%, 8.91%, 11.23% y 11.50% para las proporciones de 25%, 50%, 75% y 100% respectivamente. Llegando a la conclusión de que la proporción que más incrementó el CBR fue la aplicación de 100% de mucílago ya que con esta proporción se consiguió una capacidad de soporte de 11.50%, por lo que se puede afirmar que la aplicación de la penca de tuna influye de manera positiva en la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca.

**Palabras clave:** Mucílago de penca de tuna, CBR, subrasante



## ABSTRACT

The present thesis entitled "Application of prickly pear leaf mucilage and its effect on subgrade CBR, Juliaca - Caminaca highway, Puno 2021" whose general objective is to determine the CBR with the application of prickly pear leaf mucilage on the Juliaca highway subgrade. - Caminaca, Puno 2021 in proportions of 25%, 50%, 75% and 100% in relation to the weight of water in the subgrade sample. The methodology used is of experimental design, explanatory level and with a quantitative approach, with the independent variable that is the mucilage of prickly pear leaf and the dependent variable is the CBR of the subgrade of the Juliaca - Caminaca highway. The results obtained through soil mechanics tests indicate that the support capacity values increase as more mucilage of prickly pear is applied, obtaining average CBR results of: 7.23%, 8.91%, 11.23% and 11.50% for the proportions of 25%, 50%, 75% and 100% respectively. Reaching the conclusion that the proportion that increased the CBR the most was the application of 100% mucilage, since with this proportion a support capacity of 11.50% was achieved, so it can be stated that the application of the prickly pear leaf It has a positive influence on the subgrade of the Juliaca - Caminaca highway.

**Keywords:** Prickly pear leaf mucilage, CBR, subgrade

## INTRODUCCIÓN

En el mundo entero para impulsar el crecimiento económico es esencial las vías terrestres, ya que la red de carreteras que conforman los caminos rurales son agentes con los cuales se hace posible la comunicación permanente en la población, del mismo modo permite la entrada de vehículos comerciales que albergan servicios primarios básicos, por lo que es importante mantener el buen estado de estas vías. Además, el transporte estuvo ligado a la evolución humana desde tiempos remotos, superando retos físicos y técnicos permitiendo su desarrollo hasta la actualidad. (SALAS, 2011 pág. 17)

Las infraestructuras viales en América Latina presentan un crecimiento constante debido a la demanda que existe por el incremento de la tasa de vehículos motorizados, esto es originado por el ingreso sostenido, el comercio y la urbanización, ya que además el crecimiento de ciudades se da de manera expansiva, haciendo que la movilización de la población sean de distancias mayores, costosas y congestionadas, por lo que la movilidad urbana se ha transformado en un tema crítico dentro de los países. Kogan y Bondorevsky (2016 pág. 172).

En el Perú al igual que en muchos países sudamericanos muestran limitantes debido a la superficie territorial y demografía, además de que las carreteras cumplen con unir pueblos y dar conectividad a la sociedad, para que fluya la actividad económica también actúan como medios de comunicación entre las poblaciones, en gran parte en las zonas catalogadas rurales, ya que estas son zonas donde poseen peor condición de accesibilidad. Urazan, Escobar y Moncada (2017 pág. 9).

Así mismo, en la Región de Puno la situación sobre la infraestructura vial es preocupante ya que se observa que estas limitantes que existentes en la infraestructura vial, influye directamente a los pobladores en la realización de actividades económicas, por lo que requieren seguridad al momento de trasladarse por la carretera, si se da la importancia requerida a la infraestructura vial generara oportunidades de desarrollo socio-económico sobre todo a la población vulnerable de las zonas rurales. Quispe y Espinoza (2019 pág. 7)

El estado actual de las vías del Distrito de Caminaca se encuentra en malas condiciones, por el deterioro causado por los agentes climatológicos propios de la zona, además de provocar el inadecuado flujo vehicular y el transporte de la zona, estas vías son importantes ya que permiten la integración de sus comunidades para actividades comerciales. Calla (2015 p. 12).

De mucílago de penca de tuna posee aproximadamente un 95% de agua en peso, siendo este material abundante en la Región de Puno, además se observó en otros estudios que el mucílago de penca de tuna otorga una resistencia mecánica e impermeabiliza la subrasante, por lo que se asume que al contar con propiedades similares De mucílago de penca de tuna puede aportar mejores cualidades a las propiedades de la subrasante, asimismo este producto es natural que no contamina el medio ambiente promoviendo una construcción sostenible. Chaca Cristhian, [et al] (2019 pág. 2).

Por lo expuesto dentro de la realidad problemática emerge el siguiente problema general: ¿Cuál será el efecto en el CBR con la aplicación de mucílago de penca de tuna en la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca, Puno 2021?

La presente investigación se justifica técnicamente ya que siendo un gran reto en el campo de la construcción implementar nuevas alternativas naturales como el mucílago de penca de tuna para mejorar el CBR de la subrasante, aportara un conocimiento mucho mayor a los futuros ingenieros que se dediquen al ámbito de la infraestructura vial. Asimismo, socialmente se justifica por que contribuirá al bienestar de la población, debido a que la vía brindará un mejor servicio acorde a su diseño, permitiendo una mejor interacción de las ciudades y su población, de la misma manera económicamente se justifica debido a que se reducirá en el costo debido a que el material a utilizar es propio de la zona y de origen natural, además de que contribuirá al desarrollo de la población. Ambientalmente se justifica porque para realizar su estabilización e incremento en sus propiedades mecánicas se utilizará el mucílago de penca de tuna que es natural y no perjudica al medio ambiente por debido uso.

Efectuado el planteamiento del problema de investigación, se procede a plantear los siguientes objetivos, iniciando por el general el cual es: Determinar el CBR con

la aplicación de mucílago de penca de tuna en la subrasante, carretera Juliaca – Caminaca, Puno 2021, así mismo se procedió a formular los siguientes objetivos específicos los cuales son: Determinar la expansión de la subrasante aplicando mucílago de penca de tuna en la carretera Juliaca – Caminaca, Puno 2021. establecer el índice de plasticidad de la subrasante sustituyendo en un 25%, 50%, 75% y 100% el agua por el mucilago de penca de tuna de la carretera Juliaca – Caminaca, Puno 2021 y establecer el óptimo contenido de humedad con la incorporación de mucílago de penca de tuna para la compactación de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca, Puno 2021.

La presente investigación formula la siguiente hipótesis general: La aplicación de mucílago de penca de tuna influye en el CBR de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca, Puno 2021.

## I. MARCO TEÓRICO

Para caracterizar y tener una mejor referencia se hizo un recuento de la siguiente bibliografía de ámbito internacional y nacional.

### **Internacionales**

Según Cedeño (2016), en su tesis de pregrado nombrado “Investigación de la estabilización de suelos con enzima aplicado a la subrasante de la avenida Quitumbe – Ñan, Canton Quito” realizado para la Universidad Central de Ecuador, tiene como objetivo mejorar las propiedades físico-químicos de carreteras arcillosos incorporando estabilizantes a base de enzimas orgánicas. El diseño de investigación empleada es experimental. Por lo que el resultado demostró que aplicando enzimas en los suelos se puede determinar el máximo valor, como: densidad seca 1.629 gr/cm<sup>3</sup>, un contenido de húmedo óptimo de 19% y el ensayo de CBR al 95% se obtuvo un valor de 11.2%, concluyendo que incrementa su capacidad de soporte, incrementando su CBR de 11.2% con respecto al suelo natural de 9.5%.

Barragan y Cuervo (2019), en su tesis denominado “Análisis del comportamiento físico mecánico de la adición de ceniza de cascarilla de arroz de la variedad blanco a un suelo arenoso arcilloso”, tiene por objetivo analizar los factores físicos – mecánicos asociados a la resistencia de un suelo arenoso arcilloso al adicionarle la ceniza de cascarilla de arroz. La metodología es de diseño experimental – descriptivo. Los resultados demostraron que la muestra patrón sometido al ensayo de Proctor modificado resultó una OCH de 19.7% y MDS de 1.726 gr/cm<sup>3</sup>. Los resultados de CBR para un valor de 1% al 95% y 1.6% al 100%, al incorporar cenizas de cascarilla de arroz se obtuvo un CBR de 1.3% al 95%, y 1.9% al 100%. Concluyendo que al incorporar cenizas de cascarilla de arroz incrementa ligeramente las propiedades físico - mecánicas del suelo con un valor de 0.03% CBR.

Galindo (2018), en su proyecto de investigación denominado “Evaluar la inclusión de micropolímeros y cemento portland como agente estabilizador de suelos para conformación de rasantes”, tiene por objetivo evaluar cuanto influye el cemento portland y micropolímeros como agentes estabilizadores en suelos, el diseño de

investigación utilizado es aplicado - experimental. Dando como resultado un proctor modificado de OCH=5.5% y MDS=2.238 gr/cm<sup>3</sup>, con la incorporación de 3% de cemento resultó una OCH=6.2% y MDS=2.229 gr/cm<sup>3</sup>. Aplicando 3% de cemento + 0.65 l/m<sup>3</sup> de micropolímeros + 0.10 l/m<sup>2</sup> de micropolímeros de sello se obtuvo los valores de OCH=6.1% y MDS=2.218 gr/cm<sup>3</sup>. Para el ensayo de CBR se obtuvieron los valores; para el suelo natural 17.4 kg/cm<sup>2</sup>, incorporando el 3% de cemento + 0.65 l/m<sup>3</sup> de micropolímeros + 0.10 l/m<sup>2</sup> de micropolímeros de sello se obtuvo los valores de 20.9 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días concluyendo que, de acuerdo a los ensayos efectuados, la aplicación de micropolímeros repercuten directamente a las propiedades físico-mecánicas del suelo.

Canaria (2020), en su proyecto de investigación denominado “Estudio de estabilizaciones de material para la conformación de afirmado en terraplenes del municipio de la primavera - Vichada, mediante la adición de polímeros sintéticos ecológicos”, tiene como objetivo evaluar técnicamente la estabilización de material extraído de la cantera Matiyure, para afirmado de terraplenes del municipio de la Primavera – Vichada, utilizando polímeros sintéticos ecológicos. Metodología de diseño cuasi – experimental. Los resultados demostraron que la muestra patrón contiene con una OCH=12.7% y MDS=1.957 gr/cm<sup>3</sup> al 100% CBR se obtuvo un valor de 5.97, luego con la incorporación de polímeros sintéticos ecológicos se pudieron obtener los resultados. Adicionando un 0.80% de polímero sintético ecológico se obtuvo un valor de 70.07% de CBR, con la incorporación de 0.80% de polímero sintético ecológico se obtuvo un valor de 75.65% CBR, con la aplicación de 1.20% de polímero sintético ecológico se obtuvo un valor de 87.08% de CBR. Concluyendo que la aplicación de polímeros sintéticos incrementa las propiedades del material, pero no llega a cumplir con las normas establecidas en el país de Colombia.

Según Cobos, Ortigón y Peralta (2019), en su proyecto de investigación nombrada “Características del comportamiento geotécnico de suelos de origen volcánico estabilizados con cenizas provenientes de cascara de coco y cisco de café”. Tiene como objetivo evaluar un suelo volcánico que fue estabilizado con cisco de café y cenizas de cáscara de coco, el diseño de esta tesis es experimental – descriptivo cuyos resultados demostraron que para el ensayo de CBR en suelo natural se

obtuvo el valor de 75.09%, aplicando cisco de café y cenizas de cascara de coco se obtuvieron los valores al 5% se obtuvo 63.22% CBR, al 10% se obtuvo 77.42% CBR, al 15% se obtuvo 96.21% CBR. Por ello se concluye que la incorporación de cisco de café y cenizas de cascara de coco mejoran considerablemente las propiedades físico mecánicas de los suelos, resaltando más en las propiedades mecánicas puesto que cumplen como un conglomerante el cual incrementa su capacidad de soporte.

### **Nacional**

Según Chaca., Cristhian, [et al] (2019)., en su trabajo de investigación denominada; Estudio del mucílago de penca de tuna para la estabilización de suelos arenoso arcilloso en la subrasante, Jicamarca Huarochiri 2019, tiene por objetivo el estudio y la explicación de la resistencia al agregar mucílago en la subrasante para estabilizar suelos arcillosos y arenosos formulándose la siguiente hipótesis: Al agregar mucílago de penca en la subrasante para suelos arcillosos y arenosos aumentaría su resistencia. La metodología es de carácter experimental – descriptivo – aplicada de enfoque cuantitativo se tuvo un resultado favorable al incorporar mucílago de penca ya que el ensayo de proctor se obtuvo 5.9% de contenido de humedad óptimo y en cuanto al ensayo de densidad seca (MDS) se obtuvo un valor máximo de 1.547 gr/cm<sup>3</sup> , con éstos resultados se obtuvo la cantidad exacta de mucílago en (ml). En conclusión, se logró estudiar las características físico – mecánico de un suelo arenoso y arcilloso adicionando mucílago al 100 % reemplazando al agua permitiendo así la utilización de este material en la subrasante de una carretera.

Según More y Drogo (2019), en su proyecto de investigación denominada “Estabilización de la subrasante en suelos adicionando la resina de plátano en el tramo Cacatachi – Chirapa 2019”, tiene por objetivo estabilizar la subrasante en suelos adicionando la resina de plátano. La metodología es de diseño pre – experimental, resultando un proctor modificado de 1.96 gr/cm<sup>3</sup>, con la adición de 1.25% se obtuvo un valor de 1.98 gr/cm<sup>3</sup>, con la adición de 2.50 % se obtuvo un valor de 2.06 gr/cm<sup>3</sup>, con la adición de 5.00% de obtuvo un valor de 2.02 gr/cm<sup>3</sup>. Una vez que obtuvo su densidad máxima se realizó en el ensayo de capacidad de soporte donde su muestra patrón tuvo un CBR de 6.60% con la aplicación de 1.25%

de resina de plátano fue de 8.00%, con la aplicación de 2.50% obtuvo un valor de 12.50% finalmente con la aplicación de 5.00% de resina de plátano se obtuvo un valor de 11.00% de CBR. Concluyendo, la aplicación de resina de plátano incrementa las propiedades físico - mecánicas del suelo como se puede apreciar en los resultados.

Figuroa, Junior (2020), en su proyecto de investigación nombrado, "Aplicación de mucilago de penca de tuna, para mejorar las propiedades de suelos blandos, en el distrito de Lurín, Lima 2020" de la Universidad César Vallejo, tuvo por objetivo conocer la influencia que tiene un aditivo natural como el mucílago de penca de tuna incorporado a un terreno mejorando así las propiedades propias del terreno, la metodología fue de diseño experimental realizando los siguientes ensayos: proctor modificado, CBR y límites de consistencia, incorporando el mucílago en el terreno natural con las siguientes dosificaciones de 30%, 45% y 70%, obteniendo como resultado lo siguiente: MDS=1.846 gr/cm<sup>3</sup>, adicionando 30% de mucilago aumentó a 1.851 gr/cm<sup>3</sup>, adicionando el 45% de mucilago a 1.853 gr/cm<sup>3</sup> y añadiendo el 70% a 1.859 gr/cm<sup>3</sup>. Contenido de Humedad inicial es de 13.70%, adicionando el 30% de mucilago aumentó a 14.04%, adicionando el 45% a 14.16% y adicionando el 70% a 14.72%.

Según Mendizabal (2018), en su proyecto de tesis denominado "Adición del mucílago de penca de tuna para estabilizar suelos arcillosos, Chilca", tiene por objetivo diagnosticar los efectos al incorporar mucílago de penca de tuna en la subrasante para estabilizar suelos arcillosos. La metodología es de diseño experimental, resultando en el proctor modificado, densidad seca y contenido húmedo óptimo, la muestrapatrón obtuvo los valores de 13.7% OCH y 1.846 gr/cm<sup>3</sup>, con la incorporación de mucílago la adición de 25%, se obtuvo 14.00% OCH y 1.85 gr/cm<sup>3</sup>, con la adición de 50% se obtuvo 14.2% OCH y 1.854 gr/cm<sup>3</sup>, con la adición de 75% se obtuvo 14.85% OCH y 1.86 gr/cm<sup>3</sup>, con respecto a su capacidad de soporte (CBR) al 95% la muestra patrón obtuvo un valor de 5.7%, con la incorporación de penca de tuna, la adición de 25% obtuvo una resistencia de 7.6%, con la adición de 50% obtuvo un valor de 9.4%, con la adición de 75% obtuvo un valor de 11.8%, concluyendo con la incorporación de mucílago incrementa



satisfactoriamente las propiedades físico mecánicas del suelos, fijando que la adición del 75% obtuvo mejores valores.

De acuerdo a Nesterenko (2018), en su tesis nombrado “Desempeño de suelos estabilizados con polímeros en Perú”, tiene por objetivo comparar bajo las mismas condiciones de contexto, los resultados de los suelos ensayados en estado natural respecto a los suelos estabilizados con polímero PAM. La metodología es de diseño cuasi – experimental, los resultados demostraron que para una estabilización con fundamentales las características del índice plástico, densidad seca máxima, contenido húmedo óptimo y CBR, por ello para el suelo A de tipo SM con la adición de polímero natural obtuvo los valores MDS 1.947 gr/cm<sup>3</sup>, OCH 8.66%, con una capacidad de soporte al 95” MDS 15% y para el 100% MDS 19.1%. con la adición de polímero PAM obtuvo los valores MDS 2.032 gr/cm<sup>3</sup>, OCH 8.45%, con una capacidad de soporte al 95” MDS 29.6% y para el 100% MDS 38.6%. Para el suelo B de tipo CL con la adición de polímero natural obtuvo los valores MDS 1.389 gr/cm<sup>3</sup>, OCH 28%, con una capacidad de soporte al 95” MDS 15.6% y para el 100% MDS 24.7%. con la adición de polímero PAM obtuvo los valores MDS 1.401 gr/cm<sup>3</sup>, OCH 26%, con una capacidad de soporte al 95” MDS 38.4% y para el 100% MDS 47.8%. Para el suelo C de tipo GP-GM con la adición de polímero natural obtuvo los valores MDS 2.217 gr/cm<sup>3</sup>, OCH 7.06%, con una capacidad de soporte al 95” MDS 41.4% y para el 100% MDS 50.1%. con la adición de polímero PAM obtuvo los valores MDS 2.221 gr/cm<sup>3</sup>, OCH 6.6%, con una capacidad de soporte al 95” MDS 50% y para el 100% MDS 50.1%. Para el suelo A de tipo GP con la adición de polímero natural obtuvo los valores MDS 2.05 gr/cm<sup>3</sup>, OCH 8.4%, con una capacidad de soporte al 95” MDS 40.5% y para el 100% MDS 56.8%. con la adición de polímero PAM obtuvo los valores MDS 2.101 gr/cm<sup>3</sup>, OCH 7.6%, con una capacidad de soporte al 95” MDS 52.6% y para el 100% MDS 69.7%. Para el suelo A de tipo GM con la adición de polímero natural obtuvo los valores MDS 2.09 gr/cm<sup>3</sup>, OCH 11.00%, con una capacidad de soporte al 95” MDS 38.4% y para el 100% MDS 49.3%. con la adición de polímero PAM obtuvo los valores MDS 2.16 gr/cm<sup>3</sup>, OCH 9.8%, con una capacidad de soporte al 95” MDS 60.3% y para el 100% MDS 72.8%. Concluyendo que la aplicación de polímero PAM incrementa las propiedades físico - mecánicas del suelo con respecto al polímero natural.

## **Teorías relacionadas al tema**

### **Suelos**

Se define como el conjunto de componentes de mineras y restos de materia orgánica, poros y algunos líquidos, que se pueden encontrar en la superficie del planeta, se encuentra dividido en distintos estratos o también conocido como horizontes, dentro de la ingeniería civil el suelo se encarga de soportar las cargas y peso de la estructura (SCHOONOVER, y otros, 2015 pág. 21).

### **Arcilla**

Se definen como sustancias de origen natural que se encuentran esparcidos en la superficie del planeta, y al juntarse con el agua puede adquirir plasticidad, en sedimentos es donde encontramos la mayor cantidad de arcillas, aunque por lo general no se originen de allí, se originan principalmente por procesos de meteorización de las rocas (GARCÍA, y otros, 2018 pág. 2).

### **Límites de consistencia**

El L. líquido es el porcentaje de agua en relación al peso en el que el suelo se comporta como una masa líquida y empieza a fluir. El límite plástico es la proporción de agua en relación al peso del suelo en el que se puede enrollar bastoncitos de suelo de 1/8" sin que el suelo se desmorone (OLUFOWOBI, y otros, 2014 pág. 544).

### **California bearing ratio**

Se define como el test para analizar las capas granulares y el suelo de subrasante de las vías, trata de la aplicación de una fuerza de 1.27mm/min, donde la masa del suelo fue compactada hasta alcanzar la densidad seca máxima, donde se añaden discos anulares que simulan la carga de capas granulares y pavimento (MAGNAN, y otros, 2015 p. 51)

### **Estabilización de suelos**

Es el mejoramiento de las características físico - mecánicas de uno o más suelos, con lo cual se logra obtener un suelo con las especificaciones deseadas como el incremento de la capacidad de soporte, una mejor permeabilidad y ser más resistente al intemperismo y el flujo vehicular (LIM, y otros, 2014 p. 204).

### **Estabilización química**

Se conceptualiza como el uso de elementos químicos para perfeccionar de las características del suelo, decreciendo su plasticidad y aumentado su capacidad de soporte y su resistencia frente a cargas de tráfico y las inclemencias del clima (MURTY, y otros, 2016 pág. 569).

### **Estabilización mecánica**

Este tipo de estabilización se realiza a través de la compactación del suelo, lo que facilita a disminuir su compresibilidad y la cantidad de poros, asimismo perfeccionar las características del suelo como la resistencia al corte y la capacidad de soporte (HIGUERA, y otros, 2012 p. 24).

### **Estabilización física**

Con este método de estabilización buscamos aumentar la cohesión, la impermeabilidad y la fricción del suelo, esto se logra realizando una mixtura de dos o más suelos modificando la granulometría general del suelo (HIGUERA, y otros, 2012 pág. 24)

### **Subrasante**

Es la parte principal parte de las capas de un pavimento, que se encuentra entre el suelo de fundación y la estructura del terraplén. Tiene como función soportar el peso de toda la estructura y la carga ocasionada por el flujo vehicular, las propiedades del suelo de subrasante deberán satisfacer las especificaciones requeridas y ser compactados por capas para no perder volumen (MTC, 2013 pág. 21)

### **Mucílago de la penca de tuna**

Se conceptualiza como un hidrocoloide que tiene la capacidad de producir redes estructurales, esta propiedad es el más importante para la envoltura o película, esta goma es posible encontrar en diferentes variedades de plantas especialmente en cactus (SALINAS, y otros, 2015 pág. 194).

Una de las características más importantes es el decrecimiento de la superficie que suele transpirar al obtener forma de globos o parecido a una esfera, las espinas

evitan la pérdida de humedad, condensan el agua que están en la atmósfera, asimismo la protege de los animales herbívoro (TREVIZAN, y otros, 2018 pág. 110)

Los cactus se dividen en nopales que se pueden llamar arbustos rastreros y que cuentan con espinas, que llegan alcanzar alturas de tres a cinco metros. Cuentan con grandes ramas, poseen raíces muy finas, suelen desarrollarse en climas áridos con nula o poca presencia de aguaceros (HUERTA, 2020)

## II. METODOLOGÍA

### 3.1. Diseño y tipo de investigación

#### **Tipo de investigación:**

Comprende al conjunto de diferentes métodos que se aplican para conocer el resultado de un problema y así generar conocimientos nuevos en el área a aplicarse Hernández y Baptista (2014)

La investigación es tipo aplicada, debido a que se emplearon teorías, métodos y procedimientos de manipulación de la variable independiente, resultando un proceso aplicado de conocimientos para obtener los resultados esperados según los objetivos.

#### **Diseño de investigación:**

Según Hernández (2019) en las investigaciones científicas de tipo experimental se tiene que definir el procedimiento para demostrar la hipótesis, señalando el objeto a estudiar y con que se le manipulará. Con este concepto podemos deducir que la investigación es de diseño EXPERIMENTAL PURO, ya que existirán varios grupos experimentales y un grupo de control, es decir, un grupo en el que no se adicionará mucílago líquido vegetal de cactus, así como también existirán varios grupos donde se adicionarán porcentajes de mucílago líquido vegetal de cactus.

#### **Nivel de la investigación**

Según Hernández y Baptista (2014) los estudios explicativos – descriptivos van direccionados a responder los motivos del porque sucede un fenómeno y en qué circunstancias se manifiesta. Con esta definición podemos afirmar que la presente investigación es de nivel EXPLICATIVO, ya que responderá como influye el mucílago sobre la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca

### 3.2. Variables y operacionalización

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

- a) **Definición Conceptual:** Los mucílago son sustancias similares a los pegamentos, que forman fragmentaciones viscosas cuando se ponen en contacto con el agua y tienen una fácil impregnación; es una propiedad importante de lo cactus en retención de agua. Villanueva (2019 pág. 5).
- b) **Definición Operacional:** Los mucílago vegetales son aditamentos que repercuten en el comportamiento del agua, las cuales brindan una consistencia viscosa la cual permite la mejor adherencia a los materiales con las cuales se expone, el fin de emplear este material es de proporcionar mejores capacidades de resistencia al suelo mediante la dosificación del 25%, 50%, 75% y 100% de este material.
- c) **Dimensiones:** Proporciones de mucílago de penca de tuna.
- d) **Indicadores:** 25%, 50%, 75% y 100% proporciones de penca de tuna.
- e) **Instrumento:** Ensayos en laboratorio
- f) **Escala de Medición:** Razón

**Variable dependiente:** CBR en la subrasante

- a) **Definición Conceptual:** El CBR o mayormente conocido como la relación de soporte califonia tiene la capacidad de evaluar la calidad relativa de un suelo con base a su resistencia, en consecuencia, dentro de la subrasante se cuentan con una serie de parámetros con la cual se caracteriza esta resistencia (LONDA, y otros, 2016 pág. 28).
- b) **Definición Operacional:** El CBR de la subrasante se caracteriza como la resistencia con la que cuenta el terreno evaluado, en la presente investigación se pretende caracterizar el terreno por medio de ensayos como: límites de Atterberg, CBR y Proctor modificado.
- c) **Dimensiones:** CBR, Índice de plasticidad y contenido húmedo óptimo.
- d) **Indicadores:** % de CBR, contenido de humedad óptimo e índice plástico.

**e) Instrumento:** Ensayo de california, límites de Atterberg y proctor modificado.

**f) Escala de Medición:** Razón.

### **3.3. Población y muestra**

#### **Población**

Según Tamayo (2003 pág. 114), es la muestra la cual será evaluada en el ámbito del desarrollo del proyecto.

En la siguiente investigación, la población se constituyó por las carreteras de la provincia de San Román.

#### **Criterios de inclusión**

Según Vara (2010) es delimitar una población incluyendo y considerando sus características propias, propiedades y aspectos.

Para elaborar la presente tesis se consideraron netamente las trochas en estado de afirmado de la provincia de San Román.

#### **Criterios de exclusión**

Según Vara (2010 pág. 55) es delimitar una población excluyendo sus características propias propiedades y aspectos.

Para la investigación presente no se consideraron vías que contemplen carpetas asfálticas o rígidas.

#### **Muestra**

Según Hernández y Baptista (2014 pág. 21), es donde se delimita un área de investigación, esta se considera como representativa de la misma.

La muestra que se empleó para la investigación está constituida por la carretera Juliaca – Caminaca, específicamente dentro de las progresivas del km (1+100 al 8+800).

## **Muestreo**

Este punto viene a ser una población más específica donde se procederá a desarrollar la investigación, esta dependerá de fórmulas para determinar si va tras un proceso de análisis probabilístico o no probabilístico. Pino (2018).

La presente propuesta de investigación utilizara un muestro no probabilístico, debido a que dentro de la vía Juliaca – Caminaca se tomaran los puntos más críticos.

### **3.4. Instrumentos y técnicas de recolección de datos**

#### **Técnicas de recolección de datos**

Son usadas para la recopilación de datos, debido a que la información recopilada será usada y dará explicaciones, estas pueden estar determinadas por la metodología y el enfoque al que está dirigida la investigación, en resumen, los instrumentos y técnicas sirven al investigador para la recaudación de datos que posteriormente serán analizadas, evaluadas y comparadas. Arias (2004).

Las técnicas aplicadas en la investigación son: observación de procesos, obtención de materiales a incorporar, apertura de calicatas, extracción de muestras, ensayos en laboratorio, analizar los resultados e interpretarlos, todos de suma importancia para realizar la presente investigación.

#### **Instrumentos de recolección datos**

Se define esto como una serie de medios que ayudan al investigador ya sea de

forma física o virtual con la cual se pueda proceder a la toma de datos. García (2004)

Los instrumentos empleados en la investigación son cotización de materiales, herramientas de apertura de calicatas, formatos de campo, software de análisis e interpretación de resultados.

#### **Validez y confiabilidad**



## **Validez**

De la misma manera Santos (2017 pág. 1) indica que la validez es un procedimiento por medio del cual el investigador que realiza formularios o formatos recibe prueba para sustentar sus inferencias. Este proceso de validación necesita un análisis experimental dirigido a recolectar los datos.

### **3.5. Procedimientos**

Primeramente, se procedió a realizar la visita al tramo de intervención carretera Juliaca Caminaca, para realizar las calicatas.

Seguidamente se procedió a extraer el material de la subrasante a una profundidad de 0.50m, así mismo luego de la extracción correspondiente se procedió del material de subrasante se efectuó el traslado correspondiente del árido hacia el laboratorio de estudio.

Continuando el procedimiento se pasa a detallar la obtención del mucílago, primeramente, se recopiló el material.

Por consiguiente, se procede a picar la penca de tuna.

Una vez picado la penca se procede a extraer el material, con la ayuda de una extractora convencional.

Seguidamente se procede a colar el material en un recipiente.

Una vez obtenido los materiales, se procede a efectuar los ensayos de laboratorio correspondiente, comenzando con el tendido de material, para el secado correspondiente, una vez obtenido el material seco se procede a colocarlo dentro de bandejas para posteriormente ser cuarteadas.

En primer lugar, se hizo el desarrollo del ensayo geotécnico de granulometría, donde primeramente se realizó el secado de la muestra, posterior a esto se realizó el cuarteo de la muestra de suelo, como el estrato es un suelo predominantemente fino se realizó el lavado a través de la malla #200.

Una vez que se procede a realizar las proporciones retenidas en cada uno de los tamices se procedió a trasladarlos hacia el horno, finalmente se procedió

a volver a pesar a cada una de las proporciones de suelo y anotarlas para la elaboración de la curva granulométrica.

Para hallar el límite líquido se usó un aproximado de 150 gramos de suelo pasante de la malla #40, el cual fue combinada con una cierta cantidad de agua, para posteriormente ser colocada sobre la cuchara de Casagrande donde se fue golpeando a una velocidad de entre 1.9 a 2.1 golpes por segundo, hasta cerrar la abertura realizada por el acanalador, esto hasta lograr que la abertura se cierre en los siguientes intervalos 25-35, 20-30 y 15-25, debido a que se trabajó con el método del multipunto.

Para el caso del límite plástico se rodó con el uso de los dedos encima de una superficie lisa, con la fuerza suficiente para elaborar bastoncitos de suelo de un diámetro de 3.2 milímetros hasta presenciar algunas fisuras transversales en los bastones de suelo.

Para la obtención del contenido húmedo óptimo y densidad máxima seca se realizaron ensayos geotécnicos del Proctor Modificado; en primer lugar, se pesaron las cantidades aproximadas de suelo, donde se añadieron distintas proporciones de agua. Se realizó la combinación del agua con el suelo, y se fueron añadiendo al molde de Proctor donde fueron apisonadas en diferentes capas, para posteriormente ser enrazadas, una vez culminado de apisonar las capas se retiró el collarín del molde, y a extraer la muestra de suelo de la parte media del espécimen, el cual fue pesado y llevado al horno, para calcular el contenido de agua.

Para el CBR, el procedimiento fue el siguiente: en primer lugar. se pesó las cantidades de aproximadamente 6000 gramos para cada molde de CBR, donde se colocaron discos espaciadores de 2 pulgadas y un papel filtro, donde se añadieron las cantidades de agua del contenido húmedo conseguidos en el ensayo de Proctor modificado. Se compactaron en cinco capas y recibieron 12, 25 y 56 golpes cada capa. Una vez compactados se procedió a colocar cargas de discos metálicos que simulan el peso de las capas granulares del pavimento. Posteriormente se les colocó un trípode con un dial que fue el que midió la expansión de los suelos, los moldes fueron sumergidos por un periodo

de 96 horas donde se fueron anotando los valores de expansión. Una vez que pasaron los cuatro días los moldes fueron retirados del agua, se inclinaron los moldes y se dejó escurrir el agua por un periodo de quince minutos, posterior a esto fueron transportados hacia la prensa de CBR, donde se le aplicaron fuerzas.

### **3.6. Método de análisis de datos**

Se usó el método inductivo para concretar conclusiones, posteriormente se dedujo a concluir a partir de la teoría realizada de manera sintética debido a que las bases teóricas son importantes en el desarrollo y aplicación de la investigación.

### **3.7. Aspectos éticos**

Éste trabajo de tesis está realizado de acuerdo según los lineamientos que se encuentran establecidos en la Resolución N.º 0126-2017/UCV de 23 de mayo de 2017, por lo cual se tuvo en cuenta en todo el procedimiento de la elaboración de la tesis, cumplimiento así con los aspectos mencionados en el Artículo 1, ya que se cumple con los estándares máximos de rigor científico, responsabilidad y honestidad.

La presente investigación se basa netamente en el desarrollo de múltiples aspectos éticos, ya establecidos en la Norma mencionada para lo cual la obtención de información fue recabada de fuentes confiables, las cuales no se modificaron ni alteraron, así mismo se realizó el citado adecuadamente de los libros, normas, tesis, artículos científicos, etc. La autoría de estos fue respetada.

Con lo expuesto se acredita que:

- Se respetó la autoría de los autores de los libros, tesis y artículos científicos, cumpliendo con lo establecido en las normas ISO-690.
- Se ensayaron los materiales en un laboratorio que contaba con la acreditación de sus equipos, dando validez a los resultados obtenidos.

### III. RESULTADOS

En el presente capítulo presentamos los resultados adquiridos de ensayos concretados en laboratorio, para responder a nuestros objetivos, mediante tablas y gráficos, asimismo, se darán abreviaturas tales como SN que significa Suelo Natural, MPT que es Mucilago de Penca de Tuna y H2O que indica que es Agua.

#### **CBR de subrasante - Suelo Natural**

Para caracterizar el CBR de subrasante natural se efectuaron calicatas dentro de las progresivas: km 1+100, km 2+200, km 3+300, km 4+400, km 5+500, km 6+600, km 7+700 y km 8+800, cuantificando un total de 8 calicatas, los valores que se obtuvieron dentro de este tramo de estudio Carretera Juliaca – Caminaca, se contemplan dentro de la tabla 01.

**Tabla 01.** *CBR de suelo natural.*

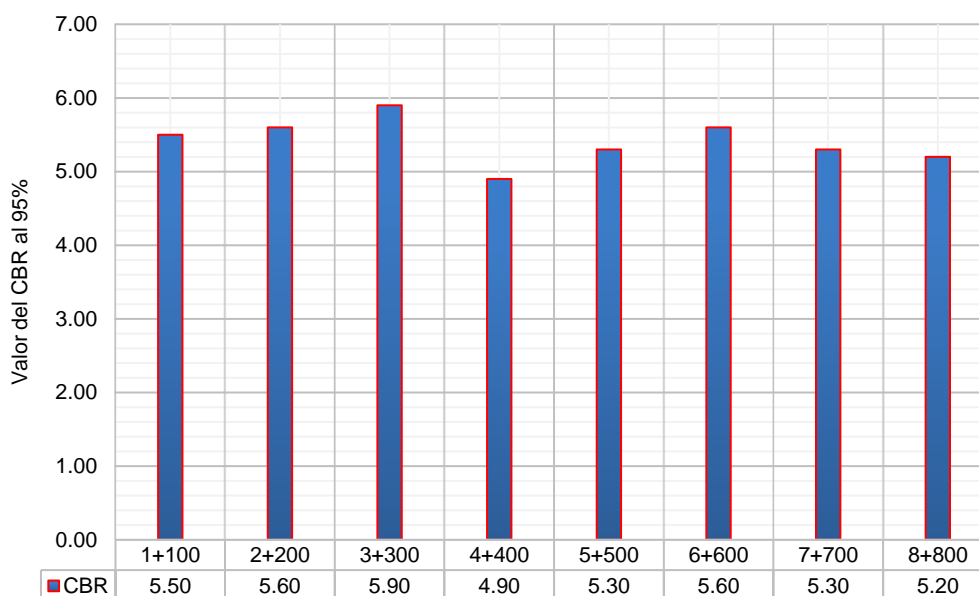
Ítem	Descripción	Progresiva	CBR 95%
1	C1	1+100	5.50
2	C2	2+200	5.60
3	C3	3+300	5.90
4	C4	4+400	4.90
5	C5	5+500	5.30
6	C6	6+600	5.60
7	C7	7+700	5.30
8	C8	8+800	5.20
<b>Promedio</b>			<b>5.41</b>

Fuente. Elaboración propia

E la tabla mostramos los valores del CBR generados dentro del tramo de estudio de los cuales se puede definir que en su totalidad no cumplen con el CBR mínimo de diseño, ya que el Manual de Carretera especifica que la subrasante debe encontrarse en un valor mayor al 6% lo cual no se ve reflejado dentro de la carretera Juliaca – Caminaca, ya que se generó un valor promedio del 5.41%.

Dentro la figura 01, se puede apreciar cómo va oscilando los valores del CBR de acuerdo a cada progresiva evaluada denotando que el valor mayor del CBR se encuentra dentro de la progresiva 3+300 con un 5.90% de CBR al 95%.

### CBR de Subrasante - Suelo Natural



**Figura 01.** Resumen del CBR de suelo natural.

Fuente. Elaboración propia

### CBR de subrasante aplicando 25% MPT + 75% H2O

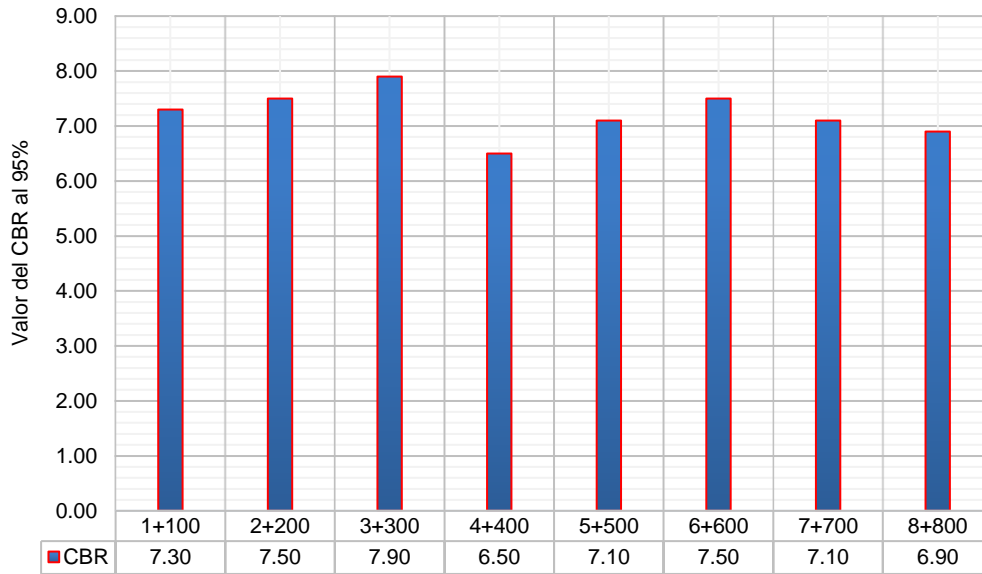
Para caracterizar el CBR de subrasante sustituyendo el 25% de MPT en relación al 100% de H2O, se efectuaron ensayos de CBR con el suelo obtenido de las calicatas ubicadas en las progresivas: km 1+100, km 2+200, km 3+300, km 4+400, km 5+500, km 6+600, km 7+700 y km 8+800, los cuales detallamos dentro de la tabla 02.

**Tabla 02.** CBR de subrasante aplicando el 25% MPT + 75% H2O.

Ítem	Descripción	Progresiva	CBR 95%
1	C1 (25% MPT + 75% H2O)	1+100	7.30
2	C2 (25% MPT + 75% H2O)	2+200	7.50
3	C3 (25% MPT + 75% H2O)	3+300	7.90
4	C4 (25% MPT + 75% H2O)	4+400	6.50
5	C5 (25% MPT + 75% H2O)	5+500	7.10
6	C6 (25% MPT + 75% H2O)	6+600	7.50
7	C7 (25% MPT + 75% H2O)	7+700	7.10
8	C8 (25% MPT + 75% H2O)	8+800	6.90
<b>Promedio</b>			<b>7.23</b>

Fuente. Elaboración propia

### CBR de subrasante aplicando el 25% Mucilago de Penca de Tuna + 75% H2O



**Figura 02.** Resumen de CBR aplicando 25% MPT + 75% H2O

Fuente. Elaboración propia

En la figura mostrada caracterizamos los valores del CBR aplicando el 25% de MPT en relación al 100% de H2O, generando un efecto positivo en todos los casos ya que se aprecian valores mayores al 6%, cumpliendo con los parámetros mínimos de la subrasante que designa el Manual de Carreteras.

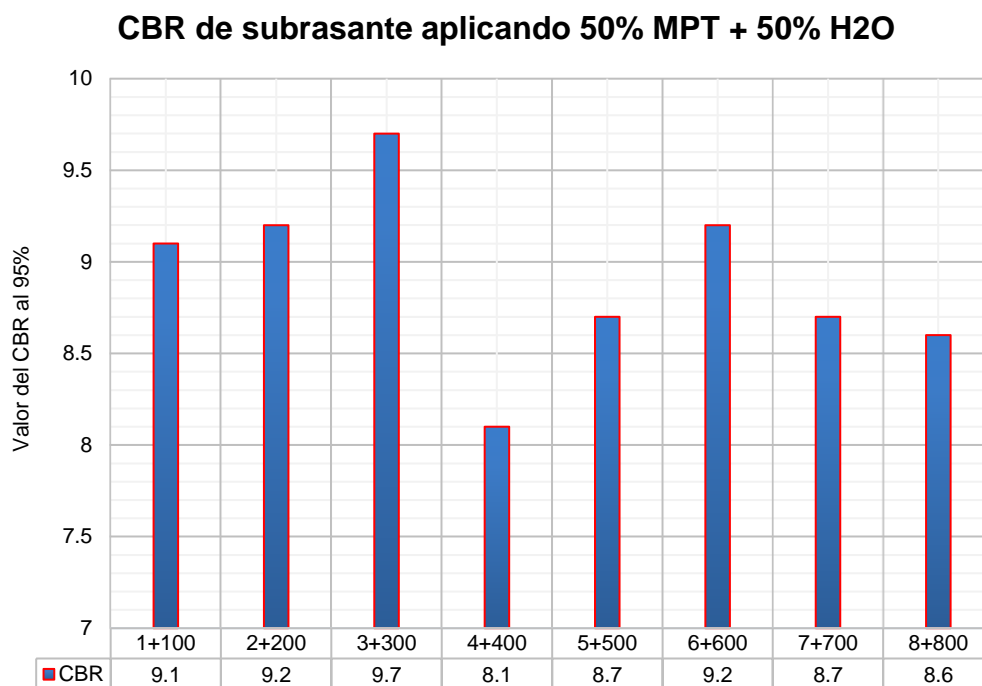
### CBR de subrasante aplicando el 50% MPT + 50% H2O

**Tabla 03.** CBR de subrasante aplicando el 50% MPT + 50% H2O.

Ítem	Descripción	Progresiva	CBR 95%
1	C1 (50% MPT + 50% H2O)	1+100	9.10
2	C2 (50% MPT + 50% H2O)	2+200	9.20
3	C3 (50% MPT + 50% H2O)	3+300	9.70
4	C4 (50% MPT + 50% H2O)	4+400	8.10
5	C5 (50% MPT + 50% H2O)	5+500	8.70
6	C6 (50% MPT + 50% H2O)	6+600	9.20
7	C7 (50% MPT + 50% H2O)	7+700	8.70
8	C8 (50% MPT + 50% H2O)	8+800	8.60
<b>Promedio</b>			<b>8.91</b>

Fuente. Elaboración propia

Para caracterizar el CBR de subrasante aplicando el 50% de MPT en relación al 100% de agua, se efectuaron ensayos de CBR con el suelo obtenido de las calicatas ubicadas en las progresivas: km 1+100, km 2+200, km 3+300, km 4+400, km 5+500, km 6+600, km 7+700 y km 8+800, los cuales se detallan dentro de la tabla 03.



**Figura 03.** Resumen de CBR aplicando 50% MPT + 50% H2O

Fuente. Elaboración propia

En la figura mostrada caracterizamos los valores del CBR natural + sustitución del 50% de MPT en relación al 100% de H2O, generando un efecto positivo en todos los casos, siendo el más influyente la muestra que se encuentra dentro de la progresiva 3+300, ya que se aprecia un valor mayor al 6%, cumpliendo con los parámetros mínimos de la subrasante que designa el Manual de Carreteras.

### **CBR de subrasante aplicando 75% MPT + 25% H2O**

Para determinar el CBR de subrasante aplicando el 75% de MPT en relación al 100% de H2O, se efectuaron ensayos de CBR con el suelo obtenido de las calicatas ubicadas en las progresivas: km 1+100, km 2+200, km 3+300, km 4+400, km 5+500, km 6+600, km 7+700 y km 8+800, detallados dentro de la tabla 04.

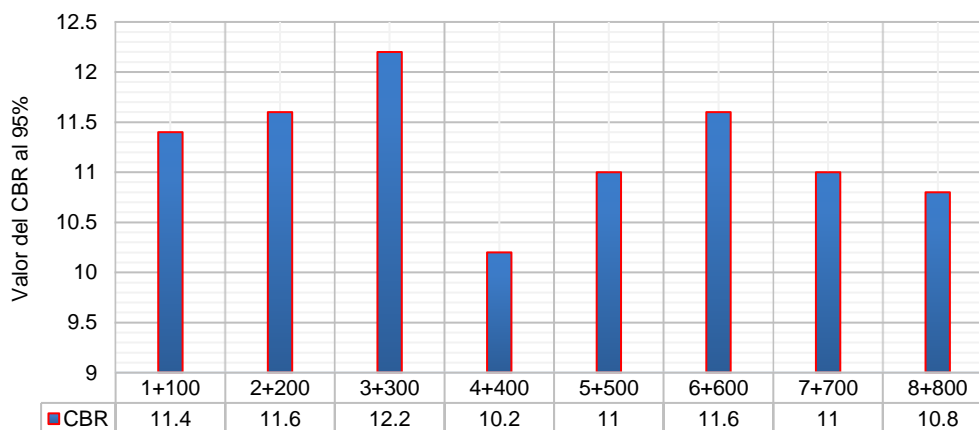
**Tabla 04.** CBR de subrasante aplicando 75% MPT + 25% H2O)

Ítem	Descripción	Progresiva	CBR 95%
1	C1 (75% MPT + 25% H2O)	1+100	11.40
2	C2 (75% MPT + 25% H2O)	2+200	11.60
3	C3 (75% MPT + 25% H2O)	3+300	12.20
4	C4 (75% MPT + 25% H2O)	4+400	10.20
5	C5 (75% MPT + 25% H2O)	5+500	11.00
6	C6 (75% MPT + 25% H2O)	6+600	11.60
7	C7 (75% MPT + 25% H2O)	7+700	11.00
8	C8 (75% MPT + 25% H2O)	8+800	10.80
<b>Promedio</b>			<b>11.23</b>

Fuente. Elaboración propia

Valores del CBR de subrasante aplicando el 75% de MPT en relación al 100% de H2O, generando un efecto positivo en todos los casos ya que se aprecian valores mayores al 6%, cumpliendo con los parámetros mínimos de la subrasante que designa el Manual de Carreteras.

**CBR de subrasante aplicando el 75% MPT + 25% H2O**



**Figura 04.** Resumen de CBR aplicando 75% MPT + 25% H2O

Fuente. Elaboración propia

### CBR de la subrasante aplicando el 100% MPT

Para determinar el CBR de la subrasante sustituyendo el 100% de MPT del peso de agua requerido, se efectuaron ensayos de CBR con el suelo obtenido de las calicatas ubicadas en las progresivas: km 1+100, km 2+200, km 3+300, km 4+400,



km 5+500, km 6+600, km 7+700 y km 8+800, los cuales detallamos dentro de la tabla 05.

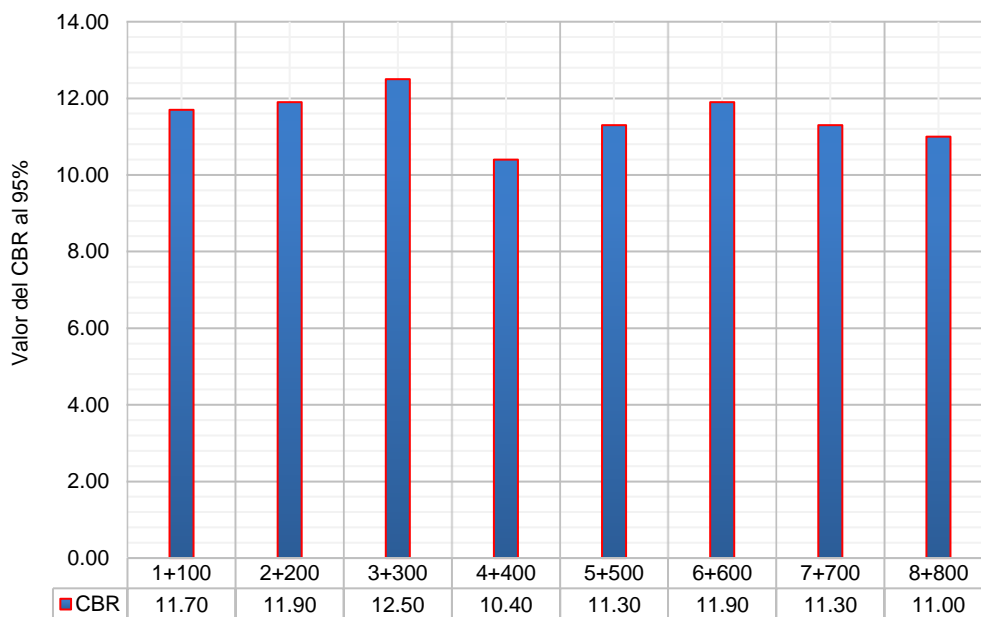
**Tabla 05.** CBR de subrasante aplicando el 100% MPT + 0% H2O.

Ítem	Descripción	Progresiva	CBR 95%
1	C1 (100% MPT+ 0% H2O)	1+100	11.70
2	C2 (100% MPT+ 0% H2O)	2+200	11.90
3	C3 (100% MPT+ 0% H2O)	3+300	12.50
4	C4 (100% MPT+ 0% H2O)	4+400	10.40
5	C5 (100% MPT+ 0% H2O)	5+500	11.30
6	C6 (100% MPT+ 0% H2O))	6+600	11.90
7	C7 (100% MPT+ 0% H2O)	7+700	11.30
8	C8 (100% MPT+ 0% H2O)	8+800	11.00
<b>Promedio</b>			<b>11.50</b>

Fuente. Elaboración propia

Valores obtenidos del CBR de subrasante aplicando el 100% de MPT en vez de agua, generando un efecto positivo en todos los casos ya que se aprecian valores mayores al 6%, cumpliendo con los parámetros mínimos de la subrasante que designa el Manual de Carreteras.

**CBR de subrasante aplicando el 100% MPT + 0% H2O**



**Figura 05.** Resumen de CBR aplicando 100% MPT + 0% H2O.

Fuente. Elaboración propia

## Resumen de valores de CBR en la subrasante

Dentro de la tabla 06, se contempla el resumen promedio de todos los valores del CBR obtenidos con y sin incorporación de mucílago.

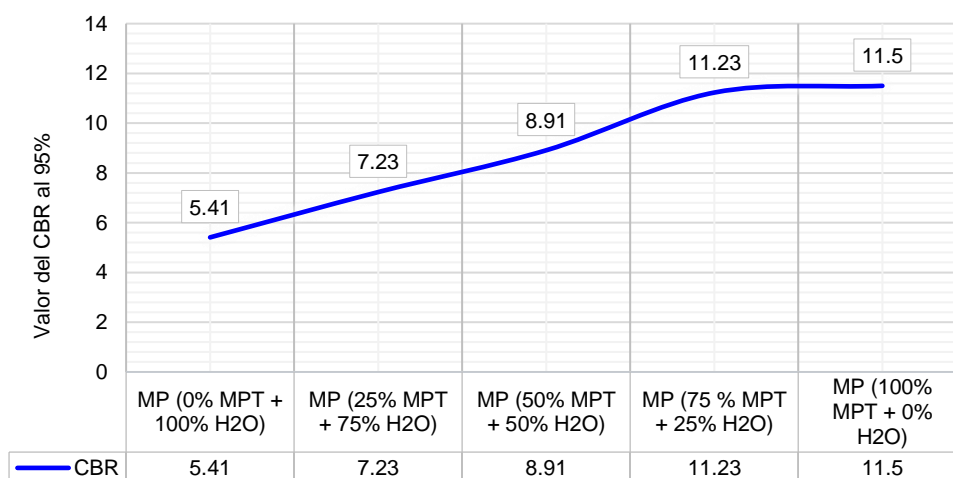
**Tabla 06.** Resumen valores de CBR de subrasante.

Ítem	Descripción	CBR 95%
1	CBR de MP	5.41
2	CBR Aplicando 25% MPT + 75% H2O	7.23
3	CBR aplicando 50% MPT + 50% H2O	8.91
4	CBR aplicando 75 % MPT + 25% H2O	11.23
5	CBR aplicando 100% MPT + 0% H2O	11.50

Fuente. Elaboración propia

Valores de la influencia con la cual repercute el material mucílago de penca de tuna sobre la subrasante donde se obtuvo un valor para la MP de 5.41%, así mismo al sustituir el 25% de MPT en relación al 100% de agua se obtuvo un valor promedio de 7.23% aumentando el 33.64% de la capacidad de soporte en relación al suelo natural, sustituyendo el 50% de MPT al suelo natural se pudo reflejar un valor del 8.91% de CBR, generando un aumento del 64.70% de resistencia del suelo en relación a suelo natural, al sustituir el 75% de MPT se obtuvo un aumento del 107.58% de resistencia del suelo, en tanto al sustituir el 100% de MPT se obtuvo un mejoramiento del suelo en 112.57%, obteniendo un cambio realmente favorable al aplicar el MPT sobre la capacidad de soporte del suelo.

### Resumen valores de CBR de subrasante



**Figura 06.** Resumen de CBR de subrasante.

Fuente. Elaboración propia

## Expansión de suelo patrón

Para caracterizar la expansión del suelo natural se efectuaron calicatas dentro de las progresivas: km 1+100, km 2+200, km 3+300, km 4+400, km 5+500, km 6+600, km 7+700 y km 8+800, cuantificando un total de 8 calicatas, los valores que se obtuvieron dentro de este tramo de estudio Carretera Juliaca – Caminaca, se contemplan dentro de la tabla 07.

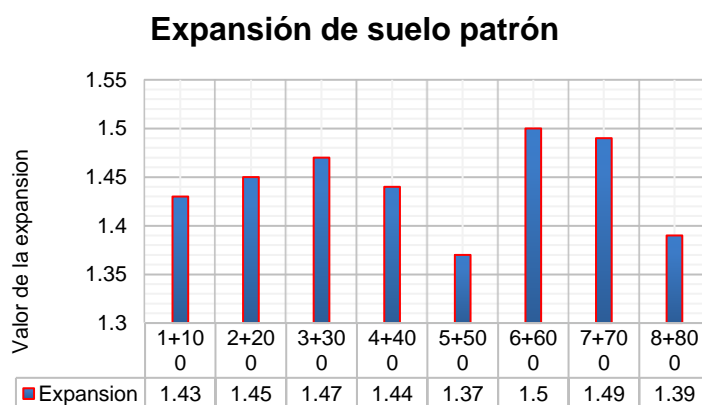
**Tabla 07.** Expansión de suelo patrón

Ítem	Descripción	Progresiva	Expansión
1	C1	1+100	1.43
2	C2	2+200	1.45
3	C3	3+300	1.47
4	C4	4+400	1.44
5	C5	5+500	1.37
6	C6	6+600	1.50
7	C7	7+700	1.49
8	C8	8+800	1.39
<b>Promedio</b>			<b>1.44</b>

Fuente. Elaboración propia

Valores obtenidos sobre la expansión del terreno natural datado por 8 calicatas, de la cual se define un valor promedio del 1.44% cumpliendo con los requisitos mínimos para una capa subrasante estipulado por la norma N. CMT.1-03/02.

Dentro de la figura 06, se aprecia con mayor exactitud la variación de la expansión del suelo de acorde a cada progresiva indicada, siendo el valor más alto 1.50 ubicado dentro de la progresiva 6+600 y el más mínimo 1.37 ubicado dentro de la progresiva 5+500.



**Figura 07.** Expansión de suelo patrón.

Fuente. Elaboración propia

## Expansión de suelo aplicando 25% MPT + 75% H2O

Para caracterizar la expansión del suelo aplicando el 25% de MPT en relación del 100% de H2O, se efectuaron ensayos de CBR con el suelo obtenido de las calicatas ubicadas en las progresivas: km 1+100, km 2+200, km 3+300, km 4+400, km 5+500, km 6+600, km 7+700 y km 8+800, los cuales detallamos dentro de la tabla 08.

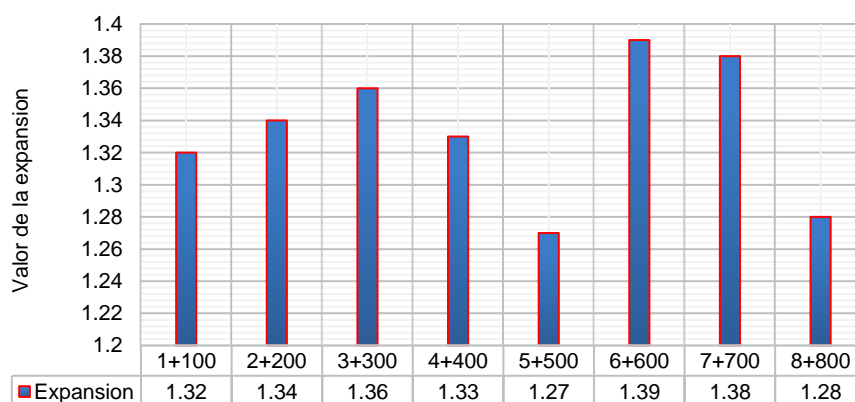
**Tabla 08.** Expansión de suelo aplicando 25% MPT + 75% H2O.

Ítem	Descripción	Progresiva	Expansión
1	C1 (25% MPT + 75% H2O)	1+100	1.32
2	C2 (25% MPT + 75% H2O)	2+200	1.34
3	C3 (25% MPT + 75% H2O)	3+300	1.36
4	C4 (25% MPT + 75% H2O)	4+400	1.33
5	C5 (25% MPT + 75% H2O)	5+500	1.27
6	C6 (25% MPT + 75% H2O)	6+600	1.39
7	C7 (25% MPT + 75% H2O)	7+700	1.38
8	C8 (25% MPT + 75% H2O)	8+800	1.28
Promedio			1.33

Fuente. Elaboración propia

Valores obtenidos sobre la expansión del terreno natural datado por 8 calicatas, de la cual se define un valor promedio del 1.33% cumpliendo con los requisitos mínimos para una capa subrasante estipulado por la norma N. CMT.1-03/02.

## Expansión de suelo aplicando 25% MPT + 75% H2O



**Figura 08.** Expansión de suelo aplicando 25% MPT + 75% H2O.

Fuente. Elaboración propia

Dentro de la figura 08, apreciamos con mayor exactitud la variación de la expansión del suelo de acorde a cada progresiva indicada, siendo el valor más alto 1.39 ubicado dentro de la progresiva 6+600 y el más mínimo 1.27 ubicado dentro de la progresiva 5+500.

### Expansión de suelo aplicando 50% MPT + 50% H2O

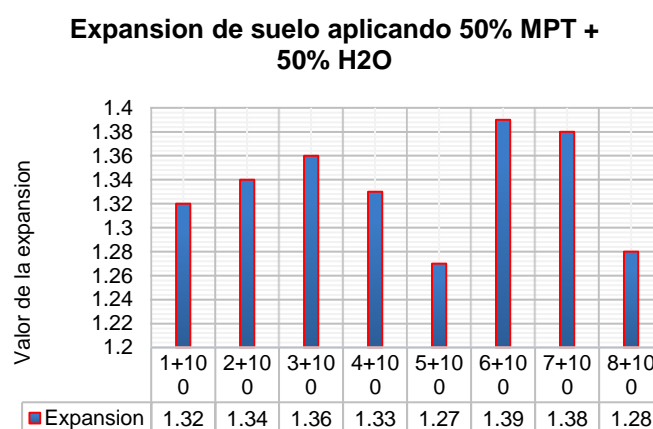
Para caracterizar la expansión del suelo aplicando el 50% de MPT en relación del 100% de H2O, se efectuaron ensayos de CBR con el suelo obtenido de las calicatas ubicadas en las progresivas: km 1+100, km 2+200, km 3+300, km 4+400, km 5+500, km 6+600, km 7+700 y km 8+800, los cuales detallamos dentro de la tabla 09.

**Tabla 09.** Expansión de suelo aplicando 50% MPT + 50% H2O.

Ítem	Descripción	Progresiva	Expansión
1	C1 (50% MPT + 50% H2O)	1+100	1.32
2	C2 (50% MPT + 50% H2O)	2+200	1.34
3	C3 (50% MPT + 50% H2O)	3+300	1.36
4	C4 (50% MPT + 50% H2O)	4+400	1.33
5	C5 (50% MPT + 50% H2O)	5+500	1.27
6	C6 (50% MPT + 50% H2O)	6+600	1.39
7	C7 (50% MPT + 50% H2O)	7+700	1.38
8	C8 (50% MPT + 50% H2O)	8+800	1.28
<b>Promedio</b>			<b>1.33</b>

Fuente. Elaboración propia

Valores obtenidos sobre la expansión del suelo natural datado por 8 calicatas, de la cual se define un valor promedio del 1.33% cumpliendo con los requisitos mínimos para una capa subrasante estipulado por la norma N. CMT.1-03/02.



**Figura 09.** Expansión de suelo aplicando 50% MPT + 50% H2O.

Fuente. Elaboración propia

Dentro de la figura 09, apreciamos con mayor exactitud la variación de la expansión del suelo de acorde a cada progresiva indicada, siendo el valor más alto 1.39 ubicado dentro de la progresiva 6+600 y el más mínimo 1.27 ubicado dentro de la progresiva 5+500.

### **Expansión de suelo aplicando 75% MPT + 25% H2O**

Para caracterizar la expansión del suelo aplicando el 75% MPT en relación al 100% de H2O. se efectuaron ensayos de CBR con el suelo obtenido de las calicatas ubicadas en las progresivas: km 1+100, km 2+200, km 3+300, km 4+400, km 5+500, km 6+600, km 7+700 y km 8+800, los cuales detallamos dentro de la tabla 10.

**Tabla 10.** *Expansión de suelo aplicando 75% MPT + 25% H2O.*

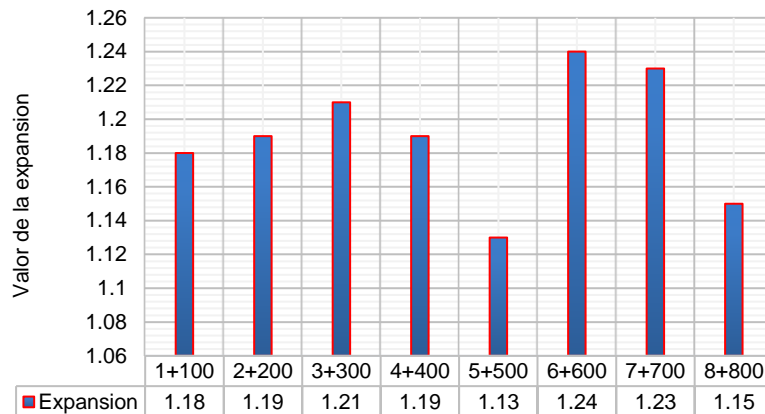
Ítem	Descripción	Progresiva	Expansión
1	C1 (75% MPT + 25% H2O)	1+100	1.18
2	C2 (75% MPT + 25% H2O)	2+200	1.19
3	C3 (75% MPT + 25% H2O)	3+300	1.21
4	C4 (75% MPT + 25% H2O)	4+500	1.19
5	C5 (75% MPT + 25% H2O)	5+500	1.13
6	C6 (75% MPT + 25% H2O)	6+600	1.24
7	C7 (75% MPT + 25% H2O)	7+700	1.23
8	C8 (75% MPT + 25% H2O)	8+800	1.15
<b>Promedio</b>			<b>1.19</b>

Fuente. Elaboración propia

Valores obtenidos sobre la expansión del terreno natural datado por 8 calicatas, de la cual se define un valor promedio del 1.19% cumpliendo con los requisitos mínimos para una capa subrasante estipulado por la norma N. CMT.1-03/02.

Dentro de la figura 10, se aprecia con mayor exactitud la variación de la expansión del suelo de acorde a cada progresiva indicada, siendo el valor más alto 1.24 ubicado dentro de la progresiva 6+600 y el más mínimo 1.13 ubicado dentro de la progresiva 5+500.

**Expansión de suelo aplicando 75% MPT + 25% H2O**



**Figura 10.** Expansión de suelo aplicando 75% MPT + 25% H2O.  
Fuente. Elaboración propia

**Expansión de suelo aplicando 100% MPT + 0% H2O**

Para caracterizar la expansión del suelo aplicando el 100% MPT en relación al 100% de H2O, se efectuaron ensayos de CBR con el suelo obtenido de las calicatas ubicadas en las progresivas: km 1+100, km 2+200, km 3+300, km 4+400, km 5+500, km 6+600, km 7+700 y km 8+800, los cuales detallamos dentro de la tabla 11.

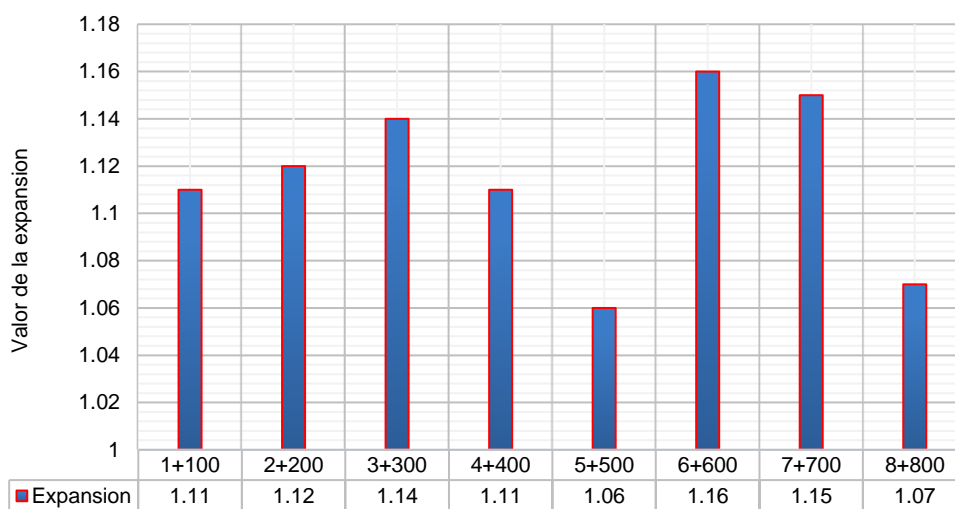
**Tabla 11.** Expansión de suelo aplicando 100% MPT + 0% H2O

Ítem	Descripción	Progresiva	Expansión
1	C1 (100% MPT + 0% H2O)	1+100	1.11
2	C2 (100% MPT + 0% H2O)	2+200	1.12
3	C3 (100% MPT + 0% H2O)	3+300	1.14
4	C4 (100% MPT + 0% H2O)	4+400	1.11
5	C5 (100% MPT + 0% H2O)	5+500	1.06
6	C6 (100% MPT + 0% H2O)	6+600	1.16
7	C7 (100% MPT + 0% H2O)	7+700	1.15
8	C8 (100% MPT + 0% H2O)	8+800	1.07
<b>Promedio</b>			<b>1.12</b>

Fuente. Elaboración propia

Valores obtenidos sobre la expansión del terreno natural datado por 8 calicatas, de la cual se define un valor promedio del 1.12% cumpliendo con los requisitos mínimos para una capa subrasante estipulado por la norma N. CMT.1-03/02.

### Expansión de suelo aplicando 100% MPT + 0% H2O



**Figura 11.** Expansión de suelo aplicando 100% MPT + 0% H2O.  
Fuente. Elaboración propia

Dentro de la figura 11, se aprecia con mayor exactitud la variación de la expansión del suelo de acorde a cada progresiva indicada, siendo el valor más alto 1.16 ubicado dentro de la progresiva 6+600 y el más mínimo 1.06 ubicado dentro de la progresiva 5+500.

### Resumen de expansión de suelo en subrasante

Dentro de la tabla 12, se contempla el resumen promedio de todos los valores de expansión del suelo obtenidos con y sin incorporación de mucílago.

**Tabla 12.** Resumen de expansión de suelo en subrasante.

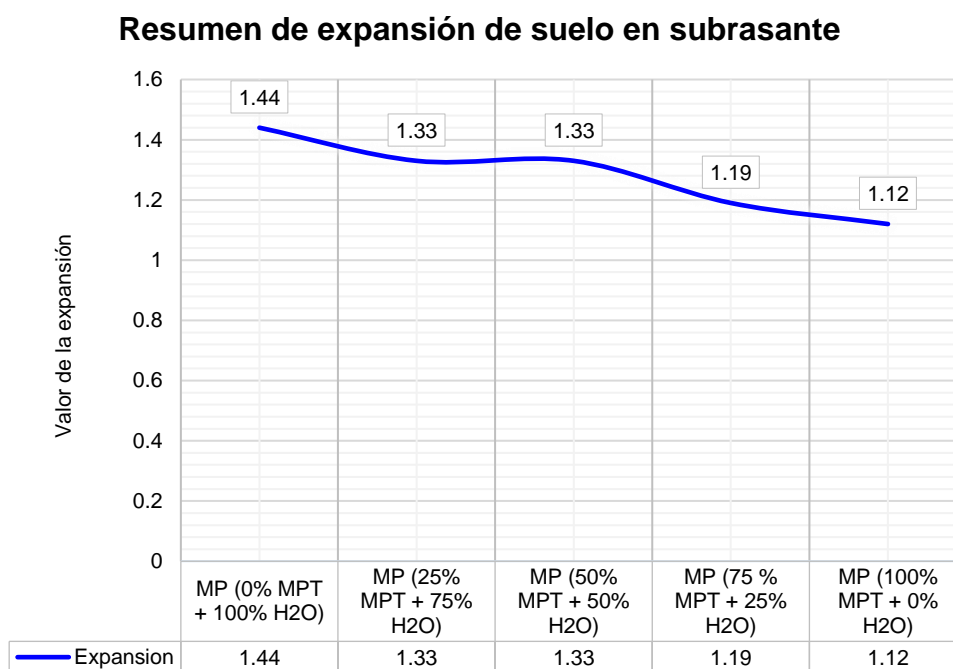
Ítem	Descripción	Expansión
1	Expansión del suelo natural	1.44
2	Expansión aplicando 25% MPT + 75% H2O	1.33
3	Expansión aplicando 50% MPT + 50% H2O	1.33
4	Expansión aplicando 75 % MPT + 25% H2O	1.19
5	Expansión aplicando 100% MPT + 0% H2O	1.12

Fuente. Elaboración propia

En la figura 12, se ve la influencia con la cual repercute el material del mucílago sobre la subrasante (expansión) donde se obtuvo un valor para la MP de 1.44%, así mismo al sustituir el 25% de MPT en relación al 100% de agua se obtuvo un valor promedio de 1.33% reduciendo un 7.64% la expansión del suelo en relación al suelo natural, sustituyendo el 50% de MPT en relación del 100% de agua al suelo



natural se pudo reflejar un valor del 1.33%, generando una reducción similar a la del 25% de MPT en relación al suelo natural, al sustituir el 75% de MPT en relación del agua se obtuvo una reducción del 17.36% de la expansión del suelo, en tanto al sustituir el 100% de MPT se obtuvo una reducción del 22.22%, definiendo que la aplicación del mucílago líquido influye positivamente a la reducción del valor de la expansión del suelo.



**Figura 12.** Resumen de expansión de la subrasante.  
Fuente. Elaboración propia

### Índice de plástico en suelo natural de subrasante

Para caracterizar el índice plástico del suelo patrón en subrasante se efectuaron calicatas dentro de las progresivas: km 1+100, km 2+200, km 3+300, km 4+400, km 5+500, km 6+600, km 7+700 y km 8+800, cuantificando un total de 8 calicatas, los valores que se obtuvieron dentro de este tramo de estudio Carretera Juliaca – Caminaca, se contemplan dentro de la tabla 13.

**Tabla 13.** Índice de plasticidad de la Suelo Natural de subrasante

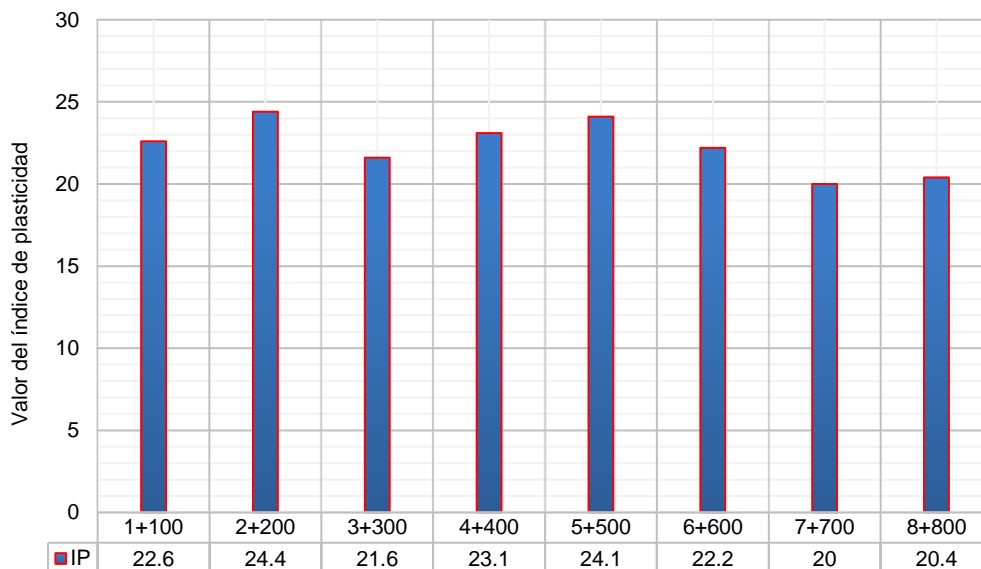
Ítem	Descripción	Progresiva	Índice de plasticidad
1	C1	1+100	22.60
2	C2	2+200	24.40
3	C3	3+300	21.60
4	C4	4+400	23.10

5	C5	5+500	24.10
6	C6	6+600	22.20
7	C7	7+700	20.00
8	C8	8+800	20.40
<b>Promedio</b>			<b>22.30</b>

Fuente. Elaboración propia

Índices de plasticidad del suelo patrón donde se caracteriza que los suelos presentan una tendencia de suelos muy arcillosos datado dentro del Manual de Carreteras, así mismo se vio reflejado un valor promedio del 22.30%.

### Índice de plasticidad del Suelo Natural de subrasante



**Figura 13.** Índice de plasticidad del suelo natural de subrasante.

Fuente. Elaboración propia

Dentro de la figura 13, se contemplan los resultados correspondientes sobre el índice de plasticidad, caracterizando diferentes valores de acuerdo a la progresiva de estudio, de la cuales se presentó un valor máximo del 24.40 y un valor mínimo del 20.00, presentando un tipo de suelo muy arcilloso.

### Índice de plasticidad aplicando 25% MPT + 75% H2O

Para establecer el índice plástico de la subrasante sustituyendo el 25% de H2O por el mucílago (MPT), se tomaron los suelos de las calicatas aperturadas dentro de las progresivas: km 1+100, km 2+200, km 3+300, km 4+400, km 5+500, km 6+600,

km 7+700 y km 8+800, cuantificando un total de 8 calicatas, los valores que se obtuvieron dentro de este tramo de estudio Carretera Juliaca – Caminaca, se contemplan dentro de la tabla 14.

**Tabla 14.** Índice de plasticidad aplicando 25% MPT + 75% H2O

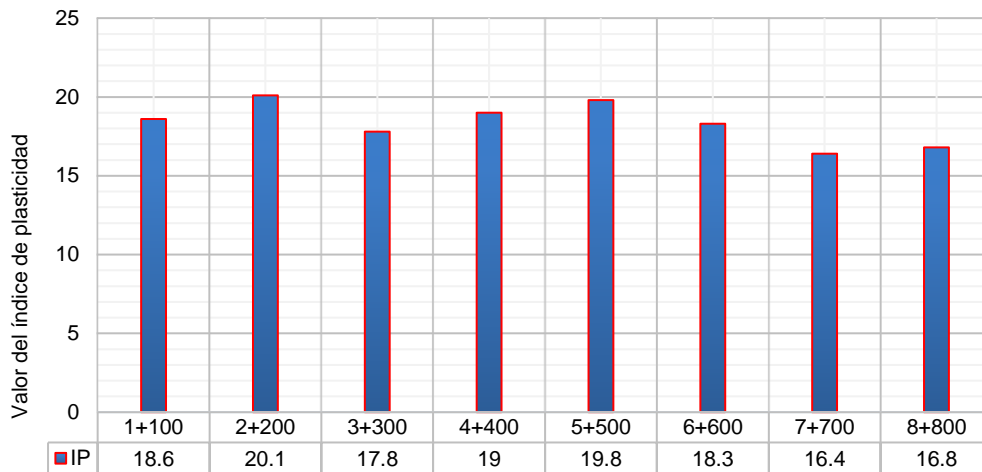
Ítem	Descripción	Progresiva	Índice de plasticidad
1	C1 (25% MPT + 75% H2O)	1+100	18.60
2	C2 (25% MPT + 75% H2O)	2+200	20.10
3	C3 (25% MPT + 75% H2O)	3+300	17.80
4	C4 (25% MPT + 75% H2O)	4+400	19.00
5	C5 (25% MPT + 75% H2O)	5+500	19.80
6	C6 (25% MPT + 75% H2O)	6+600	18.30
7	C7 (25% MPT + 75% H2O)	7+700	16.40
8	C8 (25% MPT + 75% H2O)	8+800	16.80
<b>Promedio</b>			<b>18.35</b>

Fuente. Elaboración propia

Se presentan los índices de plasticidad del suelo patrón de la subrasante, donde se caracteriza que los suelos presentan una tendencia de suelos muy arcillosos, estipulado en Manual de Carreteras, así mismo se vio reflejado un valor promedio del 18.35%.

Dentro de la figura 14, se contemplan los resultados correspondientes sobre el índice de plasticidad, caracterizando diferentes valores de acuerdo a la progresiva de estudio, de la cuales se presentó un valor máximo del 20.10 y un valor mínimo del 16.40, presentando un tipo de suelo muy arcilloso a suelo arcilloso según el Manual de Carreteras.

### Índice de plasticidad aplicando 25% MPT + 75% H2O



**Figura 14.** Índice de plasticidad aplicando 25% MPT + 75% H2O

Fuente. Elaboración propia

### Índice de plasticidad aplicando 50% MPT + 50% H2O

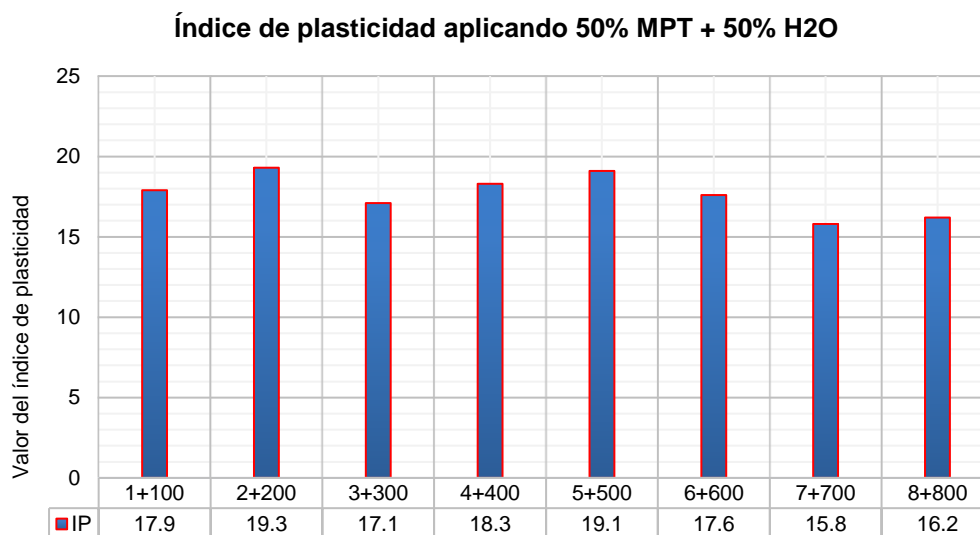
Para caracterizar el índice plástico del suelo sustituyendo en un 50% el H2O por el mucílago (MPT), se tomaron los suelos de las calicatas aperturadas dentro de las progresivas: km 1+100, km 2+200, km 3+300, km 4+400, km 5+500, km 6+600, km 7+700 y km 8+800, cuantificando un total de 8 calicatas, los valores que se obtuvieron dentro de este tramo de estudio Carretera Juliaca – Caminaca, se contemplan dentro de la tabla 15.

**Tabla 15.** Índice de plasticidad aplicando 50% MPT + 50% H2O

Ítem	Descripción	Progresiva	Índice de plasticidad
1	C1 (50% MPT + 50% H2O)	1+100	17.90
2	C2 (50% MPT + 50% H2O)	2+200	19.30
3	C3 (50% MPT + 50% H2O)	3+300	17.10
4	C4 (50% MPT + 50% H2O)	4+400	18.30
5	C5 (50% MPT + 50% H2O)	5+500	19.10
6	C6 (50% MPT + 50% H2O)	6+600	17.60
7	C7 (50% MPT + 50% H2O)	7+700	15.80
8	C8 (50% MPT + 50% H2O)	8+800	16.20
<b>Promedio</b>			<b>17.66</b>

Fuente. Elaboración propia

Se presentan los índices de plasticidad del suelo patrón donde se caracteriza que los suelos presentan una tendencia de suelos muy arcillosos, estipulado en Manual de Carreteras, así mismo se vio reflejado un valor promedio del 17.66%.



**Figura 15.** Índice de plasticidad aplicando 50% MPT + 50% H2O

Fuente. Elaboración propia

Dentro de la figura 15, se contemplan los resultados correspondientes sobre el índice de plasticidad, caracterizando diferentes valores de acuerdo a la progresiva de estudio, de la cuales se presentó un valor máximo del 19.30 y un valor mínimo del 15.80, presentando un tipo de suelo arcilloso según el Manual de Carreteras.

### Índice de plasticidad aplicando 75% MPT + 25% H2O

Para establecer el índice de plasticidad de la subrasante sustituyendo el 75% de H2O por el mucílago (MPT), se tomaron los suelos de las calicatas aperturadas dentro de las progresivas: km 1+100, km 2+200, km 3+300, km 4+400, km 5+500, km 6+600, km 7+700 y km 8+800, cuantificando un total de 8 calicatas, los valores que se obtuvieron dentro de este tramo de estudio Carretera Juliaca – Caminaca, se contemplan dentro de la tabla 16.

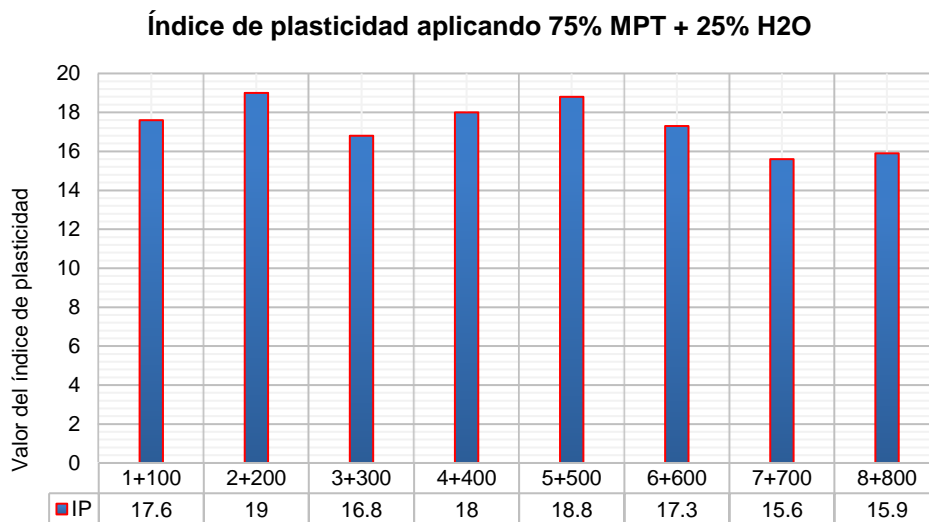
**Tabla 16.** Índice de plasticidad aplicando 75% MPT + 25% H2O.

Ítem	Descripción	Progresiva	Índice de plasticidad
1	C1 (75% + 25% H2O)	1+100	17.60
2	C2 (75% + 25% H2O)	2+200	19.00
3	C3 (75% + 25% H2O)	3+300	16.80

4	C4 (75% + 25% H2O)	4+400	18.00
5	C5 (75% + 25% H2O)	5+500	18.80
6	C6 (75% + 25% H2O)	6+600	17.30
7	C7 (75% + 25% H2O)	7+700	15.60
8	C8 (75% + 25% H2O)	8+800	15.90
<b>Promedio</b>			<b>17.38</b>

Fuente. Elaboración propia

Se presentan los índices de plasticidad del suelo patrón donde se caracteriza que los suelos presentan una tendencia de suelos muy arcillosos, datado dentro del Manual de Carreteras, así mismo se vio reflejado un valor promedio del 17.38%.



**Figura 16.** Índice de plasticidad aplicando 75% MPT + 25% H2O.

Fuente. Elaboración propia.

Dentro de la figura 16, se contemplan los resultados correspondientes sobre el índice de plasticidad, caracterizando diferentes valores de acuerdo a la progresiva de estudio, de la cuales se presentó un valor máximo del 19.00 y un valor mínimo del 15.60, presentando un tipo de suelo arcilloso según el Manual de Carreteras.

### Índice de plasticidad aplicando 100% MPT + 0% H2O

Para caracterizar el índice de plasticidad de subrasante sustituyendo el 100% de H2O por el mucílago (MPT), se tomaron los suelos de las calicatas aperturadas dentro de las progresivas: km 1+100, km 2+200, km 3+300, km 4+400, km 5+500, km 6+600, km 7+700 y km 8+800, cuantificando un total de 8 calicatas, los valores

que se obtuvieron dentro de este tramo de estudio Carretera Juliaca – Caminaca, se contemplan dentro de la tabla 17

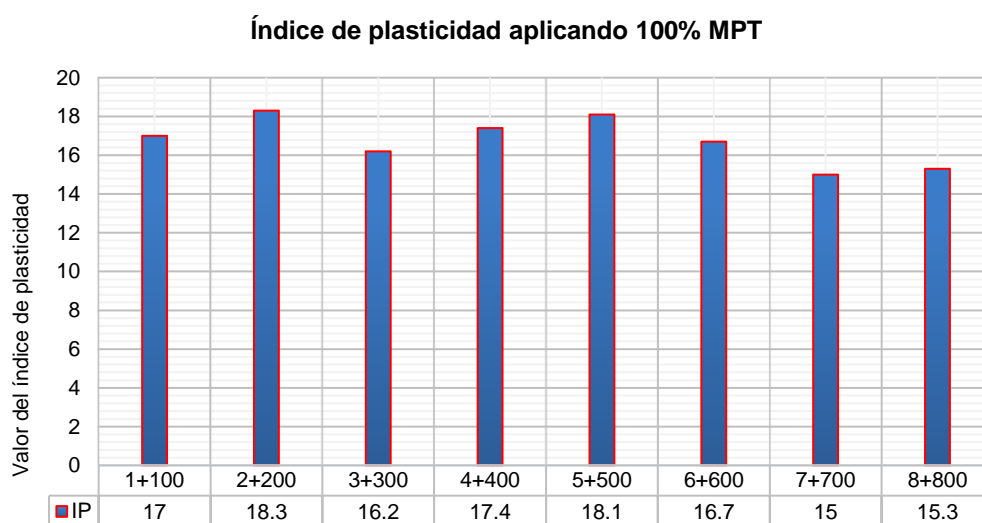
**Tabla 17. Índice de plasticidad aplicando 100% MPT**

Ítem	Descripción	Progresiva	Índice de plasticidad
1	C1 (100% MPT)	1+100	17.00
2	C2 (100% MPT)	2+200	18.30
3	C3 (100% MPT)	3+300	16.20
4	C4 (100% MPT)	4+400	17.40
5	C5 (100% MPT)	5+500	18.10
6	C6 (100% MPT)	6+600	16.70
7	C7 (100% MPT)	7+700	15.00
8	C8 (100% MPT)	8+800	15.30
<b>Promedio</b>			<b>16.75</b>

Fuente. Elaboración propia

Se presentan los índices de plasticidad del suelo en la subrasante aplicando el 100% mucílago (MPT), donde se caracteriza que los suelos presentan una tendencia de suelos muy arcillosos datado dentro del Manual de Carreteras, así mismo se vio reflejado un valor promedio del 16.75%.

Dentro de la figura 17, se contemplan los resultados correspondientes sobre el índice de plasticidad, caracterizando diferentes valores de acuerdo a la progresiva de estudio, de la cuales se presentó un valor máximo del 18.30 y un valor mínimo del 15.00, presentando un tipo de suelo arcilloso según el Manual de Carreteras.



**Figura 17. Índice de plasticidad aplicando 100% MPT.**

Fuente. Elaboración propia

## Resumen del Índice plástico de la subrasante

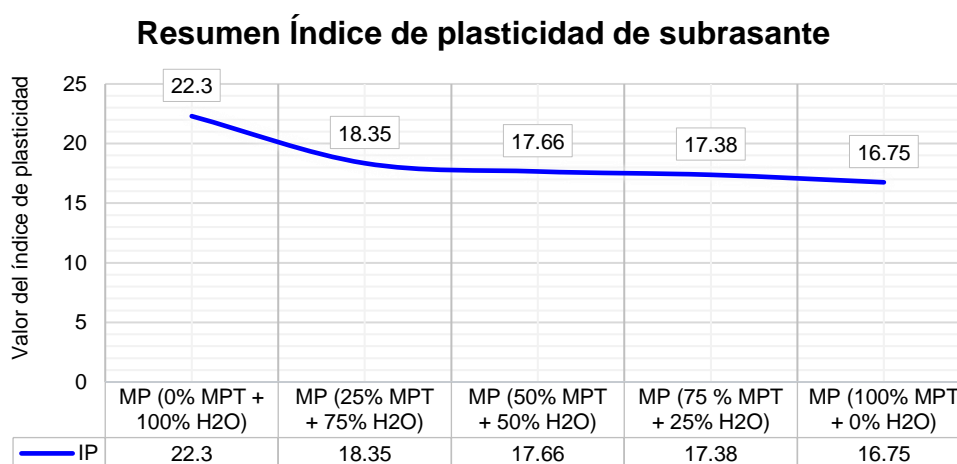
Dentro de la tabla se contempla el resumen promedio de todos los valores del índice de plasticidad de la subrasante, obtenidos con y sin incorporación de mucílago.

**Tabla 18.** Resumen índice de plasticidad de la subrasante.

Ítem	Descripción	Índice de plasticidad
1	MP (0% MPT + 100% H2O)	22.30
2	aplicando 25% MPT + 75% H2O	18.35
3	aplicando 50% MPT + 50% H2O	17.66
4	aplicando 75 % MPT + 25% H2O	17.38
5	aplicando 100% MPT + 0% H2O	16.75

Fuente. Elaboración propia

Influencia con la cual repercute el material mucílago sobre el índice de plasticidad de la subrasante donde se obtuvo un valor para la MP de 22.30%, así mismo al sustituir el 25% de MPT en relación al 100% de H2O se obtuvo un valor promedio de 18.35% reduciendo un 17.71% el IP del suelo en relación al suelo natural, sustituyendo el 50% de MPT al suelo natural se pudo reflejar un valor del 17.65%, generando una reducción del 20.85% del IP en relación al suelo natural, al sustituir el 75% de MPT se obtuvo una reducción del 22.06% del IP del suelo, en tanto al sustituir el 100% de MPT se obtuvo una reducción del 24.89%, definiendo que la aplicación del mucílago líquido influye de manera positiva debido a que reduce el índice plástico en gran medida.



**Figura 18.** Resumen del índice de plástico de subrasante.

Fuente. Elaboración propia



### Contenido de humedad óptimo del suelo natural

Para caracterizar el contenido húmedo del suelo natural se efectuaron calicatas dentro de las progresivas: km 1+100, km 2+200, km 3+300, km 4+400, km 5+500, km 6+600, km 7+700 y km 8+800, cuantificando un total de 8 calicatas, los valores que se obtuvieron dentro de este tramo de estudio Carretera Juliaca – Caminaca, se contemplan dentro de la tabla 19.

**Tabla 19.** *Contenido de humedad óptimo del suelo natural.*

Ítem	Descripción	Progresiva	Contenido de humedad óptimo
1	C1	1+100	19.00
2	C2	2+200	19.70
3	C3	3+300	19.50
4	C4	4+400	18.50
5	C5	5+500	18.70
6	C6	6+600	19.60
7	C7	7+700	19.00
8	C8	8+800	18.20
Promedio			19.02

Fuente. Elaboración propia

Se presentan los valores sobre el contenido húmedo óptimo patrón donde se refleja un valor promedio del 19.02%.

### Óptimo contenido de humedad aplicando 25% de MPT + 75% H<sub>2</sub>O

Para caracterizar el contenido húmedo óptimo de la subrasante sustitución en un 25% de H<sub>2</sub>O por el mucílago (MPT), se tomaron los suelos de las calicatas aperturadas dentro de las progresivas: km 1+100, km 2+200, km 3+300, km 4+400, km 5+500, km 6+600, km 7+700 y km 8+800, cuantificando un total de 8 calicatas, los valores que se obtuvieron dentro de este tramo de estudio Carretera Juliaca – Caminaca, se contemplan dentro de la tabla 20.

**Tabla 20.** *Óptimo contenido de humedad aplicando 25% MPT + 75% H<sub>2</sub>O*

Ítem	Descripción	Progresiva	Óptimo contenido de humedad
1	C1 (25% MPT + 75% H <sub>2</sub> O)	1+100	19.60
2	C2 (25% MPT + 75% H <sub>2</sub> O)	2+200	20.30
3	C3 (25% MPT + 75% H <sub>2</sub> O)	3+300	20.10

4	C4 (25% MPT + 75% H2O)	4+400	19.10
5	C5 (25% MPT + 75% H2O)	5+500	19.30
6	C6 (25% MPT + 75% H2O)	6+600	20.20
7	C7 (25% MPT + 75% H2O)	7+700	19.60
8	C8 (25% MPT + 75% H2O)	8+800	18.70
<b>Promedio</b>			<b>19.61</b>

Fuente. Elaboración propia

Se presentan los valores sobre contenido de húmedo óptimo patrón donde se refleja un valor promedio del 19.61%.

### **Contenido de humedad óptimo aplicando 50% MPT + 50% H2O**

Para caracterizar el contenido húmedo óptimo de la subrasante sustituyendo en un 50% de H2O por el MPT, se tomaron los suelos de las calicatas aperturadas dentro de las progresivas: km 1+100, km 2+200, km 3+300, km 4+400, km 5+500, km 6+600, km 7+700 y km 8+800, cuantificando un total de 8 calicatas, los valores que se obtuvieron dentro de este tramo de estudio Carretera Juliaca – Caminaca, se contemplan dentro de la tabla 21.

**Tabla 21.** *Óptimo contenido de humedad aplicando 50% MPT + 50% H2O*

Ítem	Descripción	Progresiva	Óptimo contenido de humedad
1	C1 (50% MPT + 50% H2O)	1+100	19.70
2	C2 (50% MPT + 50% H2O)	2+200	20.40
3	C3 (50% MPT + 50% H2O)	3+300	20.20
4	C4 (50% MPT + 50% H2O)	4+400	19.20
5	C5 (50% MPT + 50% H2O)	5+500	19.40
6	C6 (50% MPT + 50% H2O)	6+600	20.30
7	C7 (50% MPT + 50% H2O)	7+700	19.70
8	C8 (50% MPT + 50% H2O)	8+800	18.80
<b>Promedio</b>			<b>19.71</b>

Fuente. Elaboración propia

Se presentan los valores sobre el contenido de humedad óptimo patrón donde se refleja un valor promedio del 19.71%.

### Óptimo contenido de humedad aplicando 75% MPT + 25% H2O

Para caracterizar el contenido de humedad óptimo de la subrasante sustitución en un 75% de H2O por el MPT, se tomaron los suelos de las calicatas aperturadas dentro de las progresivas: km 1+100, km 2+200, km 3+300, km 4+400, km 5+500, km 6+600, km 7+700 y km 8+800, cuantificando un total de 8 calicatas, los valores que se obtuvieron dentro de este tramo de estudio Carretera Juliaca – Caminaca, se contemplan dentro de la tabla 22.

**Tabla 22.** *Óptimo contenido de humedad aplicando 75% MPT + 25% H2O*

Ítem	Descripción	Progresiva	Óptimo contenido de humedad
1	C1 (75% MPT + 25% H2O)	1+100	20.60
2	C2 (75% MPT + 25% H2O)	2+200	21.40
3	C3 (75% MPT + 25% H2O)	3+300	21.20
4	C4 (75% MPT + 25% H2O)	4+400	20.10
5	C5 (75% MPT + 25% H2O)	5+500	20.30
6	C6 (75% MPT + 25% H2O)	6+600	21.30
7	C7 (75% MPT + 25% H2O)	7+700	20.60
8	C8 (75% MPT + 25% H2O)	8+800	19.80
<b>Promedio</b>			<b>20.66</b>

Fuente. Elaboración propia

Se presentan los valores sobre el contenido húmedo óptimo patrón donde se refleja un valor promedio del 20.66%.

### Óptimo contenido de humedad aplicando 100% MPT)

Para caracterizar el contenido de humedad óptimo de la subrasante sustituyendo en un 100% de H2O por el MPT, se tomaron los suelos de las calicatas aperturadas dentro de las progresivas: km 1+100, km 2+200, km 3+300, km 4+400, km 5+500, km 6+600, km 7+700 y km 8+800, cuantificando un total de 8 calicatas, los valores que se obtuvieron dentro de este tramo de estudio Carretera Juliaca – Caminaca, se contemplan dentro de la tabla 23.

**Tabla 23.** *Óptimo contenido de humedad aplicando 100% MPT*

Ítem	Descripción	Progresiva	Óptimo contenido de humedad
1	C1 (100% MPT)	1+100	20.70
2	C2 (100% MPT)	2+200	21.50
3	C3 (100% MPT)	3+300	21.30

4	C4 (100% MPT)	4+400	20.20
5	C5 (100% MPT)	5+500	20.40
6	C6 (100% MPT)	6+600	21.40
7	C7 (100% MPT)	7+700	20.70
8	C8 (100% MPT)	8+800	19.90
<b>Promedio</b>			<b>20.76</b>

Fuente. Elaboración propia

Se presentan los valores sobre el contenido húmedo óptimo aplicando el 100% de MPT, donde se refleja un valor promedio del 20.76%.

### Óptimos contenidos de humedad de la subrasante resumen

Dentro de la tabla 24, se contempla el resumen promedio de todos los valores del contenido de humedad óptimo obtenidos con y sin incorporación de mucílago.

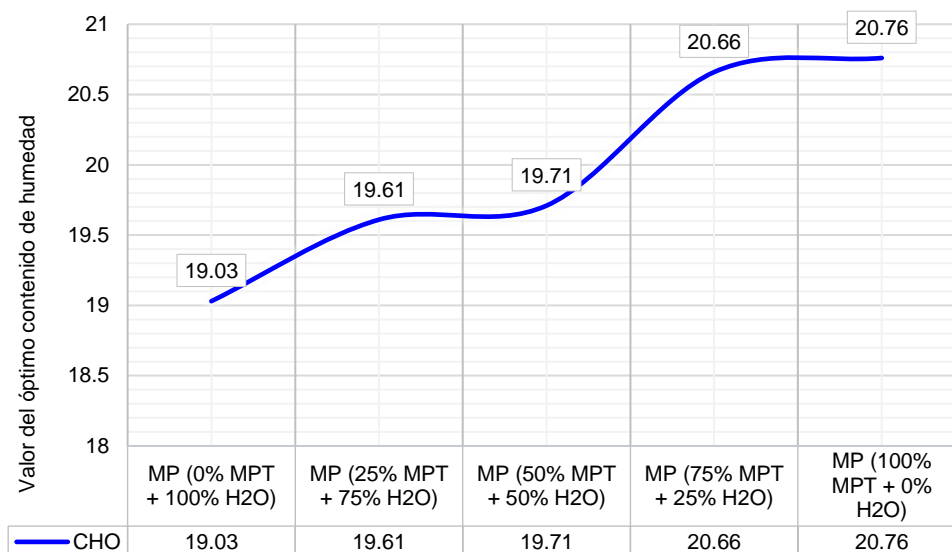
**Tabla 24.** *Contenido de humedad óptimo de la subrasante resumen*

Ítem	Descripción	Óptimo contenido de humedad
1	MP (0% MPT + 100% H2O)	19.03
2	Aplicando 25% MPT + 75% H2O	19.61
3	Aplicando 50% MPT + 50% H2O	19.71
4	Aplicando 75% MPT + 25% H2O	20.66
5	Aplicando 100% MPT + 0% H2O	20.76

Fuente. Elaboración propia

Influencia con la cual repercute el material mucílago de penca de tuna sobre el óptimo contenido de humedad de la subrasante donde se obtuvo un valor para la MP de 19.03%, así mismo al sustituir el 25% de MPT en relación al 100% de H2O se obtuvo un valor promedio de 19.61% aumentando un 3.05% el OCH del suelo en relación al suelo natural, sustituyendo el 50% de MPT al suelo natural se pudo reflejar un valor del 19.71%, generando un aumento del 3.57% del OCH en relación al suelo natural, al sustituir el 75% de MPT se obtuvo una aumento del 8.56% del OCH del suelo, en tanto al sustituir el 100% de MPT se obtuvo un aumento del 9.09%, definiendo que la aplicación del mucílago líquido de penca de tuna influye de manera negativa debido a que tras incorporar el aditamento paulatinamente genera un aumento del OCH, significando que el suelo demanda mayor cantidad del agua para llegar a la máxima densidad seca.

### Resumen del óptimo contenido de humedad



**Figura 19.** Resumen del contenido de humedad óptimo

Fuente. Elaboración propia

Se presenta el resumen general de los resultados obtenidos:

**Tabla 25.** Resumen de general.

Calicata	Prog. (Km)	Aplicación de Mucilago	Clasificación AASHTO	SUCS	CBR al 95%	Expansión	Índice de plasticidad	Óptimo contenido de humedad
C-01	1+100	Suelo Natural	A-7-6	CL	5.50	1.43	22.60	19.00
		25% de mucílago	A-7-6	CL	7.30	1.32	18.60	19.60
		50% de mucílago	A-7-6	CL	9.10	1.32	17.90	19.70
		75% de mucílago	A-7-6	CL	11.40	1.18	17.60	20.60
		100% de mucílago	A-7-6	CL	11.70	1.11	17.00	20.70
C-02	2+200	Suelo Natural	A-7-6	CL	5.60	1.45	24.40	19.70
		25% de mucílago	A-7-6	CL	7.50	1.34	20.10	20.30
		50% de mucílago	A-7-6	CL	9.20	1.34	19.30	20.40
		75% de mucílago	A-7-6	CL	11.60	1.19	19.00	21.40
		100% de mucílago	A-7-6	CL	11.90	1.12	18.30	21.50
C-03	3+300	Suelo Natural	A-7-6	CL	5.90	1.47	21.60	19.50
		25% de mucílago	A-7-6	CL	7.90	1.36	17.80	20.10
		50% de mucílago	A-7-6	CL	9.70	1.36	17.10	20.20
		75% de mucílago	A-7-6	CL	12.20	1.21	16.80	21.20
		100% de mucílago	A-7-6	CL	12.50	1.14	16.20	21.30
C-04	4+400	Suelo Natural	A-7-6	CL	4.90	1.44	23.10	18.50

		25% de mucílago	A-7-6	CL	6.50	1.33	19.00	19.10
		50% de mucílago	A-7-6	CL	8.10	1.33	18.30	19.20
		75% de mucílago	A-7-6	CL	10.20	1.19	18.00	20.10
		100% de mucílago	A-7-6	CL	10.40	1.11	17.40	20.20
C-05	5+500	Suelo Natural	A-7-6	CL	5.30	1.37	24.10	18.70
		25% de mucílago	A-7-6	CL	7.10	1.27	19.80	19.30
		50% de mucílago	A-7-6	CL	8.70	1.27	19.10	19.40
		75% de mucílago	A-7-6	CL	11.00	1.13	18.80	20.30
		100% de mucílago	A-7-6	CL	11.30	1.06	18.10	20.40
C-06	6+600	Suelo Natural	A-7-6	CL	5.60	1.50	22.20	19.60
		25% de mucílago	A-7-6	CL	7.50	1.39	18.30	20.20
		50% de mucílago	A-7-6	CL	9.20	1.39	17.60	20.30
		75% de mucílago	A-7-6	CL	11.60	1.24	17.30	21.30
		100% de mucílago	A-7-6	CL	11.90	1.16	16.70	21.40
C-07	7+700	Suelo Natural	A-7-6	CL	5.30	1.49	20.00	19.00
		25% de mucílago	A-7-6	CL	7.10	1.38	16.40	19.60
		50% de mucílago	A-7-6	CL	8.70	1.38	15.80	19.70
		75% de mucílago	A-6	CL	11.00	1.23	15.60	20.60
		100% de mucílago	A-6	CL	11.30	1.15	15.00	20.70
C-08	8+800	Suelo Natural	A-7-6	CL	5.20	1.39	20.40	18.20
		25% de mucílago	A-6	CL	6.90	1.28	16.80	18.70
		50% de mucílago	A-6	CL	8.60	1.28	16.20	18.80
		75% de mucílago	A-6	CL	10.80	1.15	15.90	19.80
		100% de mucílago	A-6	CL	11.00	1.07	15.30	19.90

Fuente. Elaboración propia

### **Prueba estadística**

Para desarrollar la prueba estadística se tomó en cuenta el tipo de estudio (cuantitativo), cantidad de grupos (4 experimentales y un grupo patrón), y se comprobó si los datos poseían una distribución normal.

### **Planteamiento de la Hipótesis**

**H<sub>0</sub>:** No hay variación estadística entre las medias

**H<sub>1</sub>:** Si hay variación estadística entre las medias

### **Nivel de significancia**

Se tomó un valor de significancia de 5%, ya que este valor es el usualmente escogido por los investigadores.

### P-valor y toma de decisión

P-valor  $\geq 0.05$  (Se acepta  $H_0$ )

P-valor  $< 0.05$  (Se acepta  $H_1$ )

### Prueba de estadística para el CBR

En primer lugar, como se puede apreciar en la tabla 25, se determinaron los datos que poseían una distribución normal, mediante el test de Shapiro-Wilk, por contar con menos de 50 datos.

**Tabla 26.** Prueba de normalidad (capacidad de soporte)

Pruebas de normalidad							
	Descripción	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CBR	Suelo Natural	.144	8	.200 <sup>*</sup>	.975	8	.936
	SN (25%MPT + 75% H2O)	.135	8	.200 <sup>*</sup>	.981	8	.966
	SN (50%MPT + 50% H2O)	.168	8	.200 <sup>*</sup>	.964	8	.843
	SN (75% MPT + 25% H2O)	.144	8	.200 <sup>*</sup>	.975	8	.936
	SN (100%MPT + 0% H2O)	.142	8	.200 <sup>*</sup>	.977	8	.945

Fuente. Elaboración propia

Se observa que los valores de significancia se encuentran por encima del nivel de significancia, razón por la cual afirmamos que los datos de CBR si poseen una normal distribución por lo tanto es factible el uso de la prueba paramétrica del análisis de varianza (ver tabla 27).

**Tabla 27.** Prueba de ANOVA (capacidad de soporte)

ANOVA					
CBR					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	216.991	4	54.248	208.933	.000
Dentro de grupos	9.088	35	.260		
Total	226.079	39			

Fuente. Elaboración propia

Según la prueba de ANOVA (ver tabla 27) hallamos el valor de significancia que es de 0.000; por lo cual rechazamos la prueba nula y tomamos como válida la hipótesis alterna, por tanto podemos afirmar que la incorporación de mucílago influye de manera significativa en su capacidad de soporte de un suelo de subrasante.

Para poder identificar entre que grupos existía se realizó la prueba post-hoc de Tukey como apreciamos en la siguiente tabla:

**Tabla 28. Comparación múltiple (capacidad de soporte)**

Múltiples comparaciones						
Variable dependiente: CBR						
HSD Tukey						
(I) Descripción	(J) Descripción	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
Suelo Natural	SN (25%MPT + 75% H2O)	-1.81250*	.25478	.000	-2.5450	-1.0800
	SN (50%MPT + 50% H2O)	-3.50000*	.25478	.000	-4.2325	-2.7675
	SN (75% MPT + 25% H2O)	-5.81250*	.25478	.000	-6.5450	-5.0800
	SN (100%MPT + 25% H2O)	-6.08750*	.25478	.000	-6.8200	-5.3550
SN+25 %MPT	Suelo Natural	1.81250*	.25478	.000	1.0800	2.5450
	SN (50%MPT + 50% H2O)	-1.68750*	.25478	.000	-2.4200	-.9550
	SN (75% MPT + 25% H2O)	-4.00000*	.25478	.000	-4.7325	-3.2675
	SN (100%MPT + 25% H2O)	-4.27500*	.25478	.000	-5.0075	-3.5425
SN+50 %MPT	Suelo Natural	3.50000*	.25478	.000	2.7675	4.2325
	SN (25%MPT + 75% H2O)	1.68750*	.25478	.000	.9550	2.4200
	SN (75% MPT + 25% H2O)	-2.31250*	.25478	.000	-3.0450	-1.5800
	SN (100%MPT + 25% H2O)	-2.58750*	.25478	.000	-3.3200	-1.8550
SN+75 %MPT	Suelo Natural	5.81250*	.25478	.000	5.0800	6.5450
	SN (25%MPT + 75% H2O)	4.00000*	.25478	.000	3.2675	4.7325
	SN (50%MPT + 50% H2O)	2.31250*	.25478	.000	1.5800	3.0450
	SN (100%MPT + 25% H2O)	-.27500	.25478	.816	-1.0075	.4575
SN+100 %MPT	Suelo Natural	6.08750*	.25478	.000	5.3550	6.8200
	SN (25%MPT + 75% H2O)	4.27500*	.25478	.000	3.5425	5.0075
	SN (50%MPT + 50% H2O)	2.58750*	.25478	.000	1.8550	3.3200
	SN (75% MPT + 25% H2O)	.27500	.25478	.816	-.4575	1.0075

Fuente. Elaboración propia



Se aprecia los valores de significancia en la mayoría de los casos se encuentran por debajo del valor de significancia (0.05).

**Tabla 29.** Prueba post-hoc de Tukey (capacidad de soporte)

CBR					
HSD Tukey <sup>a</sup>					
Descripción	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Suelo Natural	8	5.4125			
SN (25%MPT + 75% H2O)	8		7.2250		
SN (50%MPT + 50% H2O)	8			8.9125	
SN (75% MPT + 25% H2O)	8				11.2250
SN (100%MPT + 25% H2O)	8				11.5000
Sig.		1.000	1.000	1.000	.816

Fuente. Elaboración propia

Visualiza en la tabla 29, las medias de los grupos se hallan en diferentes columnas, razón por la cual se puede afirmar que al incorporar el mucílago incrementa el (CBR) del suelo en la subrasante, donde resalta la proporción de SN+100%MPT.

### Prueba estadística para la expansión

En primer lugar, como se puede apreciar en la tabla 30, determinamos los datos que poseían una distribución normal y se realizó mediante el test de normalidad de Shapiro-Wilk, debido a que se contaban con menos de 50 datos.

**Tabla 30.** Prueba de normalidad (expansión)

Pruebas de normalidad							
Descripción	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
Exp.	Suelo Natural	.142	8	.200*	.955	8	.758
	SN (25%MPT + 75% H2O)	.142	8	.200*	.948	8	.690
	SN (50%MPT + 50% H2O)	.142	8	.200*	.948	8	.690
	SN (75% MPT + 25% H2O)	.145	8	.200*	.962	8	.832
	SN (100%MPT + 25% H2O)	.195	8	.200*	.933	8	.542

Fuente. Elaboración propia

En la tabla 30 se observamos los valores de significancia que se encuentran por encima del nivel de significancia, razón por la cual se puede afirmamos si los datos

de expansión poseen una normal distribución por tanto es factible el uso de la prueba paramétrica del análisis de varianza (ver tabla 31).

**Tabla 31.** Prueba de ANOVA (expansión)

ANOVA					
Expansión					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	.540	4	.135	79.071	.000
Dentro de grupos	.060	35	.002		
Total	.599	39			

Fuente. Elaboración propia

Con la prueba de ANOVA (ver tabla 31) el valor de significancia es de 0.000; por tanto, rechazamos la prueba nula y tomamos como válida la hipótesis alterna y podemos afirmar que la incorporación de mucílago influye de manera positiva en la expansión del suelo de subrasante.

Para poder identificar entre que grupos existía se realizó la prueba post-hoc de Tukey como se aprecia en la tabla 32.

**Tabla 32.** Comparación múltiple (expansión)

Múltiples comparaciones						
Variable dependiente: Expansión						
HSD Tukey						
(I) Descrip.	(J) Descripción	Dif. de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Limt. Inf.	Límt. Sup.
Suelo Natural	SN (25%MPT + 75% H2O)	.10875*	.02065	.000	.0494	.1681
	SN (50%MPT + 50% H2O)	.10875*	.02065	.000	.0494	.1681
	SN (75% MPT + 25% H2O)	.25250*	.02065	.000	.1931	.3119
	SN (100%MPT + 25% H2O)	.32750*	.02065	.000	.2681	.3869
SN+25 %MPT	Suelo Natural	-.10875*	.02065	.000	-.1681	-.0494
	SN (50%MPT + 50% H2O)	.00000	.02065	1.000	-.0594	.0594
	SN (75% MPT + 25% H2O)	.14375*	.02065	.000	.0844	.2031
	SN (100%MPT + 25% H2O)	.21875*	.02065	.000	.1594	.2781
SN+50 %MPT	Suelo Natural	-.10875*	.02065	.000	-.1681	-.0494
	SN (25%MPT +	.00000	.02065	1.000	-.0594	.0594

	75% H2O)					
	SN (75% MPT + 25% H2O)	.14375*	.02065	.000	.0844	.2031
	SN (100%MPT + 25% H2O)	.21875*	.02065	.000	.1594	.2781
SN+75 %MPT	Suelo Natural	-.25250*	.02065	.000	-.3119	-.1931
	SN (25%MPT + 75% H2O)	-.14375*	.02065	.000	-.2031	-.0844
	SN (50%MPT + 50% H2O)	-.14375*	.02065	.000	-.2031	-.0844
	SN (100%MPT + 25% H2O)	.07500*	.02065	.007	.0156	.1344
SN+100 %MPT	Suelo Natural	-.32750*	.02065	.000	-.3869	-.2681
	SN (25%MPT + 75% H2O)	-.21875*	.02065	.000	-.2781	-.1594
	SN (50%MPT + 50% H2O)	-.21875*	.02065	.000	-.2781	-.1594
	SN (75% MPT + 25% H2O)	-.07500*	.02065	.007	-.1344	-.0156

Fuente. Elaboración propia

En la tabla anterior apreciamos los valores de significancia en la mayoría de los casos se encuentran por debajo del valor de significancia (0.05).

**Tabla 33.** Prueba post-hoc de Tukey (expansión)

Expansión					
HSD Tukey <sup>a</sup>					
Descripción	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
SN (100% MPT + 0% H2O)	8	1.1150			
SN (75% MPT + 25% H2O)	8		1.1900		
SN (25%MPT + 75% H2O)	8			1.3338	
SN (50%MPT + 50% H2O)	8			1.3338	
Suelo Natural	8				1.4425
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente. Elaboración propia

Visualizamos en la tabla 33, las medias de los grupos se hallan en diferentes columnas, razón por la cual se puede afirmar que con la incorporación de mucílago se reduce la expansión del suelo de la subrasante en estudio, donde resalta la proporción de SN+100%MPT.

## Prueba estadística para el índice de plasticidad

En primer lugar, como se puede apreciar en la tabla 34, se determinó los datos que poseían una normal distribución, esto se realizó mediante el test de normalidad de Shapiro-Wilk, ya que se contaban con menos de 50 datos.

**Tabla 34.** Prueba de normalidad (índice de plasticidad)

Pruebas de normalidad							
	Descripción	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
IP	Suelo Natural	.133	8	.200*	.954	8	.748
	SN (25%MPT + 75% H2O)	.130	8	.200*	.959	8	.800
	SN (50%MPT + 50% H2O)	.127	8	.200*	.955	8	.765
	SN (75% MPT + 25% H2O)	.133	8	.200*	.951	8	.724
	SN (100%MPT + 25% H2O)	.135	8	.200*	.950	8	.709

Fuente. Elaboración propia

En la tabla observamos que los valores de significancia se encuentran por encima del nivel de significancia, razón por la cual se puede afirmar que los datos de índice de plasticidad si poseen una distribución normal por la tanto es factible el uso de la prueba paramétrica del análisis de varianza (ver tabla 35).

**Tabla 35.** Prueba de ANOVA (índice de plasticidad)

ANOVA					
IP					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	155.930	4	38.982	21.994	.000
Dentro de grupos	62.034	35	1.772		
Total	217.964	39			

Fuente. Elaboración propia

Según la prueba de ANOVA (ver tabla 35) el valor de significancia es 0.000; por tanto, rechazamos la prueba nula y se tomamos como válida la hipótesis alterna y podemos afirmar que la incorporación de mucílago influye adecuadamente en el índice de plasticidad del suelo de subrasante.

Para poder identificar entre que grupos existía se realizó la prueba post-hoc de Tukey:

**Tabla 36. Múltiple comparación (índice de plasticidad)**

Múltiples comparaciones						
Variable dependiente: IP						
HSD Tukey						
(I) Descp.	(J) Descripción	Dif. de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Lím. Inf.	Lím. Sup.
Suelo Natural	SN (25%MPT + 75% H2O)	3.95000*	.66566	.000	2.0362	5.8638
	SN (50%MPT + 50% H2O)	4.63750*	.66566	.000	2.7237	6.5513
	SN (75% MPT + 25% H2O)	4.92500*	.66566	.000	3.0112	6.8388
	SN (100%MPT + 25% H2O)	5.55000*	.66566	.000	3.6362	7.4638
SN+25 %MPT	Suelo Natural	-3.95000*	.66566	.000	-5.8638	-2.0362
	SN (50%MPT + 50% H2O)	.68750	.66566	.838	-1.2263	2.6013
	SN (75% MPT + 25% H2O)	.97500	.66566	.591	-.9388	2.8888
	SN (100%MPT + 25% H2O)	1.60000	.66566	.138	-.3138	3.5138
SN+50 %MPT	Suelo Natural	-4.63750*	.66566	.000	-6.5513	-2.7237
	SN (25%MPT + 75% H2O)	-.68750	.66566	.838	-2.6013	1.2263
	SN (75% MPT + 25% H2O)	.28750	.66566	.992	-1.6263	2.2013
	SN (100%MPT + 25% H2O)	.91250	.66566	.650	-1.0013	2.8263
SN+75 %MPT	Suelo Natural	-4.92500*	.66566	.000	-6.8388	-3.0112
	SN (25%MPT + 75% H2O)	-.97500	.66566	.591	-2.8888	.9388
	SN (50%MPT + 50% H2O)	-.28750	.66566	.992	-2.2013	1.6263
	SN (100%MPT + 25% H2O)	.62500	.66566	.880	-1.2888	2.5388
SN+100 %MPT	Suelo Natural	-5.55000*	.66566	.000	-7.4638	-3.6362
	SN (25%MPT + 75% H2O)	-1.60000	.66566	.138	-3.5138	.3138
	SN (50%MPT + 50% H2O)	-.91250	.66566	.650	-2.8263	1.0013
	SN (75% MPT + 25% H2O)	-.62500	.66566	.880	-2.5388	1.2888

Fuente. Elaboración propia

En la tabla anterior apreciamos los valores de significancia en la mayoría de los casos se encuentran por debajo del valor de significancia (0.05).

**Tabla 37. Prueba post-hoc de Tukey (índice de plasticidad)**

IP			
HSD Tukey <sup>a</sup>			
Descripción	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
SN (100% MPT + 0% H2O)	8	16.7500	
SN (75% MPT + 25% H2O)	8	17.3750	
SN (25%MPT + 75% H2O)	8	17.6625	
SN (50%MPT + 50% H2O)	8	18.3500	
Suelo Natural	8		22.3000
Sig.		.138	1.000

Fuente. Elaboración propia

Visualizamos en la tabla 37, las medias de los grupos se hallan en diferentes columnas, razón por la cual se puede afirmar que con la incorporación de mucílago se reduce el índice de plástico del suelo de la subrasante en estudio, donde resalta la proporción de SN+100%MPT.

### Prueba estadística para el Óptimo Contenido de Humedad

En primer lugar, como se puede apreciar en la tabla 38, se determinó si los datos poseían una distribución normal, esto se realizó mediante el test de normalidad de Shapiro-Wilk, debido a que se contaban con menor a 50 datos.

**Tabla 38. Prueba de normalidad (Contenido de Humedad Óptimo )**

Pruebas de normalidad							
IP	Descripción	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
	Suelo Natural	.133	8	.200*	.954	8	.748
	SN (25%MPT + 75% H2O)	.130	8	.200*	.959	8	.800
	SN (50%MPT + 50% H2O)	.127	8	.200*	.955	8	.765
	SN (75% MPT + 25% H2O)	.133	8	.200*	.951	8	.724
	SN (100%MPT + 25% H2O)	.135	8	.200*	.950	8	.709

Fuente. Elaboración propia

En la tabla 38 observamos los valores de significancia se encuentran por encima del nivel de significancia, razón por la cual afirmamos los datos de contenido de

humedad óptimo si poseen una distribución normal por la tanto es factible el uso de la prueba paramétrica del análisis de varianza (ver tabla 39).

**Tabla 39.** Prueba de ANOVA (Óptimo Contenido de Humedad )

ANOVA					
IP					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	155.930	4	38.982	21.994	.000
Dentro de grupos	62.034	35	1.772		
Total	217.964	39			

Fuente. Elaboración propia

Según la prueba de ANOVA (ver tabla 39) el valor de significancia es de 0.000; por tanto, rechazamos la prueba nula y se tomamos como válida la hipótesis alterna y podemos afirmar que la incorporación de mucílago influye de manera significativa en el contenido de humedad óptimo del suelo de subrasante.

Para poder identificar entre que grupos existía se realizó la prueba post-hoc de Tukey como se aprecia en la tabla 40.

**Tabla 40.** Comparación múltiple (Contenido de Humedad Óptimo )

Múltiples comparaciones						
Variable dependiente: IP						
HSD Tukey						
(I) Desp.	(J) Descripción	Dif. de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Lím. Inf.	Lím. Sup.
Suelo Natural	SN (25%MPT + 75% H2O)	3.95000*	.66566	.000	2.0362	5.8638
	SN (50%MPT + 50% H2O)	4.63750*	.66566	.000	2.7237	6.5513
	SN (75% MPT + 25% H2O)	4.92500*	.66566	.000	3.0112	6.8388
	SN (100%MPT + 25% H2O)	5.55000*	.66566	.000	3.6362	7.4638
SN+25 %MPT	Suelo Natural	-3.95000*	.66566	.000	-5.8638	-2.0362
	SN (50%MPT + 50% H2O)	.68750	.66566	.838	-1.2263	2.6013
	SN (75% MPT + 25% H2O)	.97500	.66566	.591	-.9388	2.8888
	SN (100%MPT + 25% H2O)	1.60000	.66566	.138	-.3138	3.5138
SN+50	Suelo Natural	-4.63750*	.66566	.000	-6.5513	-2.7237

%MPT	SN (25%MPT + 75% H2O)	- .68750	.66566	.838	-2.6013	1.2263
	SN (75% MPT + 25% H2O)	.28750	.66566	.992	-1.6263	2.2013
	SN (100%MPT + 25% H2O)	.91250	.66566	.650	-1.0013	2.8263
SN+75 %MPT	Suelo Natural	-4.92500*	.66566	.000	-6.8388	-3.0112
	SN (25%MPT + 75% H2O)	-.97500	.66566	.591	-2.8888	.9388
	SN (50%MPT + 50% H2O)	-.28750	.66566	.992	-2.2013	1.6263
	SN (100%MPT + 25% H2O)	.62500	.66566	.880	-1.2888	2.5388
SN+10 0%MP T	Suelo Natural	-5.55000*	.66566	.000	-7.4638	-3.6362
	SN (25%MPT + 75% H2O)	-1.60000	.66566	.138	-3.5138	.3138
	SN (50%MPT + 50% H2O)	-.91250	.66566	.650	-2.8263	1.0013
	SN (75% MPT + 25% H2O)	-.62500	.66566	.880	-2.5388	1.2888

Fuente. Elaboración propia

En la tabla apreciamos que los valores de significancia en la mayoría de los casos se encuentran por debajo del valor de significancia (0.05).

**Tabla 41.** Prueba post-hoc de Tukey (Contenido de Humedad Óptimo)

IP			
HSD Tukey <sup>a</sup>			
Descripción	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
SN (100% MPT + 0% H2O)	8	16,7500	
SN (75% MPT + 25% H2O)	8	17,3750	
SN (25%MPT + 75% H2O)	8	17,6625	
SN (50%MPT + 50% H2O)	8	18,3500	
Suelo Natural	8		22,3000
Sig.		,138	1,000

Fuente. Elaboración propia

Visualizamos en la tabla, las medias de los grupos se hallan en diferentes columnas, razón por la cual se puede afirmar que con la incorporación de mucílago incrementa el contenido de humedad óptimo del suelo de la subrasante en estudio, donde resalta la proporción de SN+100%MPT.



## Prueba estadística para el contenido de humedad óptimo

En primer lugar, como se puede apreciar en la tabla 42, se determinó los datos que poseían distribución normal, esto se realizó mediante el test de normalidad de Shapiro-Wilk, ya que se contaban con menos de 50 datos.

**Tabla 42.** Prueba de normalidad (Contenido de Humedad Óptimo)

Pruebas de normalidad							
	Descripción	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
O C H	Suelo Natural	.184	8	.200*	.939	8	.598
	SN (25%MPT + 75% H2O)	.180	8	.200*	.943	8	.640
	SN (50%MPT + 50% H2O)	.180	8	.200*	.943	8	.640
	SN (75% MPT + 25% H2O)	.194	8	.200*	.929	8	.508
	SN (100%MPT + 25% H2O)	.194	8	.200*	.929	8	.508

Fuente. Elaboración propia

Observamos en la tabla los valores de significancia que se encuentran por encima del nivel de significancia, razón por la cual se puede afirmar que los datos de contenido de humedad óptimo si poseen una distribución normal por la tanto es factible el uso de la prueba paramétrica del análisis de varianza (ver tabla 43).

**Tabla 43.** Prueba de ANOVA (Contenido de Humedad Óptimo)

ANOVA					
OCH					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	17,549	4	4,387	13,411	,000
Dentro de grupos	11,450	35	,327		
Total	28,999	39			

Fuente. Elaboración propia

Según la prueba de ANOVA (ver tabla 44) el valor de significancia es 0.000; por tanto, rechazamos la prueba nula y tomamos como válida la hipótesis alterna y podemos afirmar que la incorporación de mucílago influye de manera significativa en el contenido de humedad óptimo del suelo de subrasante.

Para poder identificar entre que grupos existía se realizó la prueba post-hoc de Tukey:

**Tabla 44.** Comparación múltiple (Contenido de Humedad Óptimo)

Múltiples comparaciones						
Variable dependiente: OCH						
HSD Tukey						
(I) Descripción	(J) Descripción	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
Suelo Natural I	SN (25%MPT + 75% H2O)	-.58750	.28598	.262	-1.4097	.2347
	SN (50%MPT + 50% H2O)	-.68750	.28598	.138	-1.5097	.1347
	SN (75% MPT + 25% H2O)	-1.63750*	.28598	.000	-2.4597	-.8153
	SN (100%MPT + 25% H2O)	-1.73750*	.28598	.000	-2.5597	-.9153
SN+25 %MPT	Suelo Natural	.58750	.28598	.262	-.2347	1.4097
	SN (50%MPT + 50% H2O)	-.10000	.28598	.997	-.9222	.7222
	SN (75% MPT + 25% H2O)	-1.05000*	.28598	.007	-1.8722	-.2278
	SN (100%MPT + 25% H2O)	-1.15000*	.28598	.003	-1.9722	-.3278
SN+50 %MPT	Suelo Natural	.68750	.28598	.138	-.1347	1.5097
	SN (25%MPT + 75% H2O)	.10000	.28598	.997	-.7222	.9222
	SN (75% MPT + 25% H2O)	-.95000*	.28598	.017	-1.7722	-.1278
	SN (100%MPT + 25% H2O)	-1.05000*	.28598	.007	-1.8722	-.2278
SN+75 %MPT	Suelo Natural	1.63750*	.28598	.000	.8153	2.4597
	SN (25%MPT + 75% H2O)	1.05000*	.28598	.007	.2278	1.8722
	SN (50%MPT + 50% H2O)	.95000*	.28598	.017	.1278	1.7722
	SN (100%MPT + 25% H2O)	-.10000	.28598	.997	-.9222	.7222
SN+100%MP T	Suelo Natural	1.73750*	.28598	.000	.9153	2.5597
	SN (25%MPT + 75% H2O)	1.15000*	.28598	.003	.3278	1.9722
	SN (50%MPT + 50% H2O)	1.05000*	.28598	.007	.2278	1.8722
	SN (75% MPT + 25% H2O)	.10000	.28598	.997	-.7222	.9222

Fuente. Elaboración propia

En la tabla apreciamos que los valores de significancia en la mayoría de los casos se encuentran por debajo del valor de significancia (0.05).

**Tabla 45.** Prueba post-hoc de Tukey (Contenido de Humedad Óptimo)

OCH			
HSD Tukey <sup>a</sup>			
Descripción	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Suelo Natural	8	19.0250	
SN (25%MPT + 75% H <sub>2</sub> O)	8	19.6125	
SN (50%MPT + 50% H <sub>2</sub> O)	8	19.7125	
SN (75% MPT + 25% H <sub>2</sub> O)	8		20.6625
SN (100%MPT + 25% H <sub>2</sub> O)	8		20.7625
SN (25%MPT + 75% H <sub>2</sub> O)		.138	.997

Fuente. Elaboración propia

Como se visualiza en la tabla 45, las medias de los grupos se hallan en diferentes columnas, razón por la cual se puede afirmar que con la incorporación de mucílago incrementa el contenido de humedad óptimo del suelo de la subrasante en estudio, donde resalta la proporción de SN+100%MPT.

#### IV. DISCUSIÓN

**DG:** De acuerdo a los datos resultantes, la incorporación del mucílago de penca de tuna en la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca, influyó positivamente en el comportamiento mecánico de la subrasante lo cual se reflejó en el los resultados de CBR, ya que el suelo natural obtuvo 5.41% y con la adición de 25%, 50%, 75% y 100% de mucílago, obtuvieron un valor de 7.23%, 8.91%, 11.23% y 11.50% respectivamente, donde se observa que en relación del porcentaje incorporado incrementa su CBR.

Estos resultados, concuerdan con la autora Mendizábal (2018), ya que muestra que suelo natural obtuvo un CBR de 5.70%, y con las adiciones del 25%, 50% y 75% de mucílago, obtuvieron los valores de 7.60%, 9.40% y 11.10% respectivamente, observándose un incremento similar al de esta investigación, por lo que con un CBR>10% es considerada una subrasante buena, siendo esta apta para el uso en las carreteras.

**D1:** Conforme a los resultados obtenidos y datos recolectados en la investigación, la incorporación del mucílago en la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca, con respecto a la expansión se muestra una disminución ligera, dado que el suelo natural obtuvo 1.44% y con la adición de 25%, 50%, 75% y 100% de mucílago, obtuvieron los valores de 1.33%, 1.33%, 1.19% y 1.12% respectivamente, esto puede deberse a las propiedades naturales del mucílago.

Los resultados mostrados coinciden con los autores Chaca Cristhian, [et al] (CHA191), quienes al incorporar a la subrasante un 100% de mucílago obtuvieron un valor de 1.39%, lo cual es menor al suelo natural, como se puede observar el mucílago aporta a la reducción de la expansión.

**D2:** Al incorporar el mucílago influye al índice plástico disminuyéndolo, ya que nuestro suelo natural obtuvo una IP de 22.30%, y las adiciones de 25%, 50%, 75% y 100% de mucílago, obtuvieron un valor de 18.35%, 17.66%, 17.38% y 16.75% respectivamente, mostrando claramente la diferencia entre los valores con respecto al suelo natural.

Además, estos datos coinciden con la autora Mendizábal (2018), ya que menciona que para su suelo natural obtuvo un valor 22.78%, siendo muy cercano al resultado obtenido en la presente investigación, así mismo menciona que para las adiciones del 25%, 50% y 75% se obtuvo valores de , 19.41%, 18.28% y 18.12%, mostrando que efectivamente la aplicación del mucílago disminuye el índice plástico según se va incrementando la dosificación del mucílago.

**D3:** según los datos obtenidos en el laboratorio y datos recolectados en el proceso de elaboración de ensayos en la presente tesis, el contenido de humedad es influenciado por la incorporación del mucílago, ya que este incrementa en relación al suelo natural, quien obtuvo un valor de 19.03%, mientras que las adiciones de 25%, 50%, 75% y 100% de mucílago, obtuvieron un valor de 19.61%, 19.71%, 20.66 y 20.76%, donde se puede observar un ligero incremento en las adiciones.

Estos datos no coinciden con el autor Mendizábal (2018), quien menciona en sus resultados que muestran que el suelo natural obtuvo un valor de 13.70% OCH, con la adición de 35%, 50% y 75% de mucílago de penca de tuna, se obtuvo 14.00% OCH, 14.20% OCH y 14.85% OCH, donde se puede observar un ligero incremento en las adiciones. Esto pudo deberse a las propiedades naturales de mucilago de penca de tuna

## V. CONCLUSIONES

Como respuesta al objetivo general, se concluye que los valores de CBR aplicando mucílago de penca de tuna en proporciones de 25%, 50%, 75% y 100% son 7.23%, 8.91%, 11.23% y 11.50% respectivamente, por lo que se puede afirmar que la aplicación de la penca de tuna influye de manera positiva en la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca.

Respuesta al primer objetivo específico, concluimos que los valores de expansión aplicando mucílago líquido en proporciones de 25%, 50%, 75% y 100% son 1.33%, 1.34%, 1.19% y 1.12% respectivamente; es decir, la aplicación de la penca de tuna influye de manera positiva sobre la expansión del suelo de subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca.

Respuesta al segundo objetivo específico, concluimos que la aplicación de mucílago influye de manera positiva en el índice de plasticidad, debido a que con la incorporación de mucílago en proporciones de 25%, 50%, 75% y 100% se obtuvieron valores de índice de plasticidad de 18.35%, 17.66%, 17.38% y 16.75% respectivamente.

Respuesta al tercer objetivo específico, concluimos que la aplicación de mucílago influye en el contenido de humedad óptimo, debido a que con la incorporación de mucílago en proporciones de 25%, 50%, 75% y 100% se obtuvieron valores de índice de plasticidad de 19.61%, 19.71%, 20.66% y 20.76% respectivamente.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Recomendamos para siguientes investigaciones realizar estudios incorporando mucílago de penca de la tuna sobre suelos granulares, con presencia de gravas y estudiar su comportamiento.

Se recomienda extraer inmediatamente el mucílago luego de cortar la planta de la tuna, para evitar la pérdida de humedad del mismo.

Se sugiere que para próximas investigaciones se realicen combinaciones del mucílago de tuna con otros estabilizantes para estudiar el comportamiento de estos en la capacidad de soporte e índice de plasticidad.

Se sugiere realizar el estudio del mucílago de otras plantas y realizar comparaciones determinando cual es el más efectivo.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

ARIAS, Fidas. 2004. *"El proyecto de investigación"*. 4ta. Caracas: Episteme Venezuela, 2004. Disponible en:

[https://issuu.com/fidasgerardoarias/docs/fidas\\_g.arias.el.proyecto.de.inv](https://issuu.com/fidasgerardoarias/docs/fidas_g.arias.el.proyecto.de.inv)

BARRAGAN , Camilo. y CUERVO, Harold. 2019. *Análisis del comportamiento físico mecánico de la adición de ceniza de cascarilla de arroz de la variedad blanco a un suelo arenoso arcilloso*. Girardot : Universidad Piloto de Colombia Sección Alto Magdalena, 2019. Disponible en: <https://bit.ly/321DdgM>

CALLA, Efrain. 2015. *Pavimentación de los jurones Achaya, Manco Capac, Conde de Lemus , Arica y Puno de la Municipalidad Distrital de Caminaca- Azangaro*. Puno : Universidad Nacional del Altiplano, 2015. Disponible en: [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1862/Calla\\_Mamani\\_Efrain\\_Albert.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1862/Calla_Mamani_Efrain_Albert.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

CANARIA, Angela. 2020. *Estudio de estabilizaciones de material para la conformación de afirmado en terraplenes del municipio de la primavera - Vichada, mediante la adición de polímeros sintéticos ecológicos*. Bogotá : Universidad distrital Francisco José de Caldas, 2020. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11349/25230>

CEDEÑO, David. 2016. *Investigación de la estabilización de suelos con enzima aplicado a la sub-rasante de la avenida Quitumbe - Ñan, Cantón Quito*. Quito : Universidad central del Ecuador, 2016. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2201>

CHACA, Cristhian, y otros. 2019. *Estudio del mucílago de penca de tuna para la estabilización de suelos arenoso arcilloso en la subrasante, Jicamarca Huarochiri 2019*. Lima : Universidad César Vallejo, 2019. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/60949>



COBOS, Mario., ORTEGON, Carol. y PERALTA , Juan. 2019. *Características del comportamiento geotécnico de suelos de origen volcánico estabilizados con cenizas provenientes de cascara de coco y cisco de café*. Ibagué : Universidad Cooperativa de Colombia, 2019. Disponible en: <https://bit.ly/3dLp9L1>

*Comportamiento de la actividad enzimática del suelo al aplicar mucílago de nopal (Opuntia spp.)*. MUÑOZ BOJORGES, Julio Cesar , y otros. 2015. 2, Mexico : s.n., 2015, Terra Latinoamericana, Vol. 33. 0187-5779. Disponible en: <https://bit.ly/3m1xQ8A>

FIGUEROA, Junior. 2020. *Aplicación de mucilago de penca de tuna, para mejorar las propiedades de suelos blandos, en el distrito de Lurín, Lima 2020*. Lima : Universidad César Vallejo, 2020. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/56025>

GALINDO , Joan. 2018. *Evaluar la inclusión de micro polímeros y cemento portland como agente estabilizador de suelos para conformaciones de rasantes*. Bogotá : Universidad Militar Nueva Granada, 2018. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10654/17095>

GARCIA, Eduardo. 2004. *Metodología de investigación cuantitativa*. Lima : Texas, 2004. pág. 91.

GARCÍA, R.A, FLÓREZ, E y MEDINA, Y. 2018. *Caracterización física de las arcillas utilizadas en la fabricación de productos de mampostería para la construcción en Ocaña Norte de Santander*. 2018. pág. 2. Vol. 39. ISSN 07981015. Disponible en: <http://www.revistaespacios.com/cited2017/cited2017-06.pdf>

HERNÁNDEZ, Roberto. 2019. *Metodología de la investigación*. Mexico : McGRAW-HILL, 2019.

HERNANDEZ, Sampieri, FERNÁNDEZ, Collado y BAPTISTA, Lucio. 2014. *Tesis y Metodología de la investigación*. 6ta. s.l. : McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V., 2014. Disponible en: <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp->

<content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>

HIGUERA, C, GÓMEZ, J y PARDO, Ó. 2012. *Caracterización de un suelo arcilloso tratado con hidróxido de calcio*. s.l. : Revista Facultad de Ingeniería, 2012. pág. 24. Vol. 21. ISSN 2357-5328. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4222676>

HUERTA, M. 2020. *Uso del extractor del mucílago del cactus como aditivo y su influencia en la consistencia y en la resistencia a la compresión del concreto*. Lima : Universidad Nacional Federico Villareal, 2020. Disponible en: <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/4363>

*La infraestructura en el desarrollo de América Latina*. KOGAN, Jorge y BONDOREVSKY, Diego. 2016. 1, L a Habana : Economía y Desarrollo, 2016, Vol. 156. ISSN 0252-8584. Disponible en: <https://bit.ly/3IWVGwi>

LIM, S.M, y otros. 2014. *Critical Review of Innovative Soil Road Stabilization Techniques*. s.l. : International Journal of Engineering and Technology Research, 2014. pág. 204. Vol. 3. SSN: 2249 – 8958. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.682.1964&rep=rep1&type=pdf>

LONDA, Byron y MAISINCHO, Luis. 2016. *Estudio comparativo del método colombiano y la Nevi-12, para vías de bajo volumen de tránsito, con subrasante de la mina Chocarsi*. Cuenca : Universidad de Cuenca, 2016. pág. 28. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/24206>

MAGNAN, J.P y NDIAYE, M. 2015. *Determination and assessment of deformation moduli of compacted lateritic gravels, using soaked CBR tests*. s.l. : Transportation Geotechnics, 2015. pág. 51. Vol. 5. ISSN 22143912. Disponible en: <https://bit.ly/3dNpTj6>

MENDIZABAL , Katheryn. 2018. *Adicion de mucilago de penca de tuna para estabilizar suelos arcilloso, Chilca*. Huancayo : Universidad Peruana los Andes, 2018. Disponible en: <https://bit.ly/33I4ICJ>

MORE , Sandra. y DROGO, Estela. 2019. *Estabilizacion de la subrasante en suelos adicionando la resina de platano en el tramo Cacatahi - Chirapa, 2019*. Tarapoto : Universidad Cesar Vallejo, 2019. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/46162>

MTC. 2013. *MINISTERIO DE TRASPORTES Y COMUNICACIONES, 2013. MANUAL DE CARRETERAS SUELOS, GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS*. 2013. pág. 21. Disponible en: <https://bit.ly/3GFsBDt>

MURTY, K, SIVA, A y VENKATA, B. 2016. *CHEMICAL STABILIZATION OF SUB-GRADE SOIL WITH GYPSUM AND NACL*. s.l. : International Journal of Advances in engineering & Technology, 2016. pág. 569. Vol. 9. ISSN 22311963. Disponible en: <https://bit.ly/33hAlaU>

NESTERENKO, Darko. 2018. *Desempeño de suelos estabilizados con polimeros en Peru*. Lima : Universidad de Piura, 2018. Disponible en: <https://bit.ly/3F7JVAV>

OLUFOWOBI, J, y otros. 2014. *Clay soil stabilisation using powdered glass*. s.l. : Journal of Engineering Science and Technology, 2014. pág. 544. Vol. 9. 5. Disponible en: <https://bit.ly/3IMADfz>

PINO, Raul. 2018. *Metodología de la Investigación - Elaboración de diseños para contrastar hipotesis*. Lima : San Marcos, 2018. Disponible en: [http://www.editorialsanmarcos.com/index.php?id\\_product=206&controller=product](http://www.editorialsanmarcos.com/index.php?id_product=206&controller=product)

QUISPE, Cesar y ESPINOZA, Lucy. 2019. *Estudio de trafico para el diseño del mejoramiento de un camino vecinal, Distrito de Ocuvi, Provincia de Lampa, Puno 2019*. Trujillo : Universidad Privada de Trujillo, 2019. Disponible en: <http://repositorio.uprit.edu.pe/handle/UPRIT/264>

*Relación entre la red nacional de carreteras y el desarrollo económico nacional. Caso América Latina y el Caribe.* URAZAN, Carlos, ESCOBAR, Diego y MONCADA, Carlos. 2017. 61, Colombia : Revista ESPACIOS, 2017, Vol. 38. ISSN 0798 1015. Disponible en: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n61/a17v38n61p09.pdf>

SALAS, Raul. 2011. *Evolución histórica de los caminos rurales y alimentadores en México.* Mexico : Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A.C., 2011. pág. 17. ISBN 978-607-9191-04-7. Disponible en: <https://bit.ly/3s1c9cE>

SALINAS, V, TREJO, A y LIRA, A. 2015. *Propiedades físicas, mecánicas y de barrera de películas comestibles a base de mucílago de nopal como alternativa para la aplicación en frutos.* Mexico : Revista de Investigación Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 2015. pág. 194. Disponible en: <https://bit.ly/3dNtqxH>

SANTOS Sánchez, Guadalupe . 2017. *Validez y confiabilidad del cuestionario de calidad de vida SF-36 en mujeres con LUPUS, Puebla.* Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla : BUAP, 2017. Disponible en: <https://bit.ly/2TxA4kV>

SCHOONOVER, J.E y CRIM, J.F. 2015. *An Introduction to Soil Concepts and the Role of Soils in Watershed Management.* s.l. : Journal of Contemporary Water Research & Education, 2015. pág. 21. Vol. 154. ISSN 1936-7031. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1936-704X.2015.03186.x>

TAMAYO, Mario. 2003. *"El proceso de la investigación científica"*. 4ta. México : Editorial limusa, 2003. Disponible en: <https://es.slideshare.net/sarathrusta/el-proceso-de-investigacion-cientifica-mario-tamayo-y-tamayo1>

TREVIZAN, J y BALTIERRA, H. 2018. *Evaluación de propagación asexual en dos especies de cactus.* Chile : Revista de Investigación de la Universidad de Tarapacá, 2018. pág. 110. 4. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292018005002803>

VARA, Arístides. 2010. *7 pasos para una tesis exitosa*. Lima : Universidad San Martín de Porres, 2010. Disponible en: <https://www.administracion.usmp.edu.pe/investigacion/files/7-PASOS-PARA-UNA-TEISIS-EXITOSA-Desde-la-idea-inicial-hasta-la-sustentaci%C3%B3n.pdf>

VILLANUEVA, Jheyser. 2019. *Efectos de tres concentraciones de mucilago de tuna (opuntia ficus-inidca (L.) Miller) y de San Pedro (Echinopsis pachanoi (Britton & Rise) Friedrich & G.D. Rowley) en la clarificacion del agua*. Cajamarca : Universidad Nacional de Cajamarca, 2019. Disponible en: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3474>

**ANEXOS N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA**

<b>MATRIZ DE CONSISTENCIA</b>						
<b>PROYECTO DE TESIS</b>	"Aplicación de mucílago de penca de tuna y su efecto en CBR de subrasante, carretera Juliaca - Caminaca, Puno 2021"					
<b>PROBLEMA</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>METODOLOGÍA</b>
<p><b>Problema General</b></p> <p>¿Cuál será el efecto en el CBR con la aplicación de mucílago de penca de tuna en la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca, Puno 2021?</p>	<p><b>Hipótesis General</b></p> <p>La aplicación de mucílago de penca de tuna influye en el CBR de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca, Puno 2021.</p>	<p><b>V. I.</b></p> <p>Aplicación de mucílago de penca de tuna.</p>	<p><b>Objetivo General</b></p> <p>Determinar el CBR con la aplicación de mucílago de penca de tuna en la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca, Puno 2021.</p>	<p>Proporciones de mucílago de penca de tuna.</p>	<p>25%</p> <p>50%</p> <p>75%</p> <p>100%</p>	<p><b>Enfoque de Investigación</b> Cuantitativo</p> <p><b>Diseño de Investigación</b> Experimental</p> <p><b>Nivel de Investigación</b> Explicativo</p> <p><b>Tipo de Investigación</b> Aplicada</p> <p><b>Población</b> Mucílago de penca de tuna.</p> <p><b>Muestra</b> Granulometría S.N.3 x calicata. Limites S.N. 3 x calicata 3(25%,50%,75%y100%) Proctor S.N. 3 x calicata 3(25%,50%,75%y100%) CBR S.N. 3 x calicata 3(25%,50%,75%y100%)</p> <p><b>Técnicas de recolección de datos</b> Ensayos de laboratorio Análisis de datos Interpretación de resultados Técnicas de observación y medición</p> <p><b>Instrumentos</b> Fichas de recolección de datos Bolsas y herramientas de muestreo Equipos y herramientas de laboratorio Trabajo de gabinete</p>
			<p><b>Objetivos Específicos N.º 1</b></p> <p>Determinar la expansión de la subrasante con la aplicación de mucílago de penca de tuna en la carretera Juliaca – Caminaca, Puno 2021.</p>			
		<p><b>Objetivos Específicos N.º 2</b></p> <p>Establecer el índice de plasticidad de la subrasante sustituyendo en un 25%, 50%, 75% y 100% el agua por De mucílago de penca de tuna de la carretera Juliaca – Caminaca, Puno 2021.</p>	<p>Capacidad de soporte CBR</p>	<p>%</p>		
<p><b>Objetivos Específicos N.º 3</b></p> <p>Establecer el Óptimo Contenido de Humedad con la incorporación de mucílago de penca de tuna para la compactación de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca, Puno 2021.</p>						
		<p><b>V. D.</b></p> <p>CBR de la subrasante</p>				


Fuente: Autoría propia.

**ANEXOS N° 02: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

<b>OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES</b>						
<b>PROYECTO DE TESIS</b>	<b>“Aplicación de mucílago de penca de tuna y su efecto en CBR de subrasante, carretera Juliaca - Caminaca, Puno 2021”</b>					
<b>Variables</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Escala de medición</b>
<b>Mucílago de penca de tuna.</b>	Los mucílagos son sustancias análogas a las gomas, en contacto con el agua forman unas dispersiones viscosas que poseen una facilidad de embeberla; propiedad de importancia en el mecanismo de retención del agua de las cactáceas. Villanueva (2019 pág. 5).	Los mucílagos vegetales son aditamentos que repercuten en el comportamiento del agua, las cuales brindan una consistencia viscosa la cual permite la mejor adherencia a los materiales con las cuales se expone, el fin de emplear este material es de proporcionar mejores capacidades de resistencia al suelo mediante la dosificación del 25%, 50%, 75% y 100% de este material.	Proporciones de mucílago de penca de tuna.	25% 50% 75% 100%	Ensayos de laboratorio	Razón
<b>CBR en la subrasante</b>	El CBR o mayormente conocido como la relación de soporte california tiene como objetivo evaluar la calidad relativa de un suelo con base a su resistencia, en consecuencia, dentro de la subrasante se cuentan con una serie de parámetros con la cual se caracteriza esta resistencia. Londa y Maisincho (MarcadorDePosición1pág. 28).	El CBR de la subrasante se caracteriza como la resistencia con la que cuenta el terreno evaluado, en la presente investigación se pretende caracterizar el terreno a través de los ensayos de CBR, Proctor modificado y límites de atterberg.	CBR  Índice de plasticidad  Óptimo contenido de humedad	%  %  %	Ensayo de California  Ensayos de límites de atterberg  Ensayo de Proctor modificado	Razón

Fuente: Autoría propia.

**ANEXOS N° 03: PANEL FOTOGRAFICO**

 <p><b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b></p>	<p><b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b></p> <p><b>Escuela profesional de ingeniería civil</b></p>
<p align="center"><b>Panel fotográfico</b></p>	
<p><b>Autor(es):</b></p>	<p align="center">Bach. Machaca Condori, Javier Alejandro Bach. Quispe Quiro, Ruben</p>
<p><b>Tesis:</b></p>	<p align="center">Aplicación de mucilago de penca de tuna y su efecto en CBR de la subrasante de carretera Juliaca - Caminaca, Puno 2021.</p>
	
<p align="center">Fotografía 01 Apertura de Calicatas.</p>	<p align="center">Fotografía 02 Extracción de muestras.</p>
	
<p align="center">Fotografía 03 Penca de Tuna.</p>	<p align="center">Fotografía 04 Picado de penca de tuna.</p>





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA

Escuela profesional de ingeniería  
civil

**Panel fotográfico**

**Autor(es):**

Bach. Machaca Condori, Javier Alejandro  
Bach. Quispe Quiro, Ruben

**Tesis:**

Aplicación de mucilago de penca de tuna y su efecto en CBR  
de la subrasante de carretera Juliaca - Caminaca, Puno  
2021.



Fotografía 05

Extracción del mucílago de penca de  
tuna.



Fotografía 06

Colado del material del mucílago  
líquido dentro de recipiente.



Fotografía 07

Preparado de la muestra aplicando  
mucílago de penca de tuna.



Fotografía 08

Lavado de la muestra de suelo a  
través de la malla #200.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA

Escuela profesional de ingeniería  
civil

**Panel fotográfico**

**Autor(es):**

Bach. Machaca Condori, Javier Alejandro  
Bach. Quispe Quiro, Ruben

**Tesis:**

Aplicación de mucilago de penca de tuna y su efecto en CBR  
de la subrasante de carretera Juliaca - Caminaca, Puno  
2021.



Fotografía 09  
Método de cuarteo.



Fotografía 10  
Cuarteo de agregado fino.



Fotografía 11  
Peso del material ya cuarteado.



Fotografía 12  
Eliminación de material de limos y  
arcillas.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA

Escuela profesional de ingeniería  
civil

**Panel fotográfico**

**Autor(es):**

Bach. Machaca Condori, Javier Alejandro  
Bach. Quispe Quiro, Ruben

**Tesis:**

Aplicación de mucilago de penca de tuna y su efecto en CBR  
de la subrasante de carretera Juliaca - Caminaca, Puno  
2021.



Fotografía 13

Índice plástico pasante por la malla  
N°40 y °200



Fotografía 14

Cantidades requeridas para LP es 15  
gramos.



Fotografía 15

Agregado fino pasante por diferentes  
tamices.



Fotografía 16

Debe ser igual a 210 gr y luego  
distribuirlo.

**Panel fotográfico**

**Autor(es):**

Bach. Machaca Condori, Javier Alejandro  
Bach. Quispe Quiro, Ruben

**Tesis:**

Aplicación de mucilago de penca de tuna y su efecto en CBR de la subrasante de carretera Juliaca - Caminaca, Puno 2021.



**Fotografía 17**

Mezclado de material fino con líquido.



**Fotografía 18**

Ensayo de casa grande a 25 golpes.



**Fotografía 19**

El uso de una regla graduada.



**Fotografía 20**

La ranura se cierra en 13 mm (1/2 pulg).

**Panel fotográfico**

**Autor(es):**

Bach. Machaca Condori, Javier Alejandro  
Bach. Quispe Quiro, Ruben

**Tesis:**

Aplicación de mucilago de penca de tuna y su efecto en  
CBR de la subrasante de carretera Juliaca - Caminaca,  
Puno 2021.



**Fotografía 21**

Limite plástico a 3mm como mínimo.



**Fotografía 22**

Proceso de limite plástico y pesado.



**Fotografía 23**

Adición de mucilago para la  
compactación.



**Fotografía 24**

Compactado de Proctor modificado.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA

Escuela profesional de ingeniería  
civil

**Panel fotográfico**

**Autor(es):**

Bach. Machaca Condori, Javier Alejandro  
Bach. Quispe Quiro, Ruben

**Tesis:**

Aplicación de mucilago de penca de tuna y su efecto en CBR  
de la subrasante de carretera Juliaca - Caminaca, Puno  
2021.



Fotografía 25

Enrasado de Proctor modificado.



Fotografía 26

Peso del molde de CBR.



Fotografía 27

Vista de medición de expansión del  
molde.



Fotografía 28

Proceso de penetración del ensayo de  
CBR.