

**UNIVERSIDAD SAN PEDRO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL**



**Efecto de adición de enzimas orgánicas de Henequén, para  
estabilización de suelos cohesivos en subrasantes, Juipon –  
Pueblo Libre, Huaylas 2020.**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Edward Jaffet Mejía León

Asesor:

Atilio Rubén López Carranza

Huaraz – Perú

2020

Palabras clave

|                     |                     |
|---------------------|---------------------|
| <b>Tema</b>         | Enzimas de Henequén |
| <b>Especialidad</b> | Ingeniería Civil    |

Keywords

|                  |                   |
|------------------|-------------------|
| <b>Subject</b>   | Henequén enzymes  |
| <b>Specialty</b> | Civil Engineering |

Línea de Investigación

|                               |                           |
|-------------------------------|---------------------------|
| <b>Línea de investigación</b> | Transporte                |
| <b>Área</b>                   | Ingeniería y Tecnología   |
| <b>Subarea</b>                | Ingeniería Civil          |
| <b>Disciplina</b>             | Ingeniería del transporte |

Título de la investigación

**Efecto de adición de enzimas orgánicas de Henequén, para estabilización de suelos cohesivos en subrasantes, Juipon – Pueblo Libre, Huaylas 2020.**

## Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo general proponer una mejora en los suelos que presentan cohesión elevada para la construcción de pavimentos en el caserío de Juipon, el problema principal es que no existen canteras cercanas para lograr estabilizar los suelos cohesivos.

Por ello se utilizó una metodología usada por el autor Gallardo que consistió en realizar la extracción de las enzimas de henequén, una vez que se llegó a obtener las enzimas, estas se llegaron a mezclar dando lugar a un estabilizante químico, el cual logró mejorar las propiedades químicas y físicas del suelo cohesivo presente para la realización de subrasantes.

Se realizaron los ensayos del suelo por ello se usó el método granulométrico, en ello se dio a conocer que, el suelo tenía propiedades arcillosas, para los ensayos de densidad se usó el modificado, esto nos dio unos valores medios de densidad de 2 y por último los valores de soporte relativo del suelo, que fueron muy pésimos, con un 4 % de capacidad de soporte relativo (CBR).

Pero, al mezclar el aditivo con el suelo cohesivo, este mejoró de forma significativa en un 231% el CBR, aumentó la densidad máxima seca, en conclusión, esto significó una mejora exponencial del suelo arcilloso, se debió en gran parte al proceso que tienen las enzimas para acelerar el proceso de unión de las partículas del suelo cohesivo, dando lugar a un aumento de densidad, ello conlleva a que al estar más denso se eliminen más vacíos y logre una estabilidad adecuada.

## Abstract

The general objective of the present research was to propose an improvement in soils that present high cohesion for the construction of pavements in the village of Juipon, the main problem is that there are no nearby quarries to stabilize the cohesive soils.

For this reason, a methodology used by the author Gallardo was used, which consisted of extracting the henequen enzymes, once the enzymes were obtained, they were mixed giving rise to a chemical stabilizer, which managed to improve the properties chemical and physical properties of the cohesive soil present for the realization of subgrade

Soil tests were carried out, so the granulometric method was used, in this it was revealed that the soil had clay properties, for the density tests the modified one was used, this gave us average density values of 2 and for Lastly, the relative support values of the ground, which were very bad, with a 4% relative support capacity (CBR).

But, when mixing the additive with the cohesive soil, this significantly improved the CBR by 231%, increased the maximum dry density, in conclusion, this meant an exponential improvement of the clay soil, it was largely due to the process they have the enzymes to accelerate the process of joining the particles of the cohesive soil, giving rise to an increase in density, this leads to being more dense, more voids are eliminated and it achieves adequate stability.

| Índice                                 | Página N°  |
|--|------------|
| Palabras claves.....                   | i          |
| Título de investigación.....           | ii         |
| Resumen.....                           | iii        |
| Abstract.....                          | iv         |
| Índice.....                            | v          |
| <b>Introducción.....</b>               | <b>1</b>   |
| <b>Metodología.....</b>                | <b>62</b>  |
| <b>Resultados.....</b>                 | <b>65</b>  |
| <b>Análisis y discusión.....</b>       | <b>102</b> |
| <b>Conclusiones.....</b>               | <b>105</b> |
| <b>Recomendaciones.....</b>            | <b>106</b> |
| <b>Referencias bibliográficas.....</b> | <b>107</b> |
| <b>Agradecimientos.....</b>            | <b>109</b> |
| <b>Anexos y apéndice.....</b>          | <b>110</b> |

## Índice de tablas

|   |    |
|---|----|
| TABLA 1::Clasificación de las subrasantes en función al porcentaje del CBR.....   | 22 |
| TABLA 2:: Matriz de Operacionalización de variables.....  | 57 |
| TABLA 3:: Datos de la muestra o calicata.....   | 63 |
| TABLA 4:: Normas técnicas.....  | 69 |
| TABLA 5:: Datos granulométricos de la muestra patrón.....   | 70 |
| TABLA 6:: Resultados del límite liquido de la muestra patrón.....   | 72 |
| TABLA 7:: Resultados del límite plástico de la muestra patrón.....  | 73 |
| TABLA 8:: Tabla general de resultados de la muestra patrón.....   | 74 |
| TABLA 9:: Resultados de la capacidad relativa de soporte de la muestra patrón.....  | 75 |
| TABLA 10:: Resultados de la capacidad relativa de soporte de la muestra patrón (penetración).....                         | 76 |
| TABLA 11:: Resultados del ensayo con el Proctor modificado a la muestra patrón con la adición de la enzima en un 10%..... | 81 |
| TABLA 12:: Resultados de la capacidad relativa de soporte de la muestra patrón con la adición del aditivo en un 10%.....  | 83 |
| TABLA 13:: Resultados de la capacidad relativa de soporte de la muestra patrón con la adición del aditivo en un 10%.....  | 84 |
| TABLA 14:: Resultados del ensayo con el Proctor modificado a la muestra patrón con la adición de la enzima en un 20%..... | 88 |
| TABLA 15:: Resultados de la capacidad relativa de soporte de la muestra patrón con la adición del aditivo en un 20%.....  | 90 |
| TABLA 16:: Resultados de la capacidad relativa de soporte de la muestra patrón con la adición del aditivo en un 20%.....  | 91 |

## Índice de figuras

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 1. Capas de un pavimento flexible.....   | 10 |
| FIGURA 2. Capa de un pavimento con saturación.....  | 11 |
| FIGURA 3. Gráfico de la curva de saturación del ensayo del Proctor.....                       | 20 |
| FIGURA 4. Estructura en láminas de arcilla.....   | 23 |
| FIGURA 5. Valores de la concentración de enzimas de la bromelina.....                         | 33 |
| FIGURA 6. Actividad enzimática de la bromelina.....   | 33 |
| FIGURA 7. Actividad específica de enzimas de la bromelina.....                                | 34 |
| FIGURA 8. Clasificación de materiales orgánicos.....  | 36 |
| FIGURA 9. Planta de henequén.....   | 37 |
| FIGURA 10. Sección típica de un pavimento.....  | 51 |
| FIGURA 11. Pavimento flexible.....  | 52 |
| FIGURA 12. Pavimento rígido.....  | 53 |
| FIGURA 13. Ensayo del valor de soporte californiano.....                                      | 55 |
| FIGURA 14. Curva granulométrica de la muestra patrón.....                                     | 72 |
| FIGURA 15. Gráfico del contenido de humedad de la muestra patrón.....                         | 74 |
| FIGURA 16. Gráfico de penetración para la muestra de penetración (cbr).....                   | 78 |
| FIGURA 17. Gráfico entre la relación de la carga y la penetración (12 golpes).....            | 79 |
| FIGURA 18. Gráfico entre la relación de la carga y la penetración (25 golpes).....            | 80 |
| FIGURA 19. Gráfico entre la relación de la carga y la penetración (56 golpes).....            | 81 |
| FIGURA 20. Gráfico del Proctor en la muestra patrón con la adición del aditivo en un 10%..... | 83 |
| FIGURA 21. Gráfico de penetración para la muestra de penetración + 10% de aditivo.....        | 85 |
| FIGURA 22. Gráfico entre la relación de la carga y la penetración (12 golpes).....            | 86 |
| FIGURA 23. Gráfico entre la relación de la carga y la penetración (25 golpes).....            | 87 |
| FIGURA 24. Gráfico entre la relación de la carga y la penetración (56 golpes).....            | 88 |



|   |     |
|---|-----|
| FIGURA 25. Gráfico del Proctor en la muestra patrón con la adición del aditivo en un 20%.....                                   | 90  |
| FIGURA 26. Gráfico de penetración para la muestra de penetración + 20% de aditivo.....  | 92  |
| FIGURA 27. Gráfico entre la relación de la carga y la penetración (12 golpes).....  | 93  |
| FIGURA 28. Gráfico entre la relación de la carga y la penetración (25 golpes).....  | 94  |
| FIGURA 29. Gráfico entre la relación de la carga y la penetración (56 golpes).....  | 95  |
| FIGURA 30. Comparación de la densidad seca entre la muestra patrón y la muestra con la adición del aditivo en un 10%.....       | 96  |
| FIGURA 31. Comparación de los porcentajes de CBR entre la muestra patrón y la muestra con la adición del aditivo en un 10%..... | 97  |
| FIGURA 32. Comparación de la densidad seca entre la muestra patrón y la muestra con la adición del aditivo en un 20%.....       | 98  |
| FIGURA 33. Comparación de los porcentajes de CBR entre la muestra patrón y la muestra con la adición del aditivo en un 10%..... | 101 |
| FIGURA 34. Carretera sin asfaltar del caserío de juipon.....  | 135 |
| FIGURA 35. Extrayendo la muestra de la primera calicata.....  | 135 |
| FIGURA 36. Cascaras de henequén sin pulpa.....  | 136 |
| FIGURA 37. Cascaras de henequén sin pulpa.....  | 136 |
| FIGURA 38. Cascaras de henequén sin pulpa.....  | 138 |
| FIGURA 39. Licuado de la pulpa de henequén.....   | 138 |
| FIGURA 40. Enzima fermentada de henequén.....   | 139 |
| FIGURA 41. Cuarteo de la muestra patrón.....  | 141 |
| FIGURA 42. Etapa del tamizado por zarandeo.....   | 141 |
| FIGURA 43. Muestra filtrada por la malla n° ½.....  | 142 |
| FIGURA 44. MUESTRA FILTRADA POR LA MALLA N° 4.....  | 142 |
| FIGURA 45. Ensayo del límite plástico.....  | 143 |
| FIGURA 46. Ensayo del contenido de humedad de los límites de atterberg.....   | 143 |

|  |     |
|--|-----|
| FIGURA 47. Preparación para el ensayo del Proctor estándar.....                                  | 144 |
| FIGURA 48. Ensayo del Proctor estándar.....  | 144 |
| FIGURA 49. Ensayo para el contenido de humedad.....  | 145 |
| FIGURA 50. Preparación de la muestra patrón para el ensayo del CBR.....                          | 145 |
| FIGURA 51. Ensayo de CBR de la muestra patrón con 12 golpes.....                                 | 146 |
| FIGURA 52. Muestras compactadas no saturadas de la muestra patrón.....                           | 146 |
| FIGURA 53. Etapa de saturación de las tres muestras patrón.....                                  | 147 |
| FIGURA 54. Muestras compactadas saturadas de la muestra patrón.....                              | 147 |
| FIGURA 55. Prueba de penetración de las muestras saturadas.....                                  | 148 |
| FIGURA 56. Enzimas de pino y henequén.....   | 148 |
| FIGURA 57. Mezcla de la muestra con 100 ml de aditivo.....                                       | 149 |
| FIGURA 58. Mezcla de la muestra con 120 ml de aditivo.....                                       | 149 |
| FIGURA 59: Proceso de compactación de la muestra con el aditivo (120 ml).....                    | 150 |
| FIGURA 60: Proceso de saturación de las muestras con el aditivo (100 ml).....                    | 150 |
| FIGURA 61: Proceso de preparación de la muestra patrón para la adición del aditivo (100 ml)..... | 151 |

## **I. INTRODUCCIÓN**

El tipo de suelo es vital para la construcción de cualquier estructura ya sea edificios, pavimentos, canales, etc.; ya que todas estas construcciones se basan o se constituyen sobre el suelo de fundación, esto se ha llegado a establecer como un axioma a lo largo de la historia, por ello es imprescindible realizar los estudios que sirven, para determinar sobre qué tipo de suelo se realizaran dichas estructuras.

Asimismo se determinó que, los suelos que presentan propiedades de plasticidad muy elevadas son los menos adecuados para la construcción de estructuras, ya que dichos suelos tienden a poseer menos estabilidad, ello repercute en que los suelos limosos y arcillosos, posean propiedades de expansión muy elevadas, distorsión de los volúmenes del suelo y como consecuencia por lo general se producen asentamientos, todo ello provocando fallas estructurales, desplomes en las estructuras, como consecuencia de ello, la estructura tiende a fallar y en muchos casos llega a ser perjudicial para la vida humana.

Por eso el objetivo principal de este proyecto, fue establecer la estabilización de los suelos cohesivos presentes en las vías sin asfaltar del centro poblado de Juipon en el distrito de Pueblo Libre, que es un caserío muy alejado de las grandes ciudades y donde viven pobladores que no tienen acceso a una vía, por ello se adicionara como medida de estabilización un aditivo elaborado a base de enzimas orgánicas de Henequén, dicho caserío presenta ciertas áreas que tienden a poseer un comportamiento plástico, con ello también se ve la carencia de vías de transporte en dicho caserío, ya sea por medios asfaltados, de concreto armado, etc; ello afecta radicalmente el tema de los accesos para el desarrollo del caserío a un nivel agrícola y social.

Asimismo, es importante enfocar y desarrollar técnicas de estabilización adecuados que permitan realizar el tratamiento de los suelos cohesivos, el aditivo basado en la fermentación del Henequén, logro una mejora en las propiedades físicas y mecánicas del suelo, entre ello mejoro las características como el aumento en la capacidad portante del suelo y la resistencia en cuanto a la compresión.

### **1.1. Antecedentes y fundamentación científica**

Según Yucra (2017), que en su tesis para la obtención del título profesional titulada Análisis del uso de aditivos Perma-zyme y cloruro cálcico en la estabilización de la base de la carretera no pavimentada (Desvió Huancane-Chupa)-Puno tuvo como su principal objetivo analizar el porcentaje de estabilización con el aditivo denominado Permazyme y el cloruro cálcico en los suelos cohesivos de dicho caserío, con ello se consiguió una significativa mejora en la propiedad física del suelo, con ello se obtuvo una reducción del Índice de Plasticidad, todo ello en el material de la cantera denominada Punta y Yanahoco respectivamente, asimismo se logró la mejora en su propiedad física, también se logró la mejora considerable en sus propiedades mecánicas, ello quiere decir un aumento de su densidad seca máxima y se obtuvo la mejora gradual, ello implica el aumento del valor del soporte relativo CBR en los materiales de la cantera Punta y Yanahoco respectivamente, con las proporciones otorgadas para el mencionado agente estabilizador, el incremento gradual se obtuvo con respecto al valor del soporte relativo (CBR) inicial patrón.

Fernández (2017), en su tesis Efecto del aditivo Terrazyme en la estabilización de suelos arcillosos de subrasantes en la zona de expansión de la ciudad de Cajamarca concluyó que el aditivo denominado terrazyme posee un efecto que incrementa la capacidad de soporte relativo de la subrasante en un porcentaje del 19%, todo esto para los suelos estudiados en Cajamarca. Para el diseño patrón se obtuvo la variación del 95%, esto es para los porcentajes de un CBR que va desde el 3,54% al 4,30%, al 100%, en un CBR que va desde el 5,60 % y 6,70%, un límite líquido que varía entre 35,37% a 45,33%, un límite plástico entre 18,46% a 26,83%, un índice de plasticidad entre 15,25% a 18,50%, un contenido óptimo de humedad entre 18,07% a 21,37% y una clasificación AASTHO de A-6 (10) al A-7-6 (14), se da para las arcillas de mediana y alta plasticidad. Con la incorporación del aditivo denominado Terrazyme en sus diferentes porcentajes para las calicatas se dio que el aumento de la capacidad de soporte de terreno en 30ml/m<sup>3</sup>, logro incrementar su resistencia, asimismo en la

calicata con los siguientes porcentajes: 1: 13 %; calicata 5: 12%; calicata 6: 15%; calicata 7: 19%; calicata 7: 19%.

Salcedo (2017), en su tesis de titulación denominada Estabilización de suelos cohesivos por medio de aditivos (eco road 2000) para pavimentación en Palian – Huancayo – Junín tuvo como principal objetivo Evaluar la influencia que tiene el aditivo Eco Road 2000 en las propiedades de los suelos cohesivos en el anexo de Palian - Huancayo – Junín; ello resultó en que la adición del aditivo eco road 2000 acelera el proceso de contracción y expansión del suelo cohesivo el cual hace que se estabilice, todo ello concluyó en que el suelo con mayor cantidad de finos tiende a reaccionar mejor al aditivo Eco Road 2000, esto demuestra que no todos los suelos cohesivos tienden a reaccionar de la misma forma, todo esto por la dosificación impuesta de 1 litro de aditivo por cada 15 m<sup>3</sup> de suelo cohesivo, pero se obtuvo mejores resultados de lo esperado ya que inclusive se obtuvo un resultado igual de bueno al usar 1 litro de aditivo en 19 m<sup>3</sup>.

Cuadros (2017), en su tesis para la obtención de su título profesional denominado Mejoramiento de las propiedades físico -mecánicas de la subrasante en una vía afirmada de la red vial departamental de la región Junín mediante la estabilización química con óxido de calcio – 2016, con ello se planteó como objetivo realizar la determinación de la influencia de la estabilización química que hay entre la adición de varios porcentajes de óxido de calcio, para la mejora en las propiedades mecánicas y físicas de la subrasante en la red vial del departamento de Junín, con ello se realizó varias pruebas y se concluyó que la adición del óxido de calcio influyó de forma positiva en las propiedades del suelo, para ser más precisos en las propiedades físico – mecánicas, todo ello en relación a la subrasante, asimismo el valor de soporte relativo del suelo aumentó de manera sustancial con respecto al suelo sin alterar, también se probó que la adición del óxido de calcio redujo el índice de plasticidad.

Pérez (2012), en su proyecto de tesis para la obtención de su maestría titulada Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o subbase de pavimentos tuvo como objetivo general mejorar el suelo cohesivo con cenizas de carbón y concluyo que, las cenizas del tipo volantes se desempeñan como un aditivo en forma de inhibidor que convierten las propiedades expansivas del material, pero dicha mejora requirió ser adicionada en porcentajes excesivos, esto se da para el caso de una arcilla con propiedades de expansión, en un promedio mayor a 20%. Las arcillas en un acoplamiento con el tipo de cenizas volantes y cemento en porcentaje aproximado del 3%, resulta en una mejora considerable, ya que con ella se da excelentes resultados, concluyendo que la resistencia del suelo cohesivo o arcilloso, aumenta desde 7,7% hasta un porcentaje aproximado del 51%, todo ello en función de la mejora del CBR al 100% de la MDS del Proctor Modificado y con ello obteniéndose menores costos en su constitución.

En cuanto a la justificación de la investigación esta se basa en que en el caserío de juipon perteneciente al distrito de pueblo libre se llega a caracterizar ya que hay una escasez de canteras cercanas de material granular adecuado que puedan ser usados para estabilizar suelos arcillosos o cohesivos, en las distintas capas de la estructura en cuestión que es el pavimento, con ello lograr encontrar muchas alternativas como la estabilización ya que esto permite una mejora gradual de la capacidad de soporte relativo del suelo, en la subrasante de los distintos puntos críticos concernientes en suelos finos, las propiedades físicas y mecánicas de dicho suelo Por lo que una de las alternativas corresponde en el empleo de enzimas orgánicas provenientes de las plantas del caserío de juipon como el henequén y el pino.

En muchos países, se han usado enzimas parecidas, que son provenientes de insectos, como material de estabilización. Existiendo una referencia de su buen desempeño en investigaciones realizadas, concluyendo que las enzimas estabilizan el suelo mejorando sus propiedades mecánicas para su utilización en pavimentación.

Técnicamente el uso de enzimas orgánicas se justifica porque ayudará a obtener un bajo costo, con ello reduciendo el transporte o flete de materiales como afirmados over u otros, aumentando la densidad del suelo, reduciendo problemas de trabajo, asimismo incrementar la capacidad de soporte (CBR), reduciendo la permeabilidad del agua y mejorando la resistencia a la compresión.

La justificación de dicho trabajo se justificará en los distintos campos:

En lo social dicho trabajo de investigación beneficiará a la población para tener un acceso a la vía que permitirá un avance entre comunidades como la comunicación y el transporte más fluido.

En lo económico dicho proyecto de investigación tendrá beneficios en el costo de materiales estabilizadores caros por el tema del flete, para ello dicho proyecto se basa en mejorar los suelos cohesivos con materiales de la zona que actúan como un estabilizante evitando costos mayores.

En lo legal dicho proyecto se basará en cumplir las normas estándares según la Asociación Americana de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte (AASHTO) y el reglamento nacional de edificaciones basándome en la norma técnica CE050 de suelos y cimentaciones (R.N.E).

Metodológicamente ayudara una vez que el proyecto se haya aprobado validando su uso servirá como aporte para futuras investigaciones que ayuden en el tema de pavimentación.

### **1.1.1. Fundamentación Científica**

#### **a. Suelos**

En el ámbito de la ingeniería civil, se define como suelo, al tipo de sustrato físico sobre el cual se construyen los distintos tipos de estructuras, asimismo los suelos tienden a destacar propiedades físicas, mecánicas y químicas, el suelo suele diferenciarse de la palabra roca, ya que el suelo se compone de elementos que están parcialmente distorsionados en el espacio en el que se encuentran.

#### **1. Tipos de Suelos**

Los suelos se llegan a clasificar dependiendo de ciertos criterios ya sea por su composición, textura, etc.; por lo general en el ámbito de la ingeniería civil los clasificaremos en función al tamaño que poseen, por ello la textura del suelo depende de la cantidad de partículas que abundan más en cada muestra, por ello los clasificaremos en los siguientes:

##### **1.1 Suelos granulares**

Se constituyen por partículas agregadas, en las que no poseen un cierto tipo de cohesión es decir las partículas están desagregadas debido al tamaño que poseen, por ello una de las propiedades más características de estas es su elevada capacidad portante lo cual también conlleva a que su permeabilidad llegue a ser elevada, el cual es adecuado para que se realice la filtración del agua existente en agentes externos.

##### **1.2 Suelos gravosos**

Se constituyen por elementos que provienen de rocas que se llegaron a ser fragmentadas por agentes externos más precisamente atmosféricos,



por lo general las partículas que constituyen dicho suelos tienden a poseer una medida mayor a 2mm, esto según el amplio sistema conocido como SUCCS, dicho insumo (material) suele encontrarse usualmente en riberas, depresiones en los terrenos que fueron rellenos por el acarreo, por ello una de las características visuales que suelen encontrarse en este suelo es que se adquiere una forma redondeada en cuanto a las piedras o en partes de los estratos.

### **1.3 Suelos arenosos**

Se denominan a suelos arenosos a aquellos que tienden a tener partículas constituyentes desde los 2mm a los 0.05mm según el sistema AASHTO, los cuales provienen de la desintegración de las rocas o también provenientes de procesos artificiales, en el caso del sistema SUCCS tienen de 4.75 mm. a 0.075 mm.

Dicho suelo se suele por lo general encontrarse en depósitos donde se localizan las gravas, una curiosidad sobre este tipo de suelo es que el material, si está en un estado seco y pulcro, no llega a contraerse, por lo que, si se llega a usar para fines prácticos y se opta por realizar compresión, estas lo harán de manera instantánea.

### **1.4 Suelos arcillosos**

También llamados como cohesivos, son suelos con ciertas características, una de ellas es que las partículas que poseen tienden a tener un tamaño inferior al 0.08mm (SUCCS), este tipo de suelos tienden a ser impermeables por lo que son fácilmente alterables por agentes externos, un ejemplo de ello es el agua, por lo que, si el agua llega a mezclarse con este suelo, este tiende a variar su volumen debido a que es muy reactiva con esta, dicho fenómeno solo ocurre en

cantidades un tanto elevada, donde el comportamiento empieza a variar de manera peculiar.

### **1.5 Suelos limosos**

Es un tipo de suelo constituido también por partículas finas con una escasa plasticidad, este tipo de suelos es muy común encontrarlos en lugares como canteras, esto para los limos inorgánicos, asimismo poseen las mismas características que los suelos cohesivos o arcillosos ya que tienden a comportarse de la misma manera, su tamaño comprende de entre 0.05 mm. a 0.002 mm (AASHTO) y con un tamaño menor a 0.075 (SUCS).

#### **b. Comportamiento de los Suelos**

El comportamiento de los suelos suele llegar a distinguirse en tres grandes grupos que poseen parámetros, todos ellos logran definir el tipo de comportamiento del suelo ante la estructura donde se establece, ellos son:

- Parámetros para la identificación.
- Parámetros para el tipo estado.
- Parámetros estrictamente del tipo geomecánicos.

Los parámetros de identificación que se tienen actualmente, los más significativos dentro del estudio de estos son la granulometría y la plasticidad (que es la variación de la consistencia del agregado y en función del contenido de humedad). El tamaño de las partículas se establece desde los tamaños granulares más conocidos como gravas y arenas, hasta los finos como la arcilla y el limo. Las variaciones que se tienen, en la consistencia del suelo todo ello en función del contenido de humedad, que se diferencian en las mencionadas clases granulométricas.

Los distintos parámetros de este estado son fundamentales, ellos son: la humedad, que es el contenido en humedad del agregado, y la densidad, que se refiere al grado de compacidad relativa, que muestran las partículas que las constituyen.

En función de la variación de los parámetros para la identificación y de los parámetros del estado, el comportamiento geomecánicos del suelo tiende a variar, con ello definiéndose, un segundo orden de parámetros, todos ellos tales como la resistencia al esfuerzo cortante, la deformabilidad y la permeabilidad.

En el caso de la composición química o mineralógica, que se da en la fase sólida, tiende a influir en el comportamiento del suelo, si bien dicha la influencia se tiende a manifiesta especialmente en suelos con unas partículas muy finas (arcillas).

La composición suele depender de la capacidad de retención del agua y la estabilidad del volumen, todo ello presentando los mayores problemas en los de tipo arcillosos. Estos obtienen una denominación que son los filosilicatos hidrófilos, que son capaces de lograr retener grandes cantidades de agua por medio de la absorción, todo esto lo que provoca su expansión y un aumento de su volumen, llegando a desestabilizar las estructuras, asimismo esto repercute en la cimentación. Esto es muy consecuente con los sustratos colapsables y los suelos del tipo soluble. De manera general, es común mencionar, que el movimiento de suelos, incluyendo el concepto el trabajo con materiales, como rocas y otros, que, sobrepasan la definición formal.

### **c. Subrasante**

Se le denomina a la subrasante a la capa del terreno vital, que llega a conformar cualquier estructura vial ya sean carreteras, el cual tiene por función principal,

soportar las cargas que se transmiten externamente desde las capas adyacentes a esta, todo ello impidiendo perjudicar el diseño estructural que se planteó en el diseño para la creación de dicha estructura vial que corresponde a un diseño.

Dicha capa se constituye, ya sea en forma de relleno o también dependiendo sea el caso por un corte (esto dependerá de la densidad establecida en el proyecto). La calidad de la capa denominada subrasante dependerá mayormente en el espesor que adquiere esta, también la densidad y por último el tipo de material que se constituye, todo ello se basa en parámetros de resistencia (Capacidad de soporte relativo).

Para que la subrasante de una estructura vial sea óptima tiene que cumplir parámetros de humedad, densidad y sensibilidad, todo ello para evitar distorsiones volumétricas.



**FIGURA 1. Capas de un pavimento flexible.**

Fuente: <https://es.slideshare.net/nievesiita/pavimento-flexible-y-rigido>, artículo científico, Ramírez, 2012.

Funciones principales de la capa denominada subrasante se basa en la de distribuir y transmitir de forma equitativa las cargas viales hacia el terraplén.

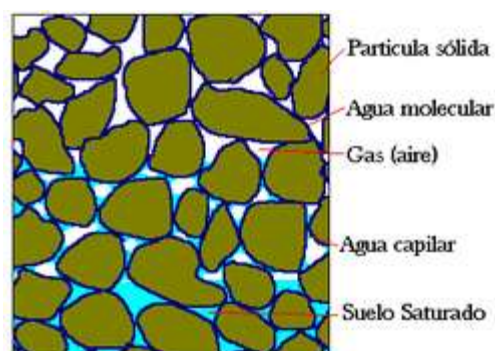
#### **d. Estructura de un suelo**

Las propiedades que tienen los suelos es que llegan a constituirse en la subrasante, estos son variables ya que son más importantes a considerar, en el momento de realizar el diseño de cualquier estructura de un pavimento ya sea rígido, flexible, afirmado.

Para lograr determinar las características físico – mecánicas para el material de subrasante, es necesario realizar muestras cada 20 metros en todo el desarrollo de la vía, ya sea con calicatas, todo esto a una profundidad mínima de 1.5 ml, todo ello se analizará en el laboratorio donde se determinarán sus propiedades y se realizarán estudios.

### 1. Humedad Natural

Se le denomina a la humedad natural o también como contenido de agua de un suelo, a la relación que existe entre el peso de agua del contenido en el mismo y también del peso de su fase sólida. Se expresa como porcentaje. La humedad natural sirve de gran manera, para la construcción de una carretera, ya que, la resistencia proveniente de la subrasante, que tiende a encontrarse directamente en condiciones de densidad que se presenta en los suelos.



**FIGURA 2. Capa de un pavimento con saturación.**

Fuente: <https://es.slideshare.net/nievesiita/pavimento-flexible-y-rigido>, artículo científico, Ramírez. 2012.

En términos matemáticos la humedad natural tiende a ser la relación entre el peso del agua ( $W_w$ ) y el peso seco del suelo ( $W_s$ ), así como se expresa en la siguiente fórmula:

$$W(n)\% = (W_w * 100) / W_s$$

## **2. Granulometría**

La granulometría se llega a entender, como el tipo de distribución de los diferentes tamaños existente de las partículas de una muestra de suelo, el cual es expresado como la equivalencia en porcentajes con relación al peso total de toda la muestra seca.

El objetivo de la granulometría es la de determinar el tipo de textura que se presenta en el suelo, ósea que los porcentajes en peso de partículas de los distintos tamaños que posee una muestra de suelo. Se emplea en cualquier estudio de suelo sobre todo en caminos, ya que es importante saber que un suelo esté bien graduado, todo esto para cuando se realice la compactación de la capa de fundición, las partículas más finas tienden a rellenar los vacíos que dejan las partículas de gran mayor tamaño, con ello logrando una mayor estabilidad y una mejora en la capacidad portante.

Las proporciones que son relativas, en el que encuentran las distintas partículas minerales del suelo ya sea grava, arena, limo y arcilla, todo esto expresado en base al peso seco del tipo de suelo expresado en %. La granulometría estudia la distribución de las partículas que se conforman en un suelo, todo ello según su tamaño mediante el tamizado de acuerdo a las especificaciones técnicas, que se realizan siguiendo los protocolos del Ensayo MTC E107, el cual ofrece cierto criterio para realizar la clasificación descriptiva.

El tamaño tiene un especial cierto interés para la selección de los materiales para los rellenos de las carreteras, por lo cual los materiales requieren unas graduaciones determinadas.

La granulometría puede entenderse como la distribución de los distintos tamaños de las diferentes partículas de un agregado, tal como se llega a determinar mediante un análisis de tamizado o más conocida como la norma ASTM C 136.

El tamaño de las partículas de los agregados tiende a determinarse mediante por medio de tamices de malla de alambre con las aberturas cuadradas. Los siete tamices estándar del tipo ASTM C 33, para los agregados finos tiene aberturas que tienden a variar desde la malla No. 100 o 150 micras hasta 9.52 mm.

Los tamaños de la granulometría para el agregado grueso se llegan a aplicar a las distintas cantidades requeridas (en peso), esto para los distintos porcentajes que llegan a pasar a través de una bandeja que actúa como un colador de la partícula. Para la fundación de carreteras, según estipula la norma denominada ASTM D 448, en la lista de los trece números del tamaño según la norma del ASTM C 33, más otros con seis números del tamaño para agregado grueso.

### **3. Estado de Consistencia**

Consiste en el comportamiento los suelos, que se ven influenciados en gran parte debido a la existencia de agua. Este hecho se destaca cuando el tamaño del particular es mucho menor que el particular que se constituyen en el suelo, con ello siendo principalmente importante en aquellos donde se predomine principalmente el componente arcilloso, dado a que, en tipo

de suelo, los distintos fenómenos de la interacción del tipo superficial se llegan a imponer de manera absoluta en los de tipo gravitatorio.

### **3.1 Líquido**

La existencia de una cierta cantidad existente de agua, neutraliza las fuerzas de atracción del tipo interparticular que se quedaban unidas al suelo (cohesión) y lo transforma de forma escabrosa, por eso cierto líquido del tipo viscoso que no tiende a tener una capacidad resistente.

### **3.2 Plástico**

El suelo es adaptablemente moldeable, todo ello presentando las deformaciones de grandes magnitudes, con ello aplicando esfuerzos pequeños. El comportamiento tiende a ser plástico, por eso no se llega a recuperar en su estado inicial, después de concluido el tipo de esfuerzo. Mecánicamente no es muy apto para resistir las cargas adicionales.

### **3.3 Semisólido**

El suelo tiende rápidamente a moldearse, con ello llega a quebrarse y resquebrajarse, antes de que se realice el cambio de forma. Pero llega a ser un sólido puro, puesto a que mientras llega a secarse y con ello perdiendo agua, asimismo va disminuyendo su volumen, pero en el aspecto mecánico es aceptable.

### **3.4 Sólido**

Es en este tipo de estado, por donde el suelo llega a conseguir una estabilidad, esto se da por que los cambios de humedad, no llega a afectar al volumen y esto hace que su comportamiento mecánico sea el más óptimo.



La humedad llega a corresponder a los distintos puntos de transición, entre ellos uno de los estados primordiales llega a ser el límite líquido (LL) y límite plástico (LP).

Asimismo, el estado de consistencia de un suelo se les atribuyen específicamente a los límites que llegar a basar en un concepto de que, en un tipo de suelo que sea de grano fino, solo se pueden permitir llegar a existir 4 tipos de estados de consistencia que, según su humedad se determinan. Así, como un tipo de suelo que se encuentra en estado sólido, así también cuando está un estado seco.

Al adicionar agua repetidamente, va pasando gradualmente a los estados del tipo semisólido, después al plástico y finalmente al líquido. Los tipos de contenidos de humedad en los puntos de fase de un estado a otro, tienen la denominación llamada límites de Atterberg.

Los ensayos se llegan a realizar en un laboratorio y estos ensayos llegan a medir la cohesión de un terreno y también su contenido de humedad, por ello se llegan a formar pequeños cilindros de espesor con relación al suelo.

Todo esto siguiendo tres procedimientos se definen tres límites:

**Límite líquido:** Se denomina a límite líquido cuando el suelo realiza una transición de un estado plástico a un estado líquido. Para determinar este límite se suele usar el método denominado “La copa de Casagrande”.

**Límite plástico:** Sucede cuando el suelo tiene una transición de un estado semisólido a un estado plástico.

**Límite de retracción o contracción:** Ocurre mayormente cuando el suelo tiende a transitar de un estado semisólido a un estado sólido, además de contraerse tiende a perder humedad.

**Índice de plasticidad:** El índice de plasticidad es el grado que alcanza el suelo en cuando a la plasticidad que posee el suelo, ello quiere decir que si el suelo tiene un elevado índice de plasticidad tiende a ser muy cohesivo o plástico.

La forma para el cálculo del índice de plasticidad es la siguiente:  $IP=LL-LP$ .

Es decir, para el cálculo del índice de plasticidad es necesario restar el límite líquido con el límite plástico.

#### **4. Compacidad del suelo**

La Compacidad de un suelo viene a ser el grado de la compactación en los suelos. Asimismo, la compacidad de un suelo viene a ser una propiedad fundamental en las carreteras, asimismo terraplenes y además cualquier tipo de relleno en general, todo ello al estar estrechamente relacionada con la resistencia, la deformabilidad y la estabilidad de un firme, ya que debe estar lo suficientemente consolidado para lograr evitar los asentamientos.

##### **4.1 Ensayos de compactación**

La compactación en un suelo se suele producir por el aumento en la densidad del tipo material, todo ello trae tres beneficios importantes:

- Reducción del tipo de compresibilidad
- Aumento de la resistencia al corte
- Reducción de la permeabilidad

Con ello, la compactación de suelos, llega a ser uno de los métodos más empleados en la mejora de las propiedades y características de suelo y por ello es indispensable saber sus características de compactación y su posterior puesta en obra.

Los ensayos para la compactación del Proctor Normal y el Proctor Modificado, son uno de los dos ensayos más usados en el estudio de la compactación de los suelos para la consolidación de terraplenes y otro tipo de estructuras. Todo se rige en base de las normas denominadas UNE o ASTM, asimismo son imprescindibles para lograr caracterizar la puesta en obra de un material.

- Proctor normal (ASTM D-698 o UNE 103-500-94).
- Proctor modificado (ASTM D-1557 o UNE 103-501-94).

Complementando todo esto es necesario enfatizar el tipo de estudio de la reutilización de los suelos y su posible idealidad para el proceso de compactación, con ello se llega a utilizar el ensayo del CBR, granulometría en los suelos, asimismo los límites de Atterberg, los ensayos del colapso inminente e hinchamiento del tipo libre, entre otros muchos ensayos del laboratorio de suelos.

Por ello es importante desarrollar las distintas pruebas para la compactación, para posteriormente realizar el análisis de los resultados que se llegan a obtener e interpretar las diferentes curvas de compactación.

### **Descripción del Ensayo para Proctor Estándar o Normal**

El ensayo del Proctor que es del tipo estándar se usa para determinar dos cuestiones que son: densidad seca máxima de un estrato de suelo y

la cantidad de humedad optima necesaria, todo ello para lograr alcanzar esta densidad. Ello se llega a utilizar en un molde cilíndrico de 1 litro, con una capacidad que llega a rellenarse con tres capas de material debidamente compactadas, todo ello mediante una maza que es estandarizada de aproximadamente 2,5 kg que, se libera a una altura de 305 mm.

El material que se usa a ensayar, previamente se ha desecado y también tamizado por el tamiz nº 20 mm (UNE) o el correspondiente al ASTM y posteriormente humedecido, todo ello con distintos valores de humedad, esto por cada muestra necesaria.

Para la compactación por cada capa del material se logra emplear 26 golpes en la masa, que son distribuidos homogéneamente, todo sobre la superficie del terreno. Con ello las tres capas deben poseer aproximadamente la atura correlativa de tierras.

Con ello una vez que se ha logrado compactar el material, se llega a enrazar el molde y se llega a medir la densidad y la humedad de una muestra que es tomada desde el centro del molde.

Se llega a repetir este proceso varias veces, todo ellos con distintos contenidos y porcentajes de humedad. La prueba de la compactación del Proctor Normal puede darse por concluida cuando en esta se obtienen 5 o 6 puntos clave que llegan a definirse en una curva que se relaciona con la densidad seca con la humedad.

### **Descripción Ensayo Proctor Modificado**

Para la prueba del Proctor modificado, se basa en el Proctor estándar, ello implica modificar agresivamente la capacidad que posee el molde, como la energía de la compactación. En este caso se empleará un molde

cilíndrico que posee un volumen 2.30 cm<sup>3</sup> de capacidad y una maza de 4,54 kg, todo esto se deja caer desde una altura aproximada de 457 mm.

En el lugar de 3 capas, se llega a compactar 5 capas de material, realizando 25 golpes por cada capa.

Asimismo, se realizarán distintas medidas de humedad y densidad dentro del interior del molde, todo ello con distintos grados de humedad, para lograr trazar la curva del Proctor y con ello se daría por concluida la prueba Proctor.

Este ensayo requiere una energía de compactación mayor que el ensayo Proctor Normal y recrea, por tanto, unos medios de compactación más potentes y enérgicos.

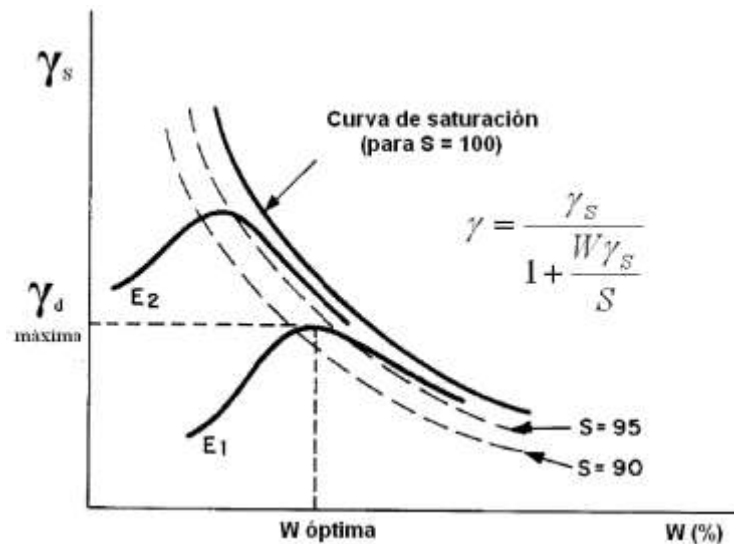
Este tipo ensayo es usualmente usado en el estudio de distintos terraplenes para carreteras, todo mientras que el ensayo Proctor normal es necesariamente empleado en los estudios de compactaciones que poseen una menor cantidad como los diferentes rellenos de zanjas, tipos de vías de comunicación secundarias o el estudio de materiales arcillosos, todo ello junto con el ensayo de compactación Harvard.

### **Interpretación ensayos Proctor**

El sistema de registro para el ensayo del Proctor se debe llegar a proporcionar la densidad máxima seca, así también como la humedad óptima y, sobre todo, lo que es más importante la curva humedad - densidad seca, todo ello con los valores de todos los puntos ensayados previamente.

Como los datos complementarios debe proporcionar los datos específicos del molde, características de la masa, número de capas, y golpes por capa.

La curva densidad seca – humedad nos permite realizar la determinación de las condiciones óptimas de la compactación tal y como se muestra en la figura siguiente:



**FIGURA 3. Gráfico de la curva de saturación del ensayo del Proctor.**

Fuente: <https://www.diccionario.geotecnia.online/palabra/curva-de-saturacion/>, artículo científico, Geotecnia, 2017.

Este tipo condiciones serían las idóneas para lograr en una obra y se suele corresponderse con un cierto grado de saturación, que se corresponde entre el 85 y el 90%.

La línea que se representa, tiende a poseer un grado de saturación del 100% es generalmente paralela a la línea de mayor humedad resultante del ensayo.

Si se llega a aumentar la energía de la compactación que se obtienen de las curvas similares, pero con ellas un incremento en la densidad máxima y menor humedad óptima tal y como se logra verse en el gráfico anterior (E1 y E2).

Pero, la densidad máxima de cierto grado de humedad, no llegara a ser nunca mayor que la correspondiente a, la de un tipo de suelo saturado, es decir, la curva de saturación que llegaría ser igual a 100, nunca llegara a ser superada por ninguna curva de compactación independientemente de la energía empleada.

## **5. Resistencia del suelo**

El comportamiento mecánico que tiene un suelo, es sin dudar el factor más importante, ya que los ensayos previos van en relación a conseguir una estabilización mecánica adecuada y de modo que, las tensiones se llegan a transmitir de forma uniformemente y todo ello progresivamente, ello trae que no se lleguen a producir asientos excesivos. Todo ello para lograr una caracterización, asimismo se usan procedimientos distintos a los de los ensayos, en este caso el más relevante al usar es el de la capacidad portante.

### **5.1 Capacidad Portante**

La capacidad portante de un suelo se llega a definir como la resistencia que posee un suelo de fundación, ante las cargas que se producen y con ello resistir dichas cargas, ello trae que no se produzcan asientos o deformaciones desmedidas.

El tipo de indicador usualmente más usado en la constitución de carreteras, por eso para establecer un indicador donde se determine un factor, se usa el índice del CBR que es el California Bearing Ratio, dicho estudio se realiza en un laboratorio para determinar su factor.

Dicho factor se elabora de manera estandarizada con los parámetros del MTC E 132, una vez realizado la clasificación mediante el sistema AASHTO y SUCS para saber el tipo de características del suelo, se realizará luego el estudio del perfil estratigráfico para la cantidad que se requiera, el cual determinara realizar la precisión del plan de os ensayos y concluir con la determinación del CBR, que, por norma, se indica que el porcentaje mínimo para que la densidad máxima seca , no sea inferior al 95% y todo ello a una penetración de 2.54 mm; una vez obtenido el valor del CBR del diseño, se realizara la clasificación de la subrasante y esta correspondería a una categoría, como se detalla a continuación:

**TABLA 1;;Clasificación de las subrasantes en función al porcentaje del CBR.**

| Categoría de Subrasante | CBR             |
|-------------------------|-----------------|
| Subrasante inadecuada   | CBR < 3%        |
| Subrasante pobre        | 3% ≤ CBR < 6%   |
| Subrasante regular      | 6% ≤ CBR < 10%  |
| Subrasante buena        | 10% ≤ CBR < 20% |
| Subrasante Muy buena    | 20% ≤ CBR < 30% |
| Subrasante excelente    | CBR ≥ 30%       |

Fuente: <https://www.tiposde.com/materia-organica.html>, artículo científico, Brand Newman, 1997

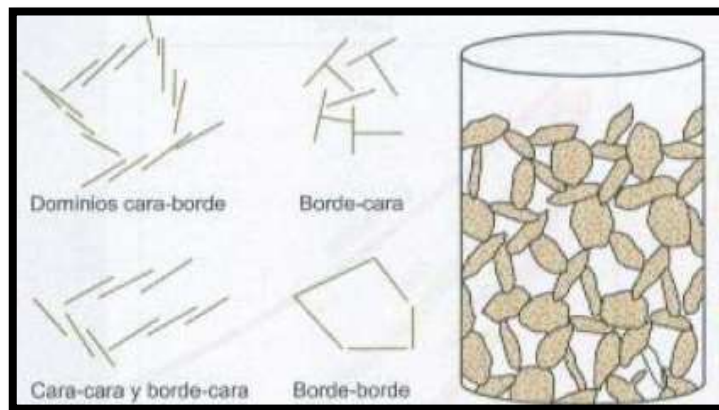
**e. Estructura de un suelo cohesivo**

Cruz (2015) estipula que, el suelo que posee una cohesión, ello da a conocer que la estructura que se forma, se da principalmente a las fuerzas iónicas actuantes entre las partículas del suelo.



El tamaño de las partículas de este tipo de suelos hace que las fuerzas interparticulares actuantes superen las fuerzas gravitatorias actuantes sobre cada partícula. Como peculiaridad este tipo de partículas se les denomina como coloide.

Una de las características que poseen las características, es que tienen una forma alargada es decir el largo es mayor que el ancho, asimismo el ancho es mucho mayor que el espesor, por ello estas tienen una forma de escamas o láminas, también con la forma cilíndrica o prismática.



**FIGURA 4. Estructura en láminas de arcilla.**

Fuente: [https://es.slideshare.net/marthyux/mecanica-de-suelos-i-eslage-17-18?from\\_action=save](https://es.slideshare.net/marthyux/mecanica-de-suelos-i-eslage-17-18?from_action=save), artículo científico, Flores 2015

**f. Capacidad de soporte de la subrasante en relación con el suelo cohesivo**

Gutiérrez (2007) define que, para constituir y saber la capacidad de soporte de los suelos corresponde a la utilización de ensayos que están sujetos a las recomendaciones dadas por el uso de las normas generales.

Para realizar la determinación del valor del CBR, se sigue los protocolos y recomendaciones de las referencias en el cual requieren de los resultados del ensayo del Proctor, todo ello para hallar el CBR en una determinada densidad.

Por ello, el requerimiento que se usa para determinar el tipo de estructura del pavimento en carreteras pavimentadas, requiere una demanda en la determinación para el valor del Módulo Resiliente.

Para ello una condición es que, el CBR del material que se encuentra en la capa superior, requiere que sea mayor que el de la subyacente. El espesor del pavimento que se ha obtenido mediante este procedimiento es tal que, llega a permitir un cierto número de repeticiones, con ello antes de que la estructura de este alcance un nivel de deformación y esto corresponda a una serviciabilidad baja. Por ello el método ha sido desarrollado para los caminos de bajo tránsito, esto significa que las repeticiones se den hasta 1'000,000 de ejes que equivalen a 18,000 libras.

Para realizar el diseño del pavimento en un bajo volumen de tránsito, se usará el “Manual Para El Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito – MTC (2014)”. Considerando que la capacidad de soporte en condiciones ciertas servicio, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, forman parte de las variables básicas para realizar el diseño del afirmado, que se empleara en la parte superficial.

Se pueden ubicar en el manual del MTC, todo esto para cinco categorías de subrasante:

- Subrasante del tipo 0: Posee una subrasante muy pobre con un CBR menor al 3%.
- Subrasante del tipo 1: Posee una subrasante muy pobre con un CBR de entre el 3% al 5%.
- Subrasante del tipo 2: Posee una subrasante media con un CBR de entre el 6 al 10%.

- Subrasante del tipo 3: Posee una subrasante media con un CBR de entre 11 al 19%.
- Subrasante del tipo 4: Posee una subrasante alta con un CBR mayor al 20%.

Existen muchos problemas que se presentan y es la profundidad adecuada en el cual se debe obtener el valor de soporte vinculado a un punto de evaluación esta puede ser una calicata, por ejemplo. Después es conveniente realizar la evaluación en la transmisión de esfuerzos de una masa de un suelo, que se basa en la teoría de Boussinesq y la elaboración del bulbo de presión para la determinación de las Isóbaras.

#### **g. Métodos de estabilización de suelos**

Los métodos de estabilización son las mejoras en las propiedades de las propiedades ya sean físicas, todo ello de un suelo que, por medio de procesos o métodos mecánicos, tiene a adicionarse insumos químicos, también naturales o sintéticos. Esto Suele realizarse en los suelos donde la capa de la subrasante llega a ser pobre.

Asimismo, el objetivo principal de la estabilización de un suelo, es aumentar la resistencia ya sea principalmente de forma mecánica, con ello logrando conseguir que las partículas lleguen a funcionar de manera más adaptivas a los estándares, ello significa que, consiguiendo que las partículas trabajen de una manera más efectiva y con esto asegurar las condiciones de humedad en las que, el suelo llegue a trabajar de manera más adecuada, por eso es necesario que se modifiquen dentro de los rangos minimizados, asimismo logrando una estabilidad optima, es decir alcanzando una estabilidad adecuada ante las cargas y una mínima variación volumétrica. Esto además origina un incremento exponencial en la durabilidad de dicha capa.

### **1. Métodos de estabilización de suelos**

#### **1.1 Métodos Físicos**

El método que se utilizara llega a usar una combinación de un material proveniente de un banco de material adecuado con la del suelo en in situ, con ello logrando producir cambios de manera física en dicho suelo primario o con problemas de estabilización.

Dicha combinación implica a que se requiere realizar una serie de ensayos, todo ello con el objetivo de realizar la evaluación y la mejora en las características de cada uno de los tipos de muestras de suelos con las que se desee combinar. Dicho método implica la extracción de una gran cantidad de material, pero solo ocurre a un nivel superficial un tanto elevado, por lo que no sería recomendable usarlo en usos de mayor profundidad, pero por lo general este método es usado comúnmente en casi todas las construcciones.

## **1.2 Métodos Mecánicos**

La compactación de suelos, viene a ser un proceso del tipo mecánico, con ello se busca lograr la mejora de las características, en este caso serian, la resistencia, el esfuerzo y la compresibilidad ya que este viene a ser el proceso mecánico; en este tipo de procesos artificiales y las partículas que llegan a componer el suelo. En este tipo de proceso artificial, las partículas que llegan a componer el suelo, ya que son obligadas a mantener una densidad, asimismo por medio de la reducción del índice de vacíos, esto se logra empleando recursos mecánicos.

## **1.3 Métodos Químicos**

La estabilización química se refiere a la modificación de ciertas propiedades en el suelo, logrando a través de la suma de sustancias químicas, estos pueden ser también de la clase cementantes.

Este tipo de método se basa en la instauración de un producto químico denominado estabilizador químico, llamado también estabilizador químico, dicha mezcla debe aplicarse de manera homogénea, logrando curar y realizando un tratamiento debido, ello se considera en las mismas especificaciones técnicas del producto.

El objetivo que persigue la aplicación de un estabilizador químico es de conferir al suelo tratado, en determinado espesor, ciertas propiedades destinadas a la mejora de sus propiedades de comportamiento en el período de construcción y/o de servicio.

Las principales sustancias químicas usadas como agentes estabilizadores

son:

- Cal.
- Cemento Portland.
- Productos asfálticos.
- Cloruro de sodio
- Cloruro de calcio.
- Escorias de fundición.
- Polímeros.

## **2. Métodos de estabilización más comunes**

### **2.1 Estabilización con Terrazyme**

Rollins (1998) establece que, las enzimas denominadas “Terrazyme”, que son un tipo de enzimas se llega a usar para lograr un aumento y estabilidad en los suelos.

Dicho producto está compuesto por un tipo de formula muy especial que está hecha a base de enzimas orgánicas, estas actúan como catalizadoras para llegar a incrementar la compactación y el

aglutinamiento de las diferentes partículas que se componen los suelos.

Además, es un tipo de formulación que es del tipo natural no tóxica a base de enzimas, estas tienden a alterar las características físicas y químicas del suelo, esto permite una mayor densidad para la compactación, asimismo incrementando la estabilidad del suelo todo esto por una unión que es más estrecha que las partículas de este.

Beneficios del Terrazyme:

- Aumentar la capacidad de la superficie de la autopista para soportar cantidades de tráfico pesado.
- Reducir enormemente los problemas comunes de la superficie de la autopista.
- Reducir costos de compra y transporte de materiales de construcción para el reacondicionamiento de la autopista utilizando materiales locales, trazando mejoras para la calidad de los suelos.
- Extender la vida útil de las superficies de las autopistas de asfalto y concreto estabilizando la subbase.
- Reducir los costos de construcción en un 20% a 40% a partir de la adición de materiales y transporte.

## **2.2 Estabilización con Cloruros**

Choque (2012) menciona que el cloruro es un tipo material higroscópico, es decir que posee la capacidad de conseguir la

humedad del aire, esto causa en ciertas ocasiones una elevada presencia de humedad realizando y formando la superficie y haciendo que sea jabonosa. En la consolidación y asimismo el mantenimiento de las distintas plataformas que se llegan a utilizar, en efecto se tiene dos tipos de cloruros:

- Cloruros en granos regulares (tipo 1) el cual contiene un mínimo de 77% de  $\text{CaCl}_2$  debiendo agregarle en una proporción de 10 a 15Kg / m<sup>3</sup>.

- Cloruros en hojuelas, pelotillas o diluido es de 5 a 10Kg / m<sup>3</sup>.

En la aplicación de esta se ha logrado encontrar un sustancial incremento, en cuanto a los pesos volumétricos llega a estar hasta en un 11%, todo ello en cuanto a la adición de 0.5 a 3% para el cloruro de calcio, todo esto según el tipo de suelo. Aunque también existen datos para que se puedan reportan ciertas disminuciones en el peso volumétrico, todo ello con respecto a un suelo arcilloso que no contenga el cloruro de calcio.

Asimismo, se sabe que el cloruro de calcio tiende a conservar la humedad en el suelo, pero desafortunadamente este tipo de sal es ampliamente limpia. Con ello se tiende a reducir la evaporación y asimismo es capaz de llegar a absorber hasta diez veces su propio peso cuando las condiciones de humedad llegan a ser relativamente altas en el medio ambiente, esto permite llegar a mantener dicha humedad en sus dos terceras partes, todo esto durante un día de calor seco, lo que hace de esta sal un producto muy eficaz cuando se trata de evitar la formación de polvo en terracerías, lo aceptable por el Cuerpo de Ingenieros para el caso de caminos con tránsito muy ligero.

## **h. Ventajas de suelos Estabilizados**

### **Ventajas Técnicas**

Entre las ventajas que se pueden mencionar, las siguientes:

- Llega a proporcionar una eficaz capacidad de soporte al suelo, incrementando la vida útil de un proyecto, que sobre esta se vaya a consolidar.
- También debido al tipo de estabilidad que llega a presentar el suelo, este llega a impedir que se realicen cambios volumétricos por retracción.
- Esto permite la utilización de los mismos suelos de sitio, mejorando sus características hasta el grado deseado.

### **Ventajas Técnicas**

Entre las ventajas se pueden mencionar:

La utilización de suelos del mismo sitio, evita el desalojo y el uso de material de préstamo, evitando gastos de transporte.

Efectuar la estabilización con la mezcla de suelos evita la contaminación que puede representar el uso de químicos.

Acortamiento de plazos de ejecución de la obra.

Debido a la estabilización del suelo de cimentación, se ahorra en el espesor de las otras capas del pavimento si es el caso de una obra vial.



## **i. Enzimas Orgánicas**

### **1. Enzimas.**

Ugaz (2006) define que las enzimas, que son un tipo de sustancias orgánicas especializadas, conformadas por varios polímeros de aminoácidos, dichos polímeros actúan como unos catalizadores, dichos catalizadores actúan como reguladores en la velocidad de varias reacciones químicas que están involucradas en el metabolismo de todo organismo vivo.

Asimismo, define que las enzimas están clasificadas en extensas categorías, ya sean: las hidrolíticas, oxidas y reductoras, todas ellas dependiendo del tipo de reacción que ellas optaran. Empezando por las enzimas hidrolíticas que optan por acelerar las reacciones, en lo cual, las sustancias son quebrada por dentro rápidamente, ello se da debido a los componentes a través de la reacción con las moléculas de agua. Las enzimas oxidas llegan a acelerar las reacciones de oxidación, la reducción de la velocidad sobre las reacciones de reducción en donde el oxígeno es sustraído. También existen otro tipo de enzimas que catalizan otro tipo de reacciones.

### **2. Extracción de Enzimas.**

Gallardo (2003) experimento, he hizo un proyecto de investigación para extraer la bromelina que es la enzima de la piña, para ello realizo un proceso experimental, dicho proceso fue el siguiente:

Para la extracción de la bromelina se necesita partir una piña que previamente este lavada y segmentadas en los siguientes componentes ya sea pulpa, cáscara y corazón. Dichas fracciones requerían ser molidas por separado en cualquier maquina mecánica mezcladora, el volumen resultante se multiplicó por 1,5, con ello se añadió el etanol. Las mezclas resultantes del extracto-etanol llegaron a ser distribuidas en tubos falcón de

50 mL y colocados a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 7 días, después, las muestras llegaron a ser centrifugadas en una velocidad de 8 500 rev/min durante 10 minutos.

El sobrenadante fue suprimido y las pastillas de cada una de las muestras que fueron recolectadas, resultando en un volumen final de 1 mL de la solución conocida como solución tampón Tris-HCl 50 m MpH 8.

Para lograr la cuantificación de las distintas proteínas se realizó el método común de Lowry, en la cual la sensibilidad es de aproximadamente de 1 a 2  $\mu\text{g}$ , en la cual se logró realizar de la siguiente manera: en 300  $\mu\text{L}$  de muestra se le adicionaron 300  $\mu\text{L}$  de una solución de hidróxido de sodio 2 y asimismo se colocó a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  aproximadamente durante 10 minutos.

Después se logró enfriar la mezcla a una temperatura adecuada y después se le adicionaron 3,000  $\mu\text{L}$  del reactivo para formar el complejo.

Asimismo, se logró dejar la reacción durante 10 minutos a una temperatura estándar, después se agregaron 300  $\mu\text{L}$  del reactivo de Folin 1N con ello mezclando por inversión y luego se dejó a una temperatura estándar aproximadamente por 40 minutos, luego se determinaron los valores de la absorbancia a 750 nm, utilizando una herramienta llamada espectrofotómetro UV-visible Agilent 8453, además se prepararon estándares con albúmina bovina a las distintas concentraciones para lograr elaborar una curva de calibración.

La actividad del tipo proteolítica fue considerada de acuerdo con el tipo de procedimiento denominado Arnon, esto con pequeñas modificaciones.

Este tipo de procedimiento consistió en realizar una mezcla de reacción que poseía: 200  $\mu\text{L}$  de cisteína 50 mM-20 m MEDTA pH 8; 700  $\mu\text{L}$  de solución tampón Tris-HCl 50 m MpH 8; 20 mg de concentrado de proteínas

precipitadas. Esta mezcla fue colocada a 37 °C por 5 min. Posteriormente se agregaron 1 000 µL de caseína a 1 % (m/v) como sustrato y la reacción fue puesta nuevamente a 37 °C durante 10 min. Para detener la reacción se adicionaron 3 000 µL de ácido tricloroacético (TCA) 5 % (m/v) y se dejó a 37 °C durante 30 min.

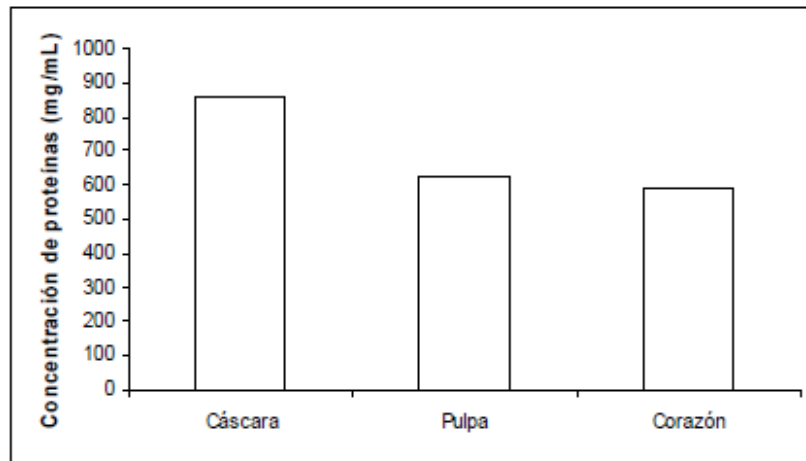
Finalmente, las muestras para la reacción fueron centrifugadas a 8 000 rev/min esto en un lapso de 10 min y el sobrenadante llegó a ser medido a 275 nm.

La lectura que se consiguió fue finalmente corregida por un blanco en el cual, el concentrado difuso final fue finalmente adicionado después de haber adicionado el TCA, la actividad principal que fue determinada por una cierta medición de la velocidad en la liberación de la tirosina, todo esto a partir de caseína como un tipo de sustrato; fue expresada en varias unidades enzimáticas, una unidad (U) es la cantidad de enzimas que catalizan la formación de una cantidad de aproximadamente 1 nmol de tirosina por minuto a 37 °C. La actividad específica se logró calcular como el cociente de la actividad enzimática entre la concentración de proteínas.

Dicho sea de paso, concluyo que:

El tipo de fraccionamiento del fruto llegó a permitir obtener muestras, las cuales fueron cáscara, pulpa y corazón.

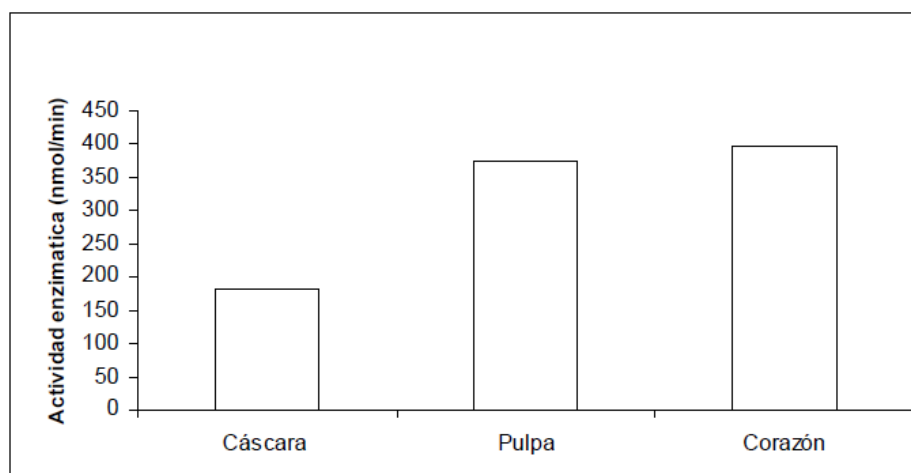
La siguiente figura llega a presentar el valor elevado de la proteína que se logró registrar para la cáscara (857,35 mg/mL) y con una diferencia significativa con respecto a las demás muestras; ya sean la pulpa (625,09 mg/mL) y el corazón (591,04 mg/mL).



**FIGURA 5. Valores de la concentración de enzimas de la bromelina.**

Fuente: <https://www.tiposde.com/materia-organica.html>, artículo científico, Brand Newman,1997

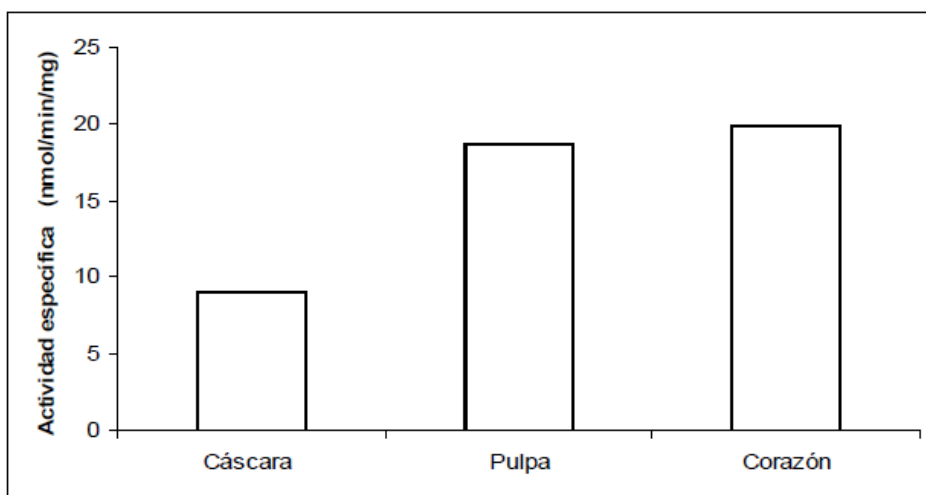
La siguiente figura muestra la actividad enzimática (nmol/min) de los extractos obtenidos a partir de las diferentes secciones de la piña, en la cual observamos que para corazón fue de 397,6642 nmol/ min, muy similar a pulpa (374,7928 nmol/min) y por arriba de cáscara, cuyo valor fue de 181,1357 nmol/min.



**FIGURA 6. Actividad enzimática de la bromelina.**

Fuente: <https://www.tiposde.com/materia-organica.html>, artículo científico, Brand Newman,1997

La siguiente figura indica que de manera similar la actividad específica (nmol/min/mg) fue mayor en corazón y pulpa teniendo valores de 19,8832 nmol/min/mg y 18,7396 nmol/min/mg respectivamente, seguida por la cáscara en la cual se obtuvo un valor de 9,0567 nmol/min/mg.



**FIGURA 7: Actividad específica de enzimas de la bromelina.**

Fuente: <https://www.tiposde.com/materia-organica.html>, artículo científico, Brand Newman,1997

Los resultados que se muestran es que en el corazón y en la pulpa se llega a encontrar una cantidad mayor de enzimas proteolíticas esto a diferencia de las mencionadas en la cáscara, pero en esta última al ser de un tipo de residuo agroindustrial esta puede llegar a ser muy utilizada en un menor costo de extracción, todo esto mediante técnicas del tipo bioquímicas como la cromatografía de intercambio catiónico y poder aplicarla en diversos procesos.

### 3. Material Orgánico.

Brady (1984) define que, la materia del tipo orgánica aplicada en los suelos llegan ser el producto de la descomposición química de los residuos de las plantas o también de la degradación de cualquiera de ellos tras su muerte.

Por lo general, la materia orgánica se constituye en ciertos tipos compuestos, existen dos tipos los cuales son húmicos y no húmicos. En los segundos existe aún la composición química e incluso el tipo de estructura física en los tejidos, ya sean vegetales o animales.

Los organismos que se encuentran por lo general en el suelo, otorgan una descomposición de este tipo de sustancias orgánicas, con ellas dejando totalmente los residuos que son difícilmente atacables, un ejemplo de ello son algunos aceites, grasas, ceras y ligninas procedentes de las plantas primigenias superiores. El resto son transformados de manera total por parte de los microorganismos, con ello reteniendo una parte ya sean componentes propios.

El producto resultante de la transformación, da como lugar a una mezcla compleja compuesta por sustancias coloidales y amorfas, que tienen color característico ya sea negro o marrón oscuro denominado genéricamente como “humus”.

Ángel Peach (2012) define que, los materiales orgánicos pueden sintetizarse artificialmente en laboratorios o fábricas.

Los materiales ecológicos deben cumplir lo siguientes:

- Aislamiento acústico y térmico.
- Resistencia.
- Rapidez en la ejecución de obra.



**FIGURA 8: Clasificación de materiales orgánicos.**

Fuente: <https://www.tiposde.com/materia-organica.html>, artículo científico, Brand Newman,1997

#### 4. Características del Henequén en el Caserío de Juipon.

En el distrito de pueblo libre es muy común encontrar los siguientes materiales orgánicos, un ejemplo de ello es el Henequén:

Henequén: Se llega a caracterizar por ser un tipo de planta muy resistente a las plagas o a la sequía, sus hojas llegan a crecer desde la terracería, usualmente son gruesas y gigantes, ya que poseen un color de color verde grisáceos, con un tipo de borde espinoso, asimismo son muy puntiagudos, además de contar con espinas que llegan a medir aproximadamente 2 cm. Todas las hojas del henequén llegan a finalizar en el vértice, estas tienden a tener una aguja fina que posee una longitud de 5 cm. Asimismo el henequén llegan a tirar una flor en toda su vida útil, en un tallo de unos 8 a 10 metros. El periodo de crecimiento de estas de aproximadamente de ocho a quince años, sin embargo, estas pueden llegar a vivir hasta los veinte cinco años, de los cuales veinte llegan a representar el ciclo de producción

de la planta. El tipo clima donde se llega a cultivar tiende a ser cálido y seco.

La producción del henequén por lo general es mucha debido a ser una planta resistente a sequías y resistente, no necesita de un cuidado especial. La utilidad que el henequén posee es muy amplia, ya que, en el sector industrial es el que llega a beneficiarse de esta.

Se logro presentar la evidencia en cuanto a la obtención del jarabe, todo esto a partir de la planta denominada henequén y asimismo de algunas de las características de la composición.

También se llegó a utilizar piñas de henequén de entre quince a dieciocho que se llegaron a cocer aproximadamente cuatro horas a una presión media de 1.0 kg cm<sup>2</sup>, las que después se llegaron a moler para extraer los jugos que después estos, se llegaron a concentrar para que posteriormente se llegue a conseguir el jarabe.

Los resultados que se obtuvieron fueron que este jarabe contiene un 85.7 %de fructosa y 13.7 % de glucosa, 3623 µg g<sup>-1</sup>de calcio (Ca), 470 µg g<sup>-1</sup>de magnesio (Mg), 665 µg g<sup>-1</sup>de potasio (K), 99 µg g<sup>-1</sup>de zinc (Zn), 36 µg g<sup>-1</sup>de hierro (Fe), 24 µg g<sup>-1</sup>de aluminio (Al), 8 µg g<sup>-1</sup>de cobre (Cu), 2 µg g<sup>-1</sup>de manganeso (Mn) y 1 µg g<sup>-1</sup>de cromo (Cr). No se detectó arsénico (As), plomo (Pb) ni cadmio (Cd). Por cantidad elevada de fructosa, esta contenía: Ca, Mg y K; además el jarabe de la planta denominada henequén puede llegar incorporarse en la dieta humana. Este producto nuevo puede establecer un nuevo valor agregado a este tipo planta y favorecer su preservación.





**FIGURA 9: Planta de henequén.**

Fuente: [El autor, Juipon, 2019.](#)

##### **5. Función de las enzimas en la estabilización de suelos.**

La acción de catalizar que poseen las enzimas logra incrementar gradualmente el proceso de humectación y esto llega a provocar una acción del tipo aglutinante que existen sobre los materiales cohesivos, con ello reduciendo la relación existente de vacíos, asimismo esto ayuda a que las partículas del terreno, para que estas puedan ser mayormente densas y compactas.

La acción de cohesión que tiene este tipo de proceso, llega a provocar una elevada actividad del tipo cementante, con ella formando finalmente un material más consolidado y permanente; esto a diferencia de los demás aditivos que se basan en compuestos del tipo inorgánicos y algunos derivados ya sean del petróleo, los cuales llegan a mantener densos a los materiales, con ello temporalmente al ser aplicados, por ello los aditivos que están hechos a base de enzimas orgánicas, llegan a provocar una fusión o combinación de las partículas orgánicas del suelo, con ella creando una base densa y totalmente estable, dicha fusión mejora la impermeabilización, así como la acción inesperada del clima, provocando ello la erosión en el suelo y también el desgaste de la vía por el uso constante del camino.

El efecto que tienen las enzimas orgánicas sobre el agua, es la de abatir la tensión superficial de esta, con ello se logra la fácil penetración y dispersión del material a usar, asimismo causa una total hidratación en las partículas plásticas, las cuales son comprimidas dentro de los espacios vacíos durante el proceso de compactación.

Por ello con el resultado de la acción aglutinante, que provocara que el aditivo multi enzimático sobre los materiales tenga un efecto de mejora en el proceso de compactación, la relación de vacíos se reduce de tal forma que la capa constituida llega a presentar en la mayoría de casos un tipo de textura muy cerrada, dicho suelo llega a ser impermeabilizable.

Por ello Las enzimas orgánicas de Henequén actúan como una surfactante es decir una sustancia que se logra activar en la superficie, ella cambia la naturaleza del tipo hidrófila de materiales como cal y la arcilla a hidrófoba.

La adición del aditivo a base de enzimas, expulsa de manera permanentemente la humedad capturada en los suelos que contienen arcilla y en menor grado cal, con ello se promueve la lubricación de las partículas del suelo, esto logra incrementar la solidificación de todos los suelos desde el tipo A2 hasta el tipo A7, todo ellos para la clasificación AASHTO.

Las enzimas orgánicas fueron creadas para ayudar específicamente en la construcción de carreteras. Este tipo de método permite el uso de materiales de calidad inferior, removiendo el agua absorbida en estos materiales.

## **6. Metodología para la aplicación del aditivo.**

Se recomienda realizar la aplicación del aditivo enzimático, sobre la terracería en un estado muy natural, ya que se llegará a incrementar de una

manera increíble, asimismo las características en cuanto a la estabilidad y a la compactación del mismo.

Sin embargo, ya que estas enzimas actúan sobre las partículas finas plásticas (limos y arcillas), estas tratarían de lograr las condiciones granulométricas hasta donde sea posible, esto se da ya que las enzimas mejoran el suelo cohesivo hasta cierto grado, pero es recomendable usar métodos mecánicos para que la estabilización sea consistente.

Por ello es recalcar que el terreno al que se va a estabilizar, llegue a contar con un porcentaje mínimo del 20%, para las partículas ya sean cohesivas, ya que, el efecto que tienen las enzimas sobre los insumos cohesivos que permite una acción aglutinante.

Después de haber logrado verificar las propiedades físicas del suelo, todas ellas por medio del análisis de laboratorio, se procede a realizar la aplicación del aditivo en la siguiente forma.

### **Etapas N°-1**

Se recomienda escarbar el terreno a estabilizar a una profundidad de 15 a 18 centímetros aproximadamente y agregar el material para realizar la disgregación y con ello homogeneizarlo.

### **Etapas N°-2**

Luego se añade 1 galón del aditivo enzimático por cada 100 metros cúbicos de material compactado y también adicionar el agua necesaria para obtener la humedad óptima adecuada.

Después se agrega la solución sobre el material, todo ello lo más homogéneo posible y si claro luego de aplicar el aditivo es necesario aumentar más humedad, solo se puede aplicar agua sin necesidad de este.

Si en el caso de que el material tuviera más humedad de la requerida, se procederá a realizar surcos en el material para realizar el proceso de secado hasta lograr la humedad requerida.

### **Etapas N°-3**

Por cada 100 m<sup>3</sup> de material para la carretera, se debe adicionar 1 galón de aditivo a la cantidad de agua que se requiere para lograr obtener la humedad óptima o su equivalente, utilizando un recipiente de 20 galones aproximadamente que rinde para 660 metros cúbicos, cubriendo 1 100 metros de largo, 4 metros de ancho y 15 centímetros de espesor, el aditivo enzimático tendrá que ser mezclado homogéneamente en un camión cisterna, todo ello previo a su aplicación sobre la ruta donde se trabajara.

Después mezcle el aditivo enzimático a base de Henequén con una motoniveladora, todo ello trabajando el terreno y el agregado de manera de que la maquinaria vaya hacia un sentido y vuelva hacia el otro, de tal forma que el terreno llegue a ser homogéneo. En el caso de que el material llegue a estar saturado, se recomienda pasar la motoniveladora en seco y si llega a estar muy seca se debe de agregar el agua sin el aditivo, para llegar a la humedad óptima.

Una vez mezclado, se requiere esparcir el material que se gradué. El material puede llegar a reposar durante las noches, por lo general en forma de hileras para que absorba y logre alcanzar la humedad óptima y esto dará un resultado de mayor compactación con menos esfuerzo.

#### **Etapa N°-4**

Después de realizar la homogeneización el terreno, este se llega tender y compactar, todo ello empleando para esto el equipo especificado según el terreno en el que se esté trabajando, por ello si no se cuenta con el equipo adecuado, de todas formas, el aditivo multienzimático reaccionará, dejando una compactación con resultados aceptables y con menos trabajo del que regularmente se requiere.

En el posible caso de que el agregado sea necesario agregarlo al terreno, se considerara un tipo de material distinto, ya es imprescindible, esto se debe a que la cantidad de partículas finas sobrepasan el permitido, es necesario revisar la gradación total del material para que se asegure y que se encuentre dentro de los límites requeridos, de acuerdo a las especificaciones del proyecto, asimismo es necesario considerar la carga de diseño.

#### **Etapa N°-5**

Luego es necesario extender y realizar un coronamiento, en la superficie con la motoniveladora, en el caso de que el material llegue a secarse por la presencia de energía solar, se requerido agregar nuevamente una cantidad mínima del aditivo, después se realizar la compactación debida, esto se da para eliminar los vacíos mínimos existentes y evitar rajaduras diminutas.

Una vez logrado dicho proceso, se debe esperar 72 horas para la utilización la vía, el plazo de 72 horas es para ver cómo se comporta las capas y por consiguiente para que se pueda utilizar la carretera también agregar una capa ya sea asfáltica o de concreto armado.

### **7. Especificaciones para la aplicación del aditivo en el suelo cohesivo**

El aditivo llega a actuar directamente sobre las partículas finas que son de origen arcilloso plástico que pasan por la malla n° 200, por lo que, se llega a requerir de un mínimo del 20% y un máximo del 40% de estas, considerando que los demás materiales presentes se pueden clasificar como bien graduados. Pero es importante señalar que se ha efectuado aplicaciones del aditivo enzimático a volúmenes de finos que están por encima de los límites, donde la norma recomienda para que den buenos resultados.

En el posible caso de que el terreno natural esté presente una gran cantidad de partículas finas plásticas o en algunos casos de que incluso por recomendación técnica requiera ser suprimido y reemplazado por el material de banco, el aditivo llegaría a ser la solución, ya que en el primer caso se requerirá únicamente que se adicione material del banco que es del tipo granular.

Por lo que cuando sea necesario realizar un reemplazo en el material natural, este podrá combinarse el material de reemplazo, en una cantidad adecuada, todo ello para cumplir con las especificaciones que se necesite, con ello ahorrando estos movimientos de tierra natural y reduciendo sustancialmente el número de acarreos y así logrando construir un camino estable y homogéneo.

Sin embargo cuando existen terracerías que se encuentran construidas, a las cuales se les ha instaurado ciertos revestimientos del material granular de banco, que, con el tiempo ha sido contaminado por las arcillas del terreno original, por eso se recomienda constatar que las partículas arcillosas, lleguen a serlo suficiente estables, como para cumplir con las especificaciones del aditivo y entonces, se deberá realizar únicamente

excavar el terreno al espesor requerido y por eso necesitará de muy poco o casi ningún mantenimiento.

El aditivo es recomendado usarlo en terrenos del tipo arcillosos y sin realizar cambios mecánicos, siempre y cuando tenga un mínimo del 20 por ciento de material fino arcilloso; sin embargo, se deberá encontrar el mejoramiento de las condiciones granulométricas, todo ello hasta donde sea económicamente posible, ya que es obvio que, mientras se mejore características que tenga el terreno, se obtendrán mejores resultados.

Con base en lo mencionado previamente es importante respetar las especificaciones de construcción en lo referente al material de gran tamaño, por ello es necesario seleccionar adecuadamente, todo ello para evitar que afecte la estabilidad de la carretera, en especial cuando este se encuentre en la capa de rodamiento.

En resumen, temeos que, en los procesos de construcción, en los cuales se lleguen a requerir el uso de agregados, el aditivo será un tipo de sustancia que ayudara de manera complementaria, ya que al utilizarlo se podrán usar materiales más económicos, disminuirse la cantidad de estos e incluso hasta evitarse, dando como resultados ahorros muy importantes como en el flete.

#### **8. Dosificación recomendada para la adición del aditivo y la humedad requerida.**

Para ello el aditivo se llegará a dosificar en razón de un litro todo ello por cada 100 metros cúbicos de material compactado, todo ello mezclándolo con el agua requerida para que se pueda obtener la humedad óptima deseada, para compactarla.

Dicha dosificación estará calculada todo ello para llevar la acción del tipo catalítica aglutinadora, con las arcillas presentes, con ello considerando que, se obtiene un porcentaje mínimo del 20 para este material arcilloso, por lo que, esta se tendrá a cabo en forma absoluta un período que se aproxima en 72 horas, durante las cuales no se necesitara de un tipo de cuidado metódico, ya que la reacción se llevará a cabo independientemente de haber sido aperturada para el tránsito del tramo al culminar el trabajo de compactación.

Comúnmente, el equipo necesario para aplicar la humedad óptima deseada estará acorde al tipo de terreno en el que se está trabajando, por lo cual la aplicación del aditivo siempre se podrá llevar a cabo, específicamente es importante recalcar que la aplicación deberá ser lo más homogénea posible.

Las propiedades del agua combinada con el aditivo, llegara a permitir que el humedecimiento del material llegue a ser más rápido y eficiente, ya que este aumenta la penetración, con ello, obteniendo una reducción en las perdidas mediante la evaporación, pero, asimismo se logra que las condiciones necesarias en la humedad para llegar a compactar se consigan con una menor cantidad de agua y es la mezcla de estos 2 beneficios, por lo que da como resultado ahorros en el proyecto.

Con relación a las definiciones previas y con ello considerando que, el usar el aditivo de Henequén siempre se lograra ejecutar sobre los materiales arcillosos, para ello se recomienda calcular la cantidad de agua necesaria para la compactación, ello implica un porcentaje mínimo del 20% debajo de lo que normalmente se necesita para el tipo de material que se esté usando, todo ello de acuerdo a los porcentajes de humedad señalados por el laboratorio donde se realizaran las evaluaciones.



Asimismo se recomienda nuevamente, que la dosificación del aditivo de henequén, se realiza con respecto al volumen de material a usar, mas no en relación al agua, ya que está es sólo el medio donde aplicarlo, en el caso que, después de agregar la el aditivo más el agua, esta necesitara más humedad, por ello se deberá aplicar el agua sin el aditivo, pero por el contrario, se hubiera obtenido una humedad que está por encima de la óptima recomendada y solo deberá orearse el material hasta obtener la humedad optima, después tenderlo para proceder a compactar.

El aditivo de Henequén podrá ser aplicado con cualquier cantidad de agua, esto se debe a que el medio para aplicarlo es el agua. Asimismo, Se puede tomar como ejemplo casos especiales donde se usará mayor comprensión al respecto; en los casos en el que el terreno presenta un déficit en cuanto a la humedad y en los cuales se requiere agregar un gran volumen de agua.

En el caso de encontrar terrenos que tienden a presentar una humedad my cercana a la óptima o cuando superan esta, es recomendable disminuirla lo más posible para que se pueda aplicar el aditivo de manera más fácil.

Esta es la razón por la cual se recomienda aplicar el agua en un menor volumen, como métodos se podrían usar maquinarias como aspersores o bacheadoras, ya que en esta situación es imprescindible incorporar el aditivo en forma de bandeo, ya que el material debe de estar lo suficientemente incorporado en el aditivo.

En relación a la dosificación de agua que se necesite para incorporar el aditivo, no está necesario que el agua este potabilizada, pero si en un margen de pulcridad estándar, asimismo es importante verificar constantemente que los porcentajes de humedad estén óptimos y con ello se establezca el agua necesaria para mezclarlo con el aditivo.

Es recomendable agregar el aditivo previamente combinado con el agua en capas con espesores reducidos, con el material tendido, esto, con la finalidad de lograr una adecuada distribución y luego combinar el material ha Se recomienda aplicar el aditivo mezclado con el agua esta lograr una fusión optima.

## **9. Ventajas en la aplicación y uso del aditivo enzimático**

El método usualmente empleado para el mantenimiento vial, implica mayor empleo de maquinaria, así como el acarreo del material desde puntos alejados al lugar de trabajo, retrasando con ello el cronograma de ejecución de obra.

### **Beneficios de usar el aditivo:**

Es fácil de usar ya que no requiere de ninguna maquinaria e indumentaria para usarlo, únicamente se agrega 1 litro por cada 30 metros cúbicos de material, esta dosificación es la más óptima para usarla, asimismo no llega a modificar la forma de los procesos tradicionales.

También reduce los costos de mantenimiento ya sea carreteras y terracerías de forma existente, ya que pueden ser tratadas con el aditivo, ello requeriría un costo de mantenimiento menor.

Asimismo, vita usar agregados que llegan a ser costosos, ya que los ejecutores de vías o carreteras podrían usarlo de manera rápida y menos costosa, en este caso como se mencionó sin usar agregados, tan solo es necesario mezclar el aditivo con la superficie, específicamente en la base y si es posible en la subrasante; todo ello aplicándolo en terrenos cohesivos.

Se puede usar de forma diversa en cualquier región que cuente con cualquier tipo de clima seco y cálido, pero la demografía del Perú posee un clima cálido y seco.

Permite una reducción de gastos en cuanto a la compactación, esto al aplicar el aditivo de Henequén, que incrementa la lubricación en las partículas, por lo que se llega a alcanzar menos esfuerzos en cuanto a la compactación del terreno.

Se obtiene un aumento en cuanto al valor de soporte relativo del suelo, la acción de las enzimas en cuanto al aglutinamiento del aditivo del tipo multienzimático, asimismo incrementa las características del terreno, como la densidad que esta obtienen al combinar el aditivo con el suelo, lo cual llega a reducir la tendencia de expansión de los materiales, todo ello después de la compactación.

Ello también llega a aumentar la impermeabilización de las bases y subrasantes, esto se debe a la fuerte unión de las partículas plásticas del material que esta compactado, todo ello adicionándolo con las enzimas de henequén.

Asimismo, llega a mejorar el proceso de humectación, que agota la tensión superficial del agua, esto provoca una mejor penetración y con ello realiza la dispersión de la humedad, esto hace que las partículas plásticas lleguen a ser aglutinadas dentro de los espacios, ello formaría un denso y permanente estrato.

Usar el aditivo implica usar menos cantidad de agua, esta cantidad se reduce hasta en un 25 % la cantidad de agua necesaria, todo ello para alcanzar las condiciones de compactación, todo ello al mejorar la humectación y reducir la evaporación en la superficie.

## **10. Tiempo para que se disponga la aplicación del aditivo**

La dosificación que se recomienda y la que mejor da resultados es la de agregar un litro del aditivo de Henequén por cada 30 metros cúbicos de material, ya que permite que permite la acción de aglutinación que posee el producto enzimático, esto también depende la cantidad de arcillas presentes en dicho terreno, ya que el porcentaje mínimo para ello, no debería exceder al 20%, asimismo la consolidación de las enzimas con el terreno es de 72 horas en promedio, todo ello dependiendo las condiciones climatológicas.

En el caso de que el aditivo entrase en contacto con el terreno y este al mismo tiempo no tenga un tratamiento de compactación debido, pues habrá un problema con el terreno con el aditivo puesto, ya que ocasionaría que el proceso de catalización se consolidara, ocasionando que el terreno se endurezca, por lo que no se podrá manejar adecuadamente, esto podría repercutir en mayores gastos ya que tendrían que realizar un cambio de material.

En situaciones como esta se deberá crear una mezcla del aditivo de Henequén, todo esto en relación de 1 en 10000 es decir un litro por cada 10 mil litros de agua, todo ello para aplicarse en el material endurecido, esto lograra que la enzima que se encuentre mezclada con el suelo se llegue a reactivar, esto haría que se pueda manejar de manera casi absoluta el material.

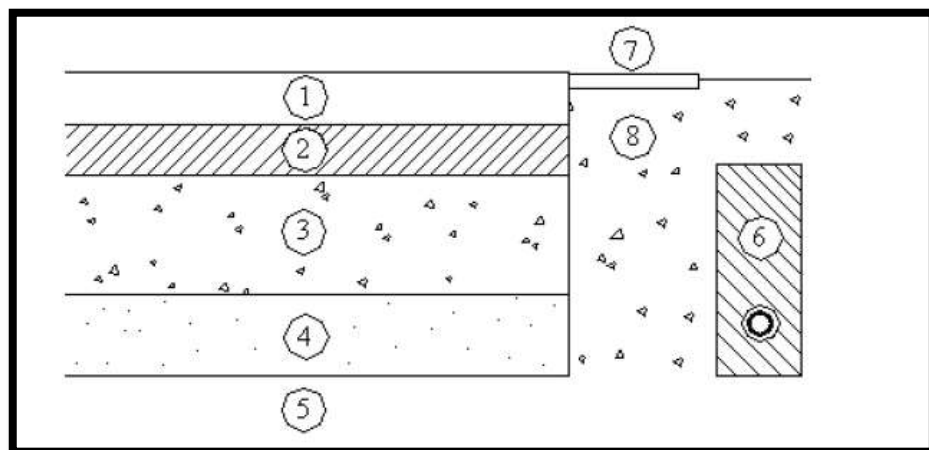
### **j. Pavimentos**

Diaz (2004) define que el pavimento es un tipo de estructura, que es asentada o construida sobre una fundación apropiada, en el cual tiene por objetivo proporcionar una superficie de rodamiento, que pueda permitir el tráfico seguro y la confortabilidad vehicular, esto a velocidades operacionales deseadas y bajo

cualquier condición climática. Existe una gran diversidad de tipos de pavimento, dependiendo del tipo de vehículos que transitaran y del volumen de tráfico.

### 1. Componentes de un pavimento.

Diaz (2004) menciona también los destinos componentes básicos de un pavimento del tipo asfáltico. Se puede tener en cuenta que la estructura de un pavimento, llega a estar formada por una estructura que está por encima de una fundación, esta última se debe a que el resultado del tipo estudio del tipo geotécnico sea el adecuado. En los pavimentos que admiten una demanda de vehículos, la estructura llega a estar constituida por la capa del revestimiento y asimismo la capa base; la fundación llega a estar formada por las distintas capas de la subbase y de un suelo compactado.



**FIGURA 10: Sección típica de un pavimento.**

Fuente: [Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Ingeniería de Pavimentos, Brasil, 2000.](#)

1. La Capa de la Rodadura (5). En este caso es la Subrasante
2. La Capa de la Base 6. En este caso es el Sub-drenaje longitudinal
3. La Capa de la Sub-base 7. En este caso es el revestimiento de las Hombreras

#### 4. El Suelo ya Compactado 8. En este caso la Sub-base de las Hombreras

La capa de rodadura o revestimiento asfáltico tiene las siguientes funciones:

- Impermeabilizar el pavimento, para que las capas subyacentes puedan mantener su capacidad de soporte.
- Proveer una superficie resistente al deslizamiento, incluso en una pista húmeda.
- Reducir las tensiones verticales que la carga por eje ejerce sobre la capa base, para poder controlar la acumulación de deformaciones plásticas en dicha capa.

La capa base tiene las siguientes funciones:

- Minimizar las diferentes tensiones que son verticales, en las cargas por eje que llegan a ejercer sobre las diséntías capas de la subbase y suelo natural.
- Minimizar las deformaciones de la tracción que las diferentes cargas estipuladas por ejes, llegan a ejercer sobre la capa del revestimiento asfáltico.
- Permitir el drenaje del agua que se infiltra en el pavimento, a través de drenajes laterales longitudinales.

La capa de la subbase está formada mediante un material que posee un CBR elevado a comparación del suelo ya compactado y esta se utiliza para que se pueda permitir la disminución del espesor de la capa base.

## **2. Tipos de pavimentos.**

Diaz (2004) menciona que hay 3 tipos de pavimentos:

Pavimentos flexibles: Son aquellos pavimentos que poseen un tipo de revestimiento asfáltico sobre la capa constituida en forma granular. La distribución de varias tensiones y muchas deformaciones que son generadas en la estructura por las distintas cargas que presentan las ruedas de los vehículos se da de tal forma que, las capas del revestimiento y la base, lleguen a absorber las distintas tensiones que son verticales en cuanto a la compresión del suelo de fundación, esta se da por medio de la absorción de tensiones del tipo cizallantes.

En este tipo de proceso llegan a ocurrir varias tensiones de deformación y de tracción en la fibra inferior del revestimiento asfáltico, que provocará su fisuración por medio de la fatiga, esto se da por la repetición de las cargas del tráfico. Asimismo la repetición de las diferentes tensiones y deformaciones que son verticales en cuanto a la compresión, ya que estas que actúan en todas las diferentes capas del pavimento, estas producirán la formación de varios hundimiento en toda la en la trilla de la rueda, cuando el tráfico tienda a estar canalizado y además que la ondulación ya sea longitudinal en la superficie, también cuando la heterogeneidad del pavimento llegue a ser significativa.



**FIGURA 11: Pavimento flexible.**

Fuente: <https://www.civilexcel.com/2012/02/diseno-de-pavimento-flexible-aashto.html>, Mecánica de suelos, Juárez Badillo, 1997.

Pavimentos rígidos: Son aquellos pavimentos los cuales están hechos por concreto, es el principal componente ya sea estructural, que llega a aliviar las tensiones en las distintas capas existentes por medio de su enorme resistencia a la flexión, cuando estas generan tensiones y/o deformaciones que producen una tracción debajo la losa, esta tiende a fisurarse, resultado de la fatiga, después de cierto número de repeticiones de carga. La capa transmite inmediatamente las cargas provenientes de las losas.

Denominadas también como la subbase, esta puede ser constituida por varios materiales cuya capacidad de soporte relativo del suelo sea menor a la requerida por los distintos materiales de la capa base de los pavimentos flexibles.





**FIGURA 12. Pavimento rígido.**

Fuente: <http://pavimentosingunimeta.blogspot.com/p/pavimento-rigido-esta-sostenido-sobre.html>, Mecánica de suelos, Juárez Badillo, 1997.

Pavimentos semirígido: Un pavimento semi rígido ó compuesto es aquel pavimento en el que se llegan a combinar varios tipos de pavimentos totalmente diferentes, es decir, pavimentos que son “flexibles” y que son pavimentos “rígidos”, usualmente la capa rígida llega a estar por debajo y la capa flexible llega a estar por encima. Es común que un pavimento este compuesto por una capa de base constituida por concreto, todo esto junto con la superficie de rodadura del concreto asfáltico.

La estabilidad de suelos que, por medio de los materiales ligantes hidráulicos, llegan a permitir para que se llegue a obtener los materiales con la capacidad de soporte relativo lo suficiente como para lograr construir las capas para la base de los pavimentos sujetos a cargas pesadas como ser camiones o aeronaves.

### **3. Clasificación de pavimentos.**

Es el emparejamiento de los diferentes tipos de suelos, en varios grupos que tienen las propiedades parecidas. El propósito de este emparejamiento

es la de facilitar las actitudes de un suelo por compactación, con otros de la misma familia, cuyas propiedades se conocen.

Los sistemas de la clasificación para los suelos llegan a estar divididos en dos amplios sistemas conocidos como AASHTO y SUCS, estos refiriéndose al primer sistema para suelos cuyos valores de uso están referidos a la construcción de carreteras y el segundo referido usualmente a suelos de cimentación.

Suelos granulares: tienen 35% o menos del material fino que paso por el tamiz N.º 200.

Suelos finos: Son aquellos suelos limosos - arcillosos que llegan a contener más del 35% de partículas que llegan a pasar por el tamiz N.º 200.

La evaluación de los suelos que se encuentran dentro de cada grupo se hace mediante del índice de grupo:

$$IG = (F - 35) (0.2 + 0.005 (LL - 40)) + 0.01 (F - 15) (IP - 10)$$

Donde:

**IG:** índice de grupo.

**F:** % del suelo que pasa por el tamiz Nº 200 expresado en enteros.

**LL:** limite líquido.

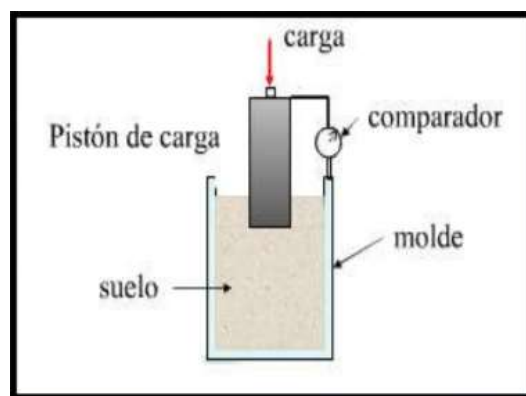
**IP:** índice de plasticidad.

#### **4. Ensayo de valor de soporte California.**

Este tipo de método se basa en parámetros de los materiales, este fue creado en el año 1929. El CBR o también conocido como soporte relativo del suelo llega a ser la carga unitaria correspondiente a 0.1” ó 0.2” de penetración, esta esta expresada en porcentajes con su respectivo valor estándar.

También mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada.

Este ensayo permite obtener un cierto número en cuanto a la relación de soporte relativo del suelo, que llega a no ser constante para un suelo ya establecido, sino que este se llega a aplicar solo al estado en el que se encontraba el suelo durante el ensayo.



**FIGURA 13. Ensayo del valor de soporte californiana**

Fuente:

[https://es.slideshare.net/geral24/subrasante?from\\_action=save,](https://es.slideshare.net/geral24/subrasante?from_action=save)  
[artículo científico, universidad gran mariscal de Ayacucho, 2011](#)

El experimento de los distintos suelos ya sean gravosos y/o arenosos se llega a realizar inmediatamente, pero en suelos cohesivos se llega a ser poco o casi nada de plásticos, además los suelos cohesivos plásticos se realizan mediante un proceso de expansión que se efectuará con agua en un lapso de 4 días para que la saturación sea más desfavorable y la medida de expansión se requiera realizar cada 24 horas.

## **1.2. Justificación de la investigación**

### **1.2.1. Realidad Problemática**

Con la estabilización, se otorgaría una solución técnica y económica al problema de la compactación de la subrasante, de la carretera no pavimentada que se da en el desvío de juipon-tinco, km 41, ya que dicha mejora se realizaría en una longitud de 1km con un ancho de vía promedio de 5.2 ml.

### **1.2.2. Justificación de la investigación**

La justificación de dicho trabajo se justificará en los distintos campos:

En el ámbito científico, la investigación aportara de manera exponencial en el ámbito de la estabilización (nuevos métodos), ya que, los métodos de estabilización química constan en la adición de aditivos, como el de este proyecto, dicho esto, los métodos nuevos que se están instaurando son experimental, por lo que, si resulta ser factible, este nuevo método sería más practico en cuanto a la estabilización de carreteras y en beneficio de proyectos que tienden a ser muy alejados de bancos apropiados de materiales estabilizantes.

En lo social dicho trabajo de investigación beneficiará a la población para tener un acceso a la vía que permitirá un avance entre comunidades como la comunicación y el transporte más fluido.

En lo económico dicho proyecto de investigación tendrá beneficios en el costo de materiales estabilizadores caros por el tema del flete, para ello dicho proyecto se basa en mejorar los suelos cohesivos con materiales de la zona que actúan como un estabilizante evitando costos mayores.

En lo legal dicho proyecto se basará en cumplir las normas estándares según la Asociación Americana de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte (AASHTO) y el reglamento nacional de edificaciones basándome en la norma técnica CE050 de suelos y cimentaciones (R.N.E).

### 1.3. Problema

¿Cuál es el efecto de adicionar enzimas orgánicas de henequén en la estabilización de suelos cohesivos en subrasantes en el caserío de Juipon, distrito de pueblo libre?

### 1.4. Conceptuación y operacionalización de las variables

**TABLA 2;; Matriz de Operacionalización de variables**

| Variable(s)  | Definición conceptual  | Definición operacional   | Dimensiones | Indicadores   |
|--|--|--|-------------|---|
| V.I:<br>Enzimas orgánicas de Henequén.                   | Enzimas provenientes de la planta denominada Henequén, posee propiedades de adhesión muy elevadas. (Melendez,2003) | La variable V.I se va a medir en función de los indicadores de las dimensiones Química y física.<br><br>Se realizará el porcentaje de adición a la muestra patrón n porcentajes de 20 y 30 %, con ello también se determinará la adhesión que tiene el aditivo con el suelo cohesivo, ello implica saber la densidad que posee el suelo con el aditivo impuesto. | Química     | Contenido de carbohidratos                                  |
|  |  |  |             | Contenido de calcio   |
|  |  |  |             | Contenido de hierro   |
|  |  |  | Física      | Adhesión  |
|  |  |  |             | Tensión superficial   |
| Densidad   |  |  |             |   |
| V.D:<br>Estabilización de suelos cohesivos en pavimentos | Define que son aquellos suelos que tienen una cantidad de arcillas muy elevadas, es decir                          | El La variable V.I se va a medir en función de los indicadores de las dimensiones físicas, químicas.   | Química     | Reacción de la capilaridad                                  |
|  |  |  |             | Estado de conformación de las partículas del suelo cohesivo |

|  |   |   |        |                                 |
|--|---|---|--------|---------------------------------|
|  | son muy arcillosos dichos suelos tienen una mala resistencia a la compresión, ya que no están aptos para que funcionen como suelos de fundación. (Pérez, 2012). | El suelo cohesivo es un suelo que pasa la malla n°200 del estudio de granulometría que se obtiene del suelo de fundación. |        | Tiempo de reacción con aditivos |
|  |   |   | Física | Densidad Aparente               |
|  |   |   |        | Densidad Real                   |
|  |   |   |        | Estructura                      |
|  |   |   |        | Textura                         |
|  |   |   |        | Color                           |

Elaboración: Propia

## 1.5. Hipótesis

### Hipótesis General.

El efecto de adicionar enzimas orgánicas de henequén mejora la estabilización de suelos cohesivos en subrasantes en el caserío de Juipon, distrito de pueblo libre.

## 1.6. Objetivos

### Objetivo General

Determinar el efecto al adicionar las enzimas orgánicas de Henequén en la estabilización de suelos cohesivos para el caserío de Juipon, distrito de Pueblo Libre.

### Objetivos Específicos

-Caracterización de las enzimas orgánicas de Henequén como adición para la estabilización de los suelos cohesivos.

-Determinar el proceso de fermentación de las enzimas orgánicas de Henequén para la adición a una muestra patrón y experimental de suelo cohesivo.

-Adicionar las enzimas orgánicas de Henequén a la muestra patrón, que presenta características cohesivas en las subrasantes del caserío de Juipon, en el distrito de Pueblo Libre.

-Evaluar el efecto de la adición de las enzimas orgánicas de Henequén en la estabilización de suelos cohesivos en las subrasantes del caserío de Juipon, en el distrito de Pueblo Libre.

## **II. METODOLOGÍA**

### **2.1. Tipo y diseño de investigación**

Hernández, Fernández & Baptista (2014), La siguiente alternativa de investigación de acuerdo con la intervención del investigador y al número de variables de interés se ubica dentro del tipo inductivo – experimental.

Del tipo inductivo porque se realizó la observación, el análisis y la clasificación de las muestras del suelo, todo esto se registró adecuadamente, asimismo los resultados ayudaron a validar la hipótesis.

Experimental ya que se ha creado las enzimas orgánicas de henequén, con todo esto se le agrego al suelo cohesivo en porcentajes del 20 y 30 %, para la estabilización del suelo cohesivo.

### **2.2. Población, muestra y muestreo**

#### **2.2.1. Población.**

La población la llegan a constituir los suelos cohesivos o arcillosos, ubicados en el caserío de Juipon, distrito de Pueblo Libre, provincia de Ancash.

#### **2.2.2. Muestra.**

La muestra se extrajo en el tramo no asfaltado entre el caserío de Carapampa y Juipon, que se ubica en la progresiva 0+000 hasta 1+000 en el caserío de juipon, se tomaran las muestras del tramo que presenten más susceptibilidad a poseer suelos cohesivos según las calicatas encontradas por los estudios previos de la municipalidad distrital de Pueblo Libre, todas las muestras obtenidas tienen una incidencia en un área de aproximadamente 5.2 Km<sup>2</sup> cada una con cantidades distintas de enzimas.



### **2.3. Técnicas e instrumentos de investigación**

Para las excavaciones se llegó a realizar un reconocimiento del terreno en cuestión, donde se excavó las calicatas considerando puntos graves de la carretera en el caserío de Juipon como asentamientos y deformaciones.

Como observación se logró ver de manera sustancial las partes de la vía que se encontraban afectadas por el tipo de suelo, todo ello en función de las calicatas observadas, además esto se contrastó con los antecedentes de excavación que realizó una empresa minera para la fundación de una vía provisional, el cual indicó que, las muestras obtenidas a lo largo de 1 Km de la vía desde la progresiva 0+000 hasta la progresiva 1+000, dichas muestras poseían una granulometría la cual excedía el 60% de partículas que pasaban a través de la malla n° 200, lo cual indicia claramente que se trata de un suelo cohesivo.

Para determinar los ensayos que se hicieron en las distintas muestras de suelo, se utilizaron diversos instrumentos los cuales fueron hojas de cálculo los cuales son: estudios de granulometría, límites de atterberg, el índice de plasticidad, contenido de humedad y el CBR.

### **2.4. Procesamiento y análisis de la información**

Para la investigación se realizó la extracción de las enzimas de Henequén provenientes del caserío de Juipon en el distrito de Pueblo Libre, para ello se utilizaron los métodos de fermentación, asimismo se analizó la información del tiempo en que llegara a descomponerse y se siguieron los protocolos para la obtención de la enzima.

En dicha investigación se realizó el procesamiento de datos por medio del laboratorio, usando pruebas granulométricas, pruebas de densidad, pruebas para el cálculo del soporte relativo del suelo.

Asimismo, se analizó el comportamiento de la enzima de henequén, adicionándolo a la muestra para ver cómo actúa sobre el suelo cohesivo, en diferentes dosificaciones.

Para la investigación se usaron distintos softwares para realizar el contraste en datos estadísticos y comparativos, estos son el Excel, para los datos estadísticos se usará el Mini Tab v.18 los cuales se usaron para realizar las comparaciones entre los resultados obtenidos.

A continuación, se detallarán los procesos que se hicieron para realizar las pruebas correspondientes.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Caracterización de las enzimas orgánicas de Henequén como adición para la estabilización de los suelos cohesivos.

Con la finalidad de definir o establecer las características físico–mecánicas de los materiales de la subrasante se realizaron investigaciones mediante la excavación de pozos exploratorios a cielo abierto (calicatas).

En la siguiente tabla, se presenta la ubicación de las calicatas.

**TABLA 3;; Datos de la muestra o calicata.**

| CALICATA | UBICACIÓN        | COORDENADAS UTM (PSAD 56) |           |        | PROFUNDIDAD (cm) | PESO (Kg.) |
|----------|------------------|---------------------------|-----------|--------|------------------|------------|
|          |                  | NORTE                     | ESTE      | ALTURA |                  |            |
| C-1      | Progresiva 0+000 | 8992017.66                | 190964.12 | 2621   | 150              | 41         |

Fuente: [El Autor, Juipon, 2020.](#)

Para realizar la caracterización de las enzimas se tuvo que realizar una inspección visual de la planta en el caserío de Juipon; para realizar una elección adecuada de dicha planta fue necesario realizar una inspección del estado actual el consistía en ver si el henequén estaba en una etapa temprana de vida, ya que el autor Gallardo especifica que, para extraer las enzimas de cualquier planta o fruta, se tiene que ver el estado del tiempo de vida.

#### 3.2. Determinar el proceso de fermentación de las enzimas orgánicas de Henequén para la adición a una muestra patrón y experimental de suelo cohesivo.

En este caso se realizó el método de extracción de enzimas del autor Gallardo, el cual consiste en realizar los siguientes pasos:

- Descascaramiento de la planta denominada Henequén.
- Realizar la mezcla de la planta en una trituradora.
- Para el proceso de fermentación, añadir etanol para que la fermentación acelere de forma que se consiga obtener el producto enzimático en un menor tiempo.
- Esperar un tiempo promedio de 2 semanas para que la fermentación este más completa.

**A continuación, se detallará el procedimiento a realizar:**

Primero como ya se mencionó previamente se realizará el Descascaramiento de la planta denominada Henequén, en este caso se logró quitar las cascara y obtener de esta forma la pulpa.

Después se realizó el proceso de licuado de cada una de las muestras, ya que se estaría desarrollando el mismo proceso de obtención de enzimas que la papaya.

Para desarrollar mejor las enzimas de henequén y su proceso de fermentación, se agregó 10 ml de etanol en un 1 litro del aditivo recién creado, esto da lugar a que el etanol permita degradar los azúcares y el dióxido de carbono, asimismo el aditivo tuvo un proceso de fermentación de 2 semanas, dicho proceso se sustenta en la fabricación de otro aditivo que tuvieron éxito como el Terrazyme, por ejemplo.

**3.3. Adicionar las enzimas orgánicas de Henequén a la muestra patrón, que presenta características cohesivas en las subrasantes del caserío de Juipon, en el distrito de Pueblo Libre.**

### **3.3.1. Ensayos del laboratorio para la muestra patrón.**

#### **3.3.1.1. Obtención de las muestras representativas para los estudios en el laboratorio.**

Se hizo el ensayo granulométrico de la muestra obtenida en el caserío de Juipon, para analizar la muestra obtenida se realizó el proceso del análisis de la granulometría, con ello se podría obtener la información para determinar el tipo de suelo.

Por ello primero se realizó el proceso de cuarteo de la muestra que se obtuvo al excavar en la carretera, primero se deberá extender la muestra en el piso, después de ello se necesitó realizar la desintegración de algunos terrones, todo ello con una comba, luego se necesitó realizar una consolidación de toda la muestra desintegrada y con ello se lograría realizar el cuarteo, teniendo en cuenta que estas partes deben ser lo más homogéneas posibles, es decir que contengan la misma cantidad de partículas.

Ya que dicho análisis tiene por objetivo realizar la determinación en una función cuantitativa de la distribución de los tamaños de las partículas del suelo. El análisis granulométrico llega a determinar los distintos porcentajes del suelo que llegan a pasar por los distintos tamices en la serie empleada del ensayo, todo esto hasta el de 75  $\mu\text{m}$  (No.200).

#### **3.3.1.2. Análisis Granulométrico de la muestra patrón.**

Para realizar el estudio granulométrico de la muestra fue necesario exponer la muestra en una habitación donde la muestra estuvo en un proceso de oreado.

Luego se realizó el proceso del lavado de esta, todo ello con el tamiz n° 200, una vez lavado se procedió a pesarlo y posteriormente llevarlo al horno.

Pasado un día se realizó el proceso del pesado de esta.

Una vez logrado pesarla se dio pase a su clasificación, para ello se pasó por las distintas mallas desde la malla n° 2 ½", donde paso el 100 % de la muestra, pero no es hasta que en la malla de ½" empieza a retener las partículas, con ello hasta obtener los resultados, recalcando que cada vez que las partículas llegan a retenerse en cada malla se debe realizar el pesado de estas.

#### **3.3.1.3. Análisis de los límites de Atterberg de la muestra patrón.**

Se hicieron los ensayos correspondientes del límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad del suelo.

Los cuales consistían en agregar agua a la muestra patrón tamizada por la malla número 4 ya que es la óptima para su desarrollo, se separaron cada una y se agregaron cantidades similares de agua para lograr una consistencia adecuada.

Para dicho análisis se proporcionan dos procedimientos para la preparación de los especímenes para los ensayos y dos procedimientos para efectuar el límite líquido.

Ya que este tipo de método llega a comprender la determinación ya sea del límite líquido, límite plástico, y asimismo el índice de plasticidad.

#### **3.3.1.4. Ensayo de la relación humedad-densidad de la muestra patrón.**

Para dicho ensayo se utilizó el método del ensayo del Proctor modificado ya que dicha muestra de suelo presentaba una cantidad elevada de arcillas por lo que se utilizó el método “A”.

En la etapa previa al ensayo se necesitó que la muestra patrón este tamizada por el tamiz N° 4, asimismo se tuvo que separar dicha muestra en 4 cantidades iguales, para que posteriormente se tuviera que adicionar cantidades de agua diferentes las cuales fueron de 210, 270, 330 y 390 ml en la prueba del ensayo de compactación.

Ya que dicho análisis tiene por finalidad, saber el contenido de humedad de cierta muestra de suelo, que este hecho por la suma de sus aguas libres, ya sea capilar e higroscópica.

También se hizo la prueba del contenido de humedad de la muestra patrón con las muestras compactadas previamente.

Ya que, la importancia que tiene el contenido de humedad, que tiende a presentar un tipo de suelo que llega a representar, conjunto con la cantidad de aire, una de las características más vitales para poder explicar el tipo de comportamiento del suelo, como por ejemplo variaciones de volumen, cohesión, estabilidad mecánica.

#### **3.3.1.5. Ensayo del valor de soporte (C.B.R) de la muestra patrón.**

Para dicho ensayo se necesitó tres moldes y la muestra patrón tamizada por la malla N° 4, en el ensayo se utilizó las mismas cantidades de agua solo con la diferencia que la cantidad de golpes optadas cambiaran a 12, 25 y 56 golpes por cada molde.

Una vez compactada las tres muestras, se procederá a saturarlas por las próximas 96 horas.

Después de que las muestras estén sumergidas en el agua por 96 horas, es hora de hacer la prueba de penetración.

### **3.3.2. Ensayo de la relación humedad-densidad de la muestra con la adición del 20% y 30% del aditivo de Henequén.**

#### **3.3.2.1. Ensayo de la muestra patrón con un 20% del aditivo de Henequén.**

Para el ensayo del Proctor estándar en las dosificaciones de agua que se le agregaron, esta vez se combinará las enzimas con el agua, es decir:

También se hizo el mismo proceso que en la anterior adición solo que se agregaran las siguientes dosificaciones:

- 100 ml del aditivo con 110 ml de agua.
- 100 ml del aditivo con 170 ml de agua.
- 100 ml del aditivo con 230 ml de agua.
- 100 ml del aditivo con 290 ml de agua.

#### **3.3.2.2. Ensayo de la muestra patrón con un 30% del aditivo de Henequén.**

También se hizo el mismo proceso que en la anterior adición solo que se agregaran las siguientes dosificaciones:

- 120 ml del aditivo con 90 ml de agua.
- 120 ml del aditivo con 150 ml de agua.
- 120 ml del aditivo con 210 ml de agua.
- 120 ml del aditivo con 270 ml de agua.

### **3.3.3. Ensayo de CBR de la muestra con la adición del 20% y 30% del aditivo de Henequén.**



### **3.3.3.1. Ensayo de la muestra patrón con un 20% del aditivo de Henequén.**

Se siguió el mismo proceso como el del patrón solo que se le agregó la cantidad de 100 ml a la muestra antes de la compactación. Valor de soporte (C.B.R).

### **3.3.3.2. Ensayo de la muestra patrón con un 30% del aditivo de Henequén.**

Asimismo, para el ensayo del CBR se siguió el mismo proceso como el del patrón solo que se le agregó la cantidad de 120 ml a la muestra antes de la compactación.

Para haber logrado estas pruebas y ensayos, se tuvo que recopilar la información de la exploración geotécnica, además las pruebas y ensayos se hicieron en el laboratorio de la Universidad San Pedro respetando y siguiendo las normas AASHTO Y ASTM las cuales se detallan en la siguiente tabla.

**TABLA 4;: Normas técnicas.**

| Tipo de Ensayo                       | Norma A.A.H.T.O | NORMA A.S.T.M |
|--------------------------------------|-----------------|---------------|
| Análisis Granulométrico por tamizado | T 88            |               |
| California Bearing Ratio (CBR)       | T 193           | D 1883        |
| Ensayo para el contenido de humedad  | T 265           | D 2216        |
| Limite Líquido                       | T 89            | D 4318        |
| Limite Plástico                      | T 89            | D 4318        |
| Ensayo del Proctor modificado        | T 180           | D 1557        |

Fuente: **El autor**

## **3.4. Evaluar el efecto de la adición de las enzimas orgánicas de Henequén en la estabilización de suelos cohesivos en las subrasantes del caserío de Juipon, en el distrito de Pueblo Libre**

### **3.4.1. Resultados de la Muestra Patrón.**

#### **3.4.1.1. Análisis Granulométrico.**

La finalidad del análisis granulométrico es la de obtener una distribución que va de acuerdo al tamaño de las partículas, por ello se usan dos sistemas, los cuales son indispensables para determinar su clasificación las cuales son la AASHTO y USCS.

#### **3.4.1.2. Tabla de clasificación.**

En el ensayo granulométrico de la muestra patrón se determinó que, el porcentaje que sobrepasa la malla numero 200 es de más del 72%, por lo que podemos decir que el suelo tiende a ser arcilloso por lo que se comprueba que el suelo de la carretera en el caserío de Juipon es del tipo arcilloso al menos para el primer tramo.

**TABLA 5;: Datos granulométricos de la muestra patrón.**

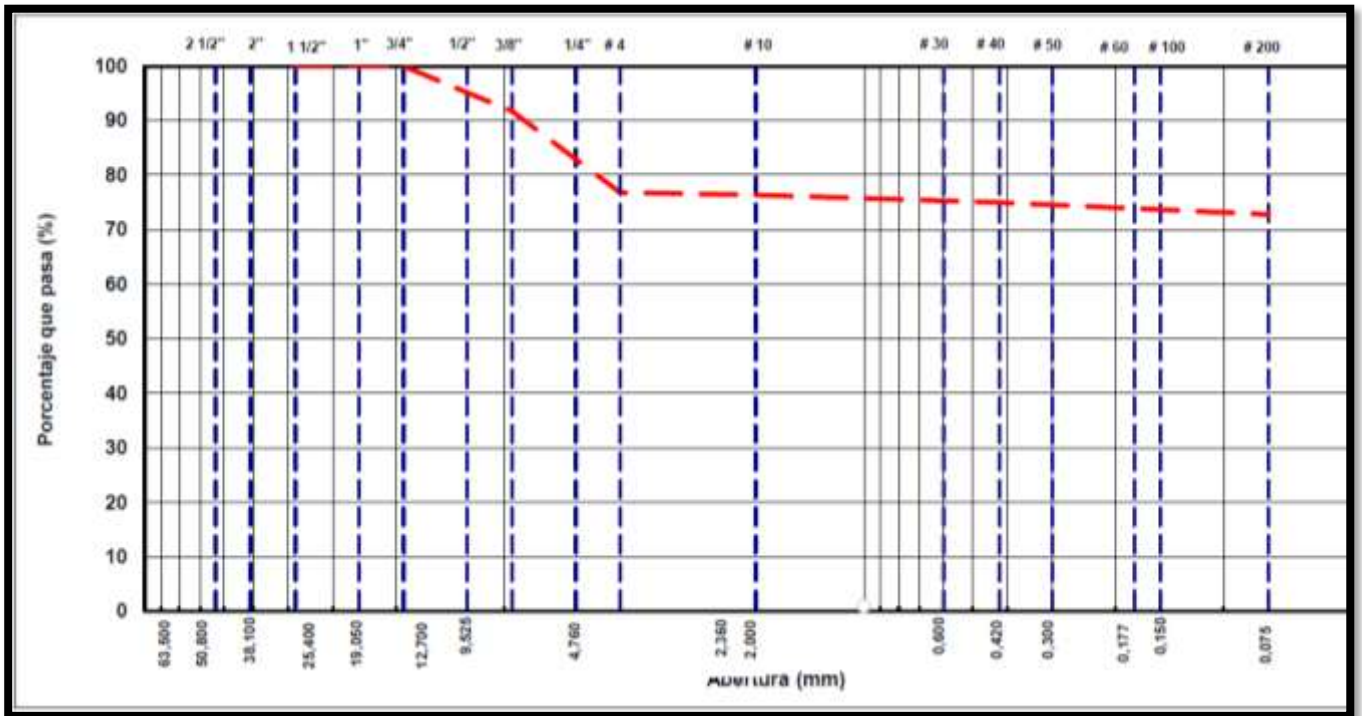
| TAMIZ    | AASHTO T-27 | PESO      | PORCENTAJE | RETENIDO  | PORCENTAJE |
|----------|-------------|-----------|------------|-----------|------------|
|          | (mm)        | RETENIDO  | RETENIDO   | ACUMULADO | % QUEPASA  |
| 3 1/2"   | 80.89       |           |            |           |            |
| 3"       | 76.2        |           |            |           |            |
| 2 1/2"   | 63.5        | 0         | 0          | 0         | 100        |
| 2"       | 50.8        | 0         | 0          | 0         | 100        |
| 1 1/2"   | 38.1        | 0         | 0          | 0         | 100        |
| 1"       | 25.4        | 0         | 0          | 0         | 100        |
| 3/4"     | 19.05       | 0         | 0          | 0         | 100        |
| 1/2"     | 12.7        | 870       | 2.1        | 2.1       | 97.9       |
| 3/8"     | 9.525       | 2475      | 6.1        | 8.3       | 91.7       |
| 1/4"     | 6.325       | 3800      | 9.4        | 17.6      | 82.4       |
| # 4      | 4.76        | 2255      | 5.6        | 23.2      | 76.8       |
| # 10     | 2           | 168.8     | 0.4        | 23.6      | 76.4       |
| # 16     | 1.19        | 78.5      | 0.2        | 23.8      | 76.2       |
| # 20     | 0.84        | 43.5      | 0.1        | 23.9      | 76.1       |
| # 30     | 0.6         | 216.1     | 0.5        | 24.5      | 75.5       |
| # 40     | 0.42        | 219.4     | 0.5        | 25        | 75         |
| # 50     | 0.3         | 218.1     | 0.5        | 25.5      | 74.5       |
| # 60     | 0.177       | 204.6     | 0.5        | 26        | 74         |
| # 100    | 0.15        | 260.1     | 0.6        | 26.7      | 73.3       |
| # 200    | 0.075       | 207.2     | 0.5        | 27.2      | 72.8       |
| < N° 200 | FONDO       | 29,488.70 | 72.8       | 100       |            |
| FRACCIÓN |             | 31,105.00 |            |           |            |
| TOTAL    |             | 40,505.00 |            |           |            |

Fuente: [El Autor, Juipon, 2020.](#)

Asimismo, podemos ver que el suelo tiende a estar (dentro de la clasificación SUCS), en un suelo con la nomenclatura de CL-ML.

### 3.4.1.3. Curva Granulométrica.

Asimismo, se puede ver en el gráfico comparativo entre la abertura y el porcentaje que pasa, con ello podemos observar que el porcentaje es mayor en la malla número 200.



**FIGURA 14: Curva granulométrica de la muestra patrón.**

Fuente: [El Autor, Juipon, 2020.](#)

### 3.4.1.4. Límites de consistencia de la muestra patrón.

#### 3.4.1.4.1. Resultados del Límite Líquido.

Como se puede observar en la tabla, se puede observar los resultados obtenidos de la muestra patrón, con ella se ven los contenidos de humedad expuestas hacia la muestra patrón, todas ellas con la copa Casagrande.

**TABLA 6;: Resultados del límite líquido de la muestra patrón.**

| LÍMITE LÍQUIDO                |       |       |       |  |
|-------------------------------|-------|-------|-------|--|
| N.º TARRO                     | 10    | 17    | 12    |  |
| PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g) | 56.24 | 57.34 | 58.17 |  |
| PESO TARRO + SUELO SECO (g)   | 50.11 | 51.39 | 52.35 |  |
| PESO DE AGUA (g)              | 6.13  | 5.95  | 5.82  |  |

|                          |           |           |           |  |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|--|
| PESO DEL TARRO (g)       | 26.13     | 26.92     | 27.2      |  |
| PESO DEL SUELO SECO (g)  | 23.98     | 24.47     | 25.15     |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%) | 25.56     | 24.32     | 23.14     |  |
| NUMERO DE GOLPES         | <b>18</b> | <b>26</b> | <b>32</b> |  |

Fuente: **El Autor, Juipon, 2020.**

#### 3.4.1.4.2. Resultados del Limite Plástico.

Asimismo, podemos ver los resultados del límite plástico, ambos resultados tanto del límite líquido como el plástico nos dará a conocer el índice de plasticidad de la muestra.

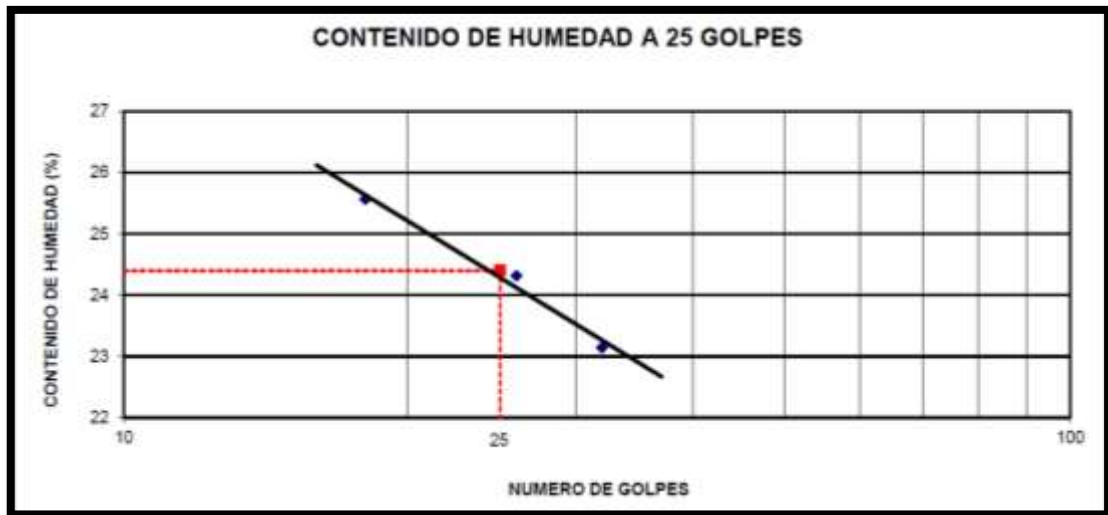
**TABLA 7;: Resultados del límite plástico de la muestra patrón.**

| LIMITE PLASTICO               |       |       |  |  |
|-------------------------------|-------|-------|--|--|
| N.º TARRO                     | 4     | 34    |  |  |
| PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g) | 32.32 | 31.37 |  |  |
| PESO TARRO + SUELO SECO (g)   | 31.44 | 30.63 |  |  |
| PESO DE AGUA (g)              | 0.88  | 0.74  |  |  |
| PESO DEL TARRO (g)            | 26.71 | 26.55 |  |  |
| PESO DEL SUELO SECO (g)       | 4.73  | 4.08  |  |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)      | 18.6  | 18.14 |  |  |

Fuente: **El Autor, Juipon, 2020.**

#### 3.4.1.4.3. Grafico del Contenido de Humedad.

El grafico del contenido de humedad es relativo a al contenido de humedad que la muestra posee y con ello por derivación al número de golpes.



**FIGURA 15:** Grafico del contenido de humedad de la muestra patrón.

Fuente: [El Autor, Juipon, 2020.](#)

#### 3.4.1.4.3.1. Resultados físicos de la muestra.

Las constantes físicas de la muestra se determinan de acuerdo al promedio de todas las constantes previas, en este caso nos dio que el límite líquido fue de 24.4 en promedio y el límite plástico de 18.37.

**TABLA 8;:** Tabla general de resultados de la muestra patrón.

| CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA |       |
|----------------------------------|-------|
| LIMITE LIQUIDO                   | 24.4  |
| LIMITE PLASTICO                  | 18.37 |
| INDICE DE PLASTICIDAD            | 6.03  |

Fuente: [El Autor, Juipon, 2020.](#)

Para saber el índice de plasticidad de la muestra es necesario usar la siguiente formula:

$$IP = LL - LP$$

En este caso el índice de plasticidad es de **6.03**.

#### **3.4.1.5. Ensayo de la relación de soporte de california CBR.**

##### **3.4.1.5.1. Datos de la muestra patrón para el ensayo de CBR.**

Asimismo, se realizó el ensayo del CBR de la muestra patrón y se obtuvo los siguientes resultados, dichos resultados son los datos de la muestra antes de realizar la penetración a la muestra saturada.

**TABLA 9;: Resultados de la capacidad relativa de soporte de la muestra patrón.**

| Molde N°                  |                       | 4           |  |          |  | 7           |  |          |  | 10          |  |          |  |
|---------------------------|-----------------------|-------------|--|----------|--|-------------|--|----------|--|-------------|--|----------|--|
| N° Capa                   |                       | 5           |  |          |  | 5           |  |          |  | 5           |  |          |  |
| Golpes por capa N°        |                       | 56          |  |          |  | 25          |  |          |  | 12          |  |          |  |
| Cond. de la muestra       |                       | NO SATURADO |  | SATURADO |  | NO SATURADO |  | SATURADO |  | NO SATURADO |  | SATURADO |  |
| Peso molde + suelo húmedo | (gr)                  | 12555       |  | 12570    |  | 12367       |  | 12445    |  | 12219       |  | 12280    |  |
| Peso de molde             | (gr)                  | 7984        |  | 7984     |  | 7995        |  | 7995     |  | 7975        |  | 7975     |  |
| Peso del suelo húmedo     | (gr)                  | 4571        |  | 4586     |  | 4372        |  | 4450     |  | 4244        |  | 4305     |  |
| Volumen del molde         | (cm <sup>3</sup> )    | 2069        |  | 2069     |  | 2024        |  | 2024     |  | 2050        |  | 2050     |  |
| Densidad húmeda           | (gr/cm <sup>3</sup> ) | 2.209       |  | 2.217    |  | 2.16        |  | 2.199    |  | 2.07        |  | 2.1      |  |
| Humedad                   | (%)                   | 10.9        |  | 12.61    |  | 11.19       |  | 12.71    |  | 10.7        |  | 12.8     |  |
| Densidad seca             | (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.992       |  | 1.969    |  | 1.943       |  | 1.951    |  | 1.87        |  | 1.862    |  |
| Tarro N°                  |                       | 16          |  | 44       |  | 8           |  | 40       |  | 42          |  | 40       |  |
| Tarro + Suelo húmedo      | (gr)                  | 959.2       |  | 884.1    |  | 1020.7      |  | 908.7    |  | 1064.7      |  | 906.7    |  |
| Tarro + Suelo seco        | (gr)                  | 881.2       |  | 804.1    |  | 934.8       |  | 824.7    |  | 977.6       |  | 822.4    |  |
| Peso del Agua             | (gr)                  | 78          |  | 80       |  | 85.9        |  | 84       |  | 87.1        |  | 84.3     |  |
| Peso del tarro            | (gr)                  | 165.7       |  | 169.5    |  | 166.9       |  | 163.9    |  | 163.5       |  | 163.8    |  |
| Peso del suelo seco       | (gr)                  | 715.5       |  | 634.6    |  | 767.9       |  | 660.8    |  | 814.1       |  | 658.6    |  |
| Humedad                   | (%)                   | 10.9        |  | 12.61    |  | 11.19       |  | 12.71    |  | 10.7        |  | 12.8     |  |
| Promedio de Humedad       | (%)                   | 10.9        |  | 12.61    |  | 11.19       |  | 12.71    |  | 10.7        |  | 12.8     |  |

Fuente: **El Autor, Juipon, 2020.**

### 3.4.1.5.2. Datos obtenidos a partir de la penetración.

Los resultados corresponden a la penetración de a las muestras saturadas, se consideran como la capacidad de soporte relativo a las muestras que fueron penetradas a 1 y 2 mm, con ellas obteniéndose un porcentaje del CBR.

**TABLA 10;: Resultados de la capacidad relativa de soporte de la muestra patrón (penetración).**

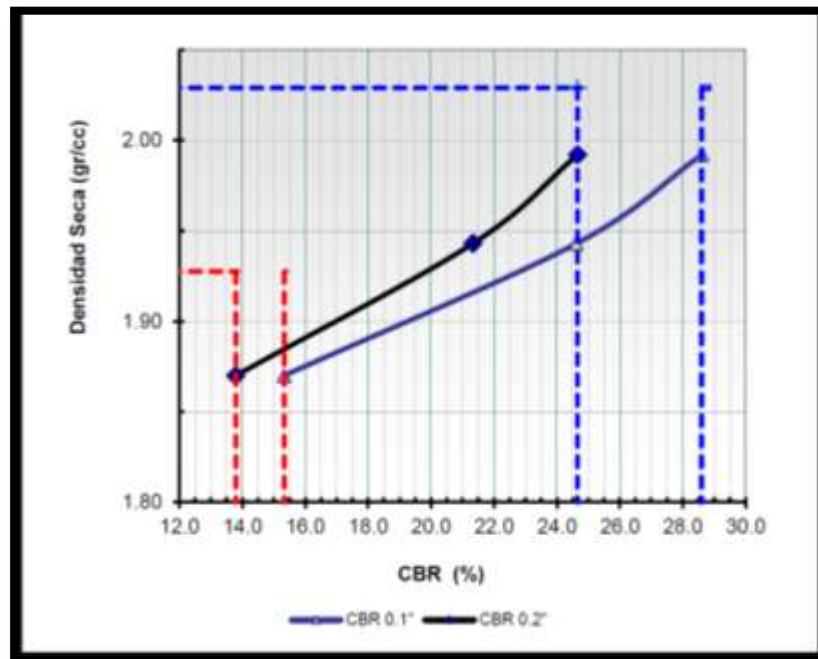


| PENETRACION<br>mm | CARGA STAND.<br>kg/cm2 | MOLDE Nº 4 |              |        |       | MOLDE Nº 7 |              |        |       | MOLDE Nº 10 |              |        |       |
|-------------------|------------------------|------------|--------------|--------|-------|------------|--------------|--------|-------|-------------|--------------|--------|-------|
|                   |                        | Lectura    | Carga Ensayo |        | CBR   | Lectura    | Carga Ensayo |        | CBR   | Lectura     | Carga Ensayo |        | CBR   |
|                   |                        | Dial (div) | kg           | kg/cm2 | %     | Dial (div) | kg           | kg/cm2 | %     | Dial (div)  | kg           | kg/cm2 | %     |
| 0                 |                        | 0          | 0            | 0      |       | 0          | 0            | 0      |       | 0           | 0            | 0      |       |
| 0.252             |                        | 45         | 209.2        | 10.83  |       | 37         | 173          | 8.94   |       | 20          | 96           | 4.96   |       |
| 0.5               |                        | 60         | 277.1        | 14.32  |       | 54         | 249.9        | 12.91  |       | 25          | 118.6        | 6.13   |       |
| 0.752             |                        | 73         | 336          | 17.36  |       | 65         | 299.7        | 15.49  |       | 34          | 159.4        | 8.23   |       |
| 1                 | 70.5                   | 85         | 390.3        | 20.16  | 28.6  | 73         | 336          | 17.36  | 24.62 | 45          | 209.2        | 10.81  | 15.33 |
| 1.5               |                        | 98         | 449.2        | 23.21  |       | 85         | 390.3        | 20.16  |       | 51          | 236.3        | 12.21  |       |
| 2                 | 105.5                  | 110        | 503.5        | 26.01  | 24.66 | 95         | 435.6        | 22.5   | 21.33 | 61          | 281.6        | 14.55  | 13.79 |
| 2.5               |                        | 128        | 585          | 30.22  |       | 115        | 526.1        | 27.18  |       | 69          | 317.9        | 16.42  |       |
| 3                 |                        | 131        | 598.6        | 30.92  |       | 125        | 571.4        | 29.52  |       | 75          | 345          | 17.83  |       |
| 3.937             |                        | 155        | 707.2        | 36.54  |       | 128        | 585          | 30.22  |       | 91          | 417.5        | 21.57  |       |
| 5                 |                        | 180        | 820.3        | 42.38  |       | 148        | 675.5        | 34.9   |       | 105         | 480.9        | 24.84  |       |

Fuente: [El Autor, Juipon, 2020.](#)

### 3.4.1.5.3. Gráfico de penetración del CBR.

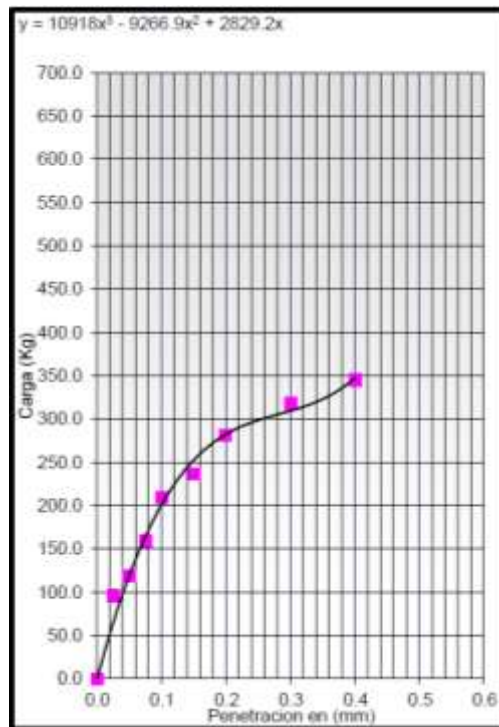
El grafico que se muestra a continuación es una grafico el cual tiende a estar en relación a la densidad seca y al porcentaje del CBR, dicho grafico describe el porcentaje que se obtiene de acuerdo a la densidad, ello quiere decir que el porcentaje final máximo obtenido es de 28.6 % con la penetración a 1mm y 24.66% con la de 2 mm.



**FIGURA 16: Grafico de penetración para la muestra de penetración (CBR).**

Fuente: [El Autor, Juipon, 2020.](#)

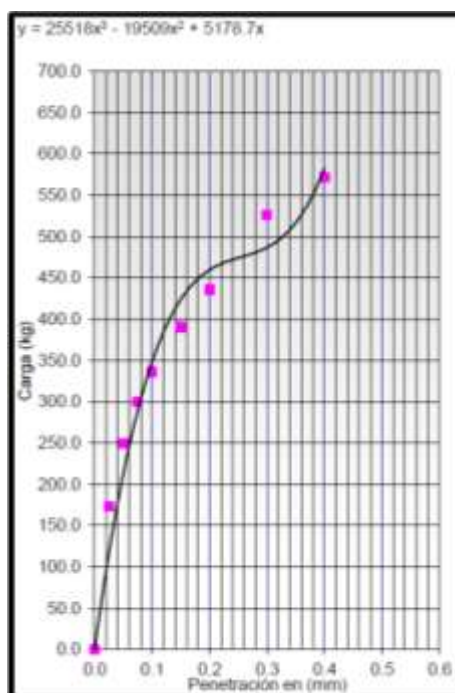
**3.4.1.5.3.1. Gráficos de penetración del CBR en distintas cantidades de golpes (golpes:12).**



**FIGURA 17: Gráfico entre la relación de la carga y la penetración (12 golpes).**

Fuente: [El Autor, Juipon, 2020.](#)

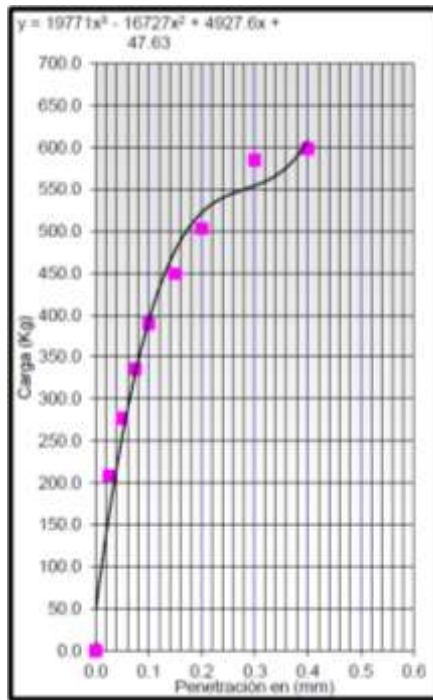
**3.4.1.5.3.2. Gráficos de penetración del CBR en distintas cantidades de golpes (golpes:25).**



**FIGURA 18: GRAFICO ENTRE LA RELACION DE LA CARGA Y LA PENETRACION (25 GOLPES).**

Fuente: [El Autor, Juipon, 2020.](#)

**3.4.1.5.3.3. Gráficos de penetración del CBR en distintas cantidades de golpes (golpes:56).**



**FIGURA 19: GRAFICO ENTRE LA RELACION DE LA CARGA Y LA PENETRACION (56 GOLPES).**

Fuente: [El Autor, Juipon, 2020.](#)

### **3.4.2. Resultados de la muestra patrón con la adición de las enzimas de Henequén en un 20%.**

#### **3.4.2.1. Ensayo del Proctor modificado para la muestra con la adición de enzimas de Henequén en un 20%.**

Como se puede observar se realizó el ensayo del Proctor modificado ya que, según la granulometría dada, se requería de la estándar por poseer un tipo de suelo malo.

**TABLA 11; Resultados del ensayo con el Proctor modificado a la muestra patrón con la adición de la enzima en un 10%.**

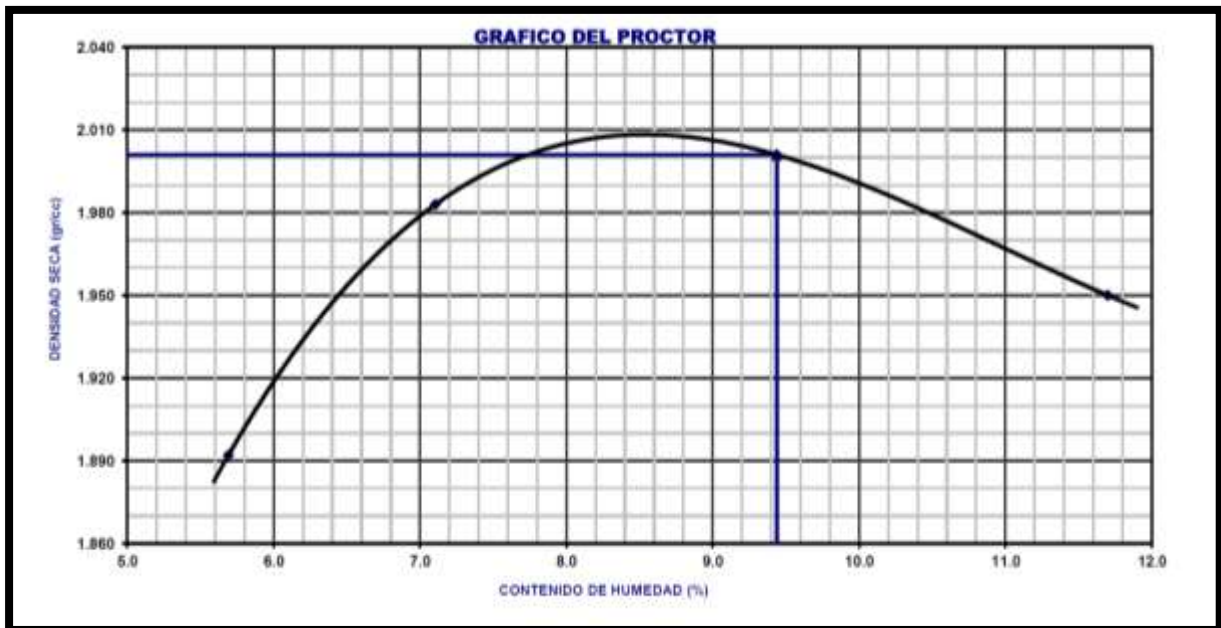
| <b>METODO: "A"</b>                |              |                               |                        |              |              |
|-----------------------------------|--------------|-------------------------------|------------------------|--------------|--------------|
| VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)           | 929          | <b>PESO DEL MOLDE (gr.) :</b> |                        |              | 4192         |
| NUMERO DE ENSAYOS                 |              | <b>1</b>                      | <b>2</b>               | <b>3</b>     | <b>4</b>     |
| PESO SUELO + MOLDE (gr)           |              | 6050                          | 6165                   | 6226         | 6215         |
| PESO DEL MOLDE (gr)               |              | 4192                          | 4192                   | 4192         | 4192         |
| PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO (gr) |              | 1858                          | 1973                   | 2034         | 2023         |
| DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)          |              | 2                             | 2.124                  | 2.189        | 2.178        |
| DENSIDAD SECA (gr/cm3)            |              | 1.892                         | 1.983                  | 2.001        | 1.95         |
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>       |              |                               |                        |              |              |
| RECIPIENTE Nro.                   |              | 1                             | 2                      | 3            | 4            |
| PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr)     |              | 962                           | 911.64                 | 892.47       | 828.33       |
| PESO SUELOS SECO + TARA (gr)      |              | 919.1                         | 862.2                  | 829.9        | 758.8        |
| PESO DE LA TARA (gr)              |              | 165.2                         | 166.4                  | 166.9        | 164.5        |
| PESO DE AGUA (gr)                 |              | 42.9                          | 49.44                  | 62.57        | 69.53        |
| PESO DE SUELO SECO (gr)           |              | 753.9                         | 695.8                  | 663          | 594.3        |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)          |              | <b>5.69</b>                   | <b>7.11</b>            | <b>9.44</b>  | <b>11.7</b>  |
| PESO VOLUMETRICO SECO             |              | <b>1.892</b>                  | <b>1.983</b>           | <b>2.001</b> | <b>1.95</b>  |
| <b>DENSIDAD MAXIMA SECA:</b>      | <b>2.000</b> | <b>gr/cc</b>                  | <b>HUMEDAD OPTIMA:</b> |              | <b>9.399</b> |

Fuente: **El Autor, Juipon, 2020.**

En este caso con el ensayo para determinar la densidad máxima seca se obtuvo una cantidad de 2.000 y una humedad optima de 9.399.

### **3.4.2.2. Gráfico del ensayo del Proctor estándar para la muestra con la adición de enzimas de Henequén en un 20%.**

Asimismo, se puede ver el grafico entre la relación del porcentaje del contenido de humedad y la densidad seca.



**FIGURA 20: Grafico del Proctor en la muestra patrón con la adición del aditivo en un 10%.**

Fuente: [El Autor, Juipon, 2020.](#)

### 3.4.2.3. Ensayo del CBR para la muestra con la adición de enzimas de Henequén en un 20%.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos a partir del ensayo de penetración, entre ellos tenemos los resultados que son más predominantes que son los resultados de la densidad seca.

**TABLA 12;: Resultados de la capacidad relativa de soporte de la muestra patrón con la adición del aditivo en un 20%.**

|                                 |             |          |             |          |             |          |
|---------------------------------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|
| Molde N°                        | 4           |          | 9           |          | 8           |          |
| N° Capa                         | 5           |          | 5           |          | 5           |          |
| Golpes por capa N°              | 56          |          | 25          |          | 12          |          |
| Cond. de la muestra             | NO SATURADO | SATURADO | NO SATURADO | SATURADO | NO SATURADO | SATURADO |
| Peso molde + suelo húmedo (gr.) | 12473       | 12620    | 12198       | 12260    | 12135       | 12420    |
| Peso de molde (gr.)             | 7984        | 7984     | 7975        | 7975     | 7971        | 7971     |
| Peso del suelo húmedo (gr.)     | 4489        | 4636     | 4223        | 4285     | 4164        | 4449     |
| Volumen del molde (cm3)         | 2069        | 2069     | 2050        | 2050     | 2041        | 2041     |
| Densidad húmeda (gr/cm3)        | 2.17        | 2.241    | 2.06        | 2.09     | 2.04        | 2.18     |
| Humedad (%)                     | 9.72        | 10.46    | 9.59        | 10.65    | 9.86        | 9.97     |
| Densidad seca (gr/cm3)          | 1.978       | 2.029    | 1.88        | 1.889    | 1.857       | 1.982    |
| Tarro N°                        | 8           | 34       | 23          | 31       | 37          | 5        |
| Tarro + Suelo húmedo (gr.)      | 918.4       | 888.3    | 976.4       | 850.6    | 890.3       | 856.2    |
| Tarro + Suelo seco (gr.)        | 851.8       | 819.5    | 905.5       | 784.4    | 825.5       | 793.6    |
| Peso del Agua (gr.)             | 66.6        | 68.8     | 70.9        | 66.15    | 64.75       | 62.56    |
| Peso del tarro (gr.)            | 166.9       | 161.5    | 166.5       | 163.3    | 168.8       | 166.1    |
| Peso del suelo seco (gr.)       | 684.9       | 658      | 739         | 621.1    | 656.7       | 627.5    |
| Humedad (%)                     | 9.72        | 10.46    | 9.59        | 10.65    | 9.86        | 9.97     |
| Promedio de Humedad (%)         | 9.72        | 10.46    | 9.59        | 10.65    | 9.86        | 9.97     |

Fuente: [El Autor, Juipon, 2020.](#)

### 3.4.2.3.1. Datos obtenidos a partir de la penetración.

Como se puede observar los datos se obtuvieron a partir de los ensayos que se obtuvieron a partir de realizar la penetración por capas.

**TABLA 13;: Resultados de la capacidad relativa de soporte de la muestra patrón con la adición del aditivo en un 20%.**



| PENETRACION<br>mm | CARGA STAND.<br>kg/cm2 | MOLDE Nº 4 |              |        |       | MOLDE Nº 9 |              |        |       | MOLDE Nº 8 |              |        |       |
|-------------------|------------------------|------------|--------------|--------|-------|------------|--------------|--------|-------|------------|--------------|--------|-------|
|                   |                        | Lectura    | Carga Ensayo |        | CBR   | Lectura    | Carga Ensayo |        | CBR   | Lectura    | Carga Ensayo |        | CBR   |
|                   |                        | Dial (div) | kg           | kg/cm2 | %     | Dial (div) | kg           | kg/cm2 | %     | Dial (div) | kg           | kg/cm2 | %     |
| 0                 |                        | 0          | 0            | 0      |       | 0          | 0            | 0      |       | 0          | 0            | 0      |       |
| 0.252             |                        | 87         | 399.4        | 20.67  |       | 72         | 331.4        | 17.12  |       | 30         | 141.3        | 7.3    |       |
| 0.5               |                        | 127        | 580.4        | 29.99  |       | 109        | 499          | 25.78  |       | 46         | 213.7        | 11.04  |       |
| 0.752             |                        | 155        | 707.2        | 36.54  |       | 135        | 616.7        | 31.86  |       | 57         | 263.5        | 13.61  |       |
| 1                 | 70.5                   | 146        | 666.5        | 34.43  | 48.84 | 115        | 526.1        | 27.18  | 38.56 | 61         | 281.6        | 14.55  | 20.64 |
| 1.5               |                        | 205        | 933.5        | 48.23  |       | 185        | 843          | 43.55  |       | 80         | 367.7        | 18.99  |       |
| 2                 | 105.5                  | 250        | 1137.1       | 58.75  | 55.69 | 214        | 974.2        | 50.33  | 47.71 | 145        | 661.9        | 34.2   | 32.41 |
| 2.5               |                        | 300        | 1363.3       | 70.43  |       | 232        | 1055.7       | 54.54  |       | 132        | 603.1        | 31.16  |       |
| 3                 |                        | 328        | 1490         | 76.98  |       | 252        | 1146.2       | 59.22  |       | 142        | 648.3        | 33.5   |       |
| 3.937             |                        | 375        | 1702.6       | 87.96  |       | 272        | 1236.7       | 63.89  |       | 148        | 675.5        | 34.9   |       |
| 5                 |                        | 532        | 2412.4       | 124.63 |       | 300        | 1363.3       | 70.43  |       | 160        | 729.8        | 37.71  |       |

Fuente: [El Autor, Juipon, 2020.](#)

### 3.4.2.3.1. Gráfico de penetración del CBR.

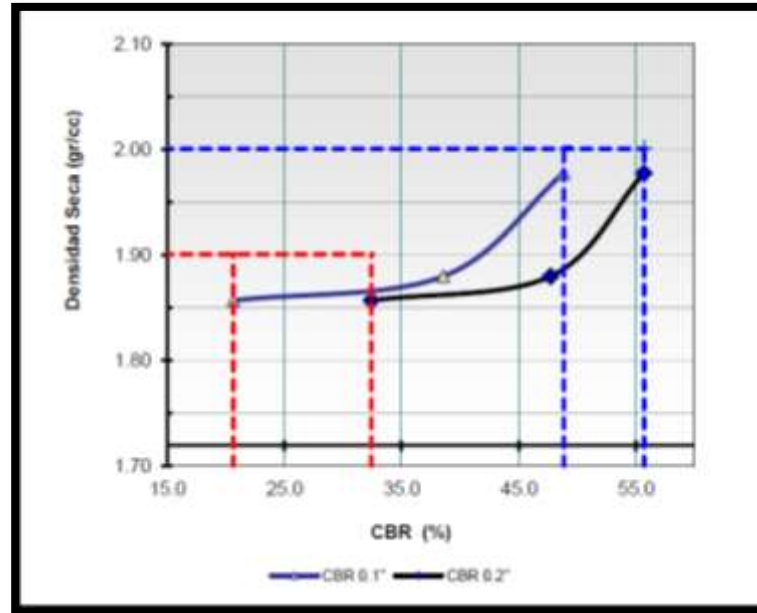
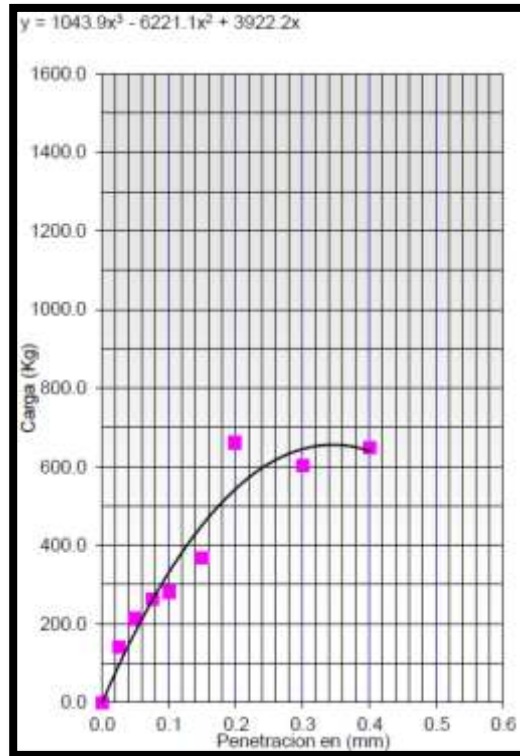


FIGURA 21: Gráfico de penetración para la muestra de penetración + 20% de aditivo.

Fuente: [El Autor, Juipon, 2020.](#)

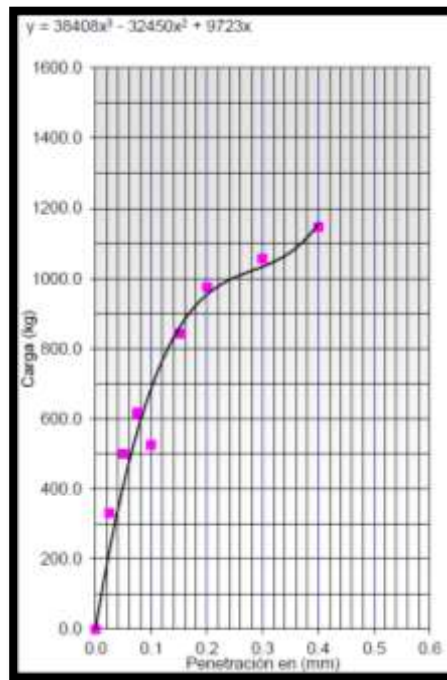
**3.4.2.3.2. Gráficos de penetración del CBR (20%) en distintas cantidades de golpes (golpes:12).**



**FIGURA 22: Gráfico entre la relación de la carga y la penetración (12 golpes).**

Fuente: [El Autor, Juipon, 2020.](#)

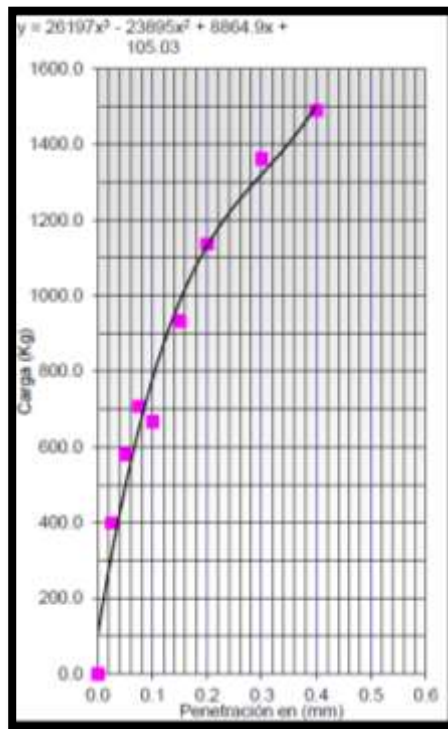
**3.4.2.3.3. Gráficos de penetración del CBR (20%) en distintas cantidades de golpes (golpes:25).**



**FIGURA 23: Gráfico entre la relación de la carga y la penetración (25 golpes).**

Fuente: [El Autor, Juipon, 2020.](#)

**3.4.2.3.4. Gráficos de penetración del CBR (20%) en distintas cantidades de golpes:56).**



**FIGURA 24: Gráfico entre la relación de la carga y la penetración (56 golpes).**

Fuente: [El Autor, Juipon, 2020.](#)

### 3.4.3. Resultados de la muestra patrón con la adición de las enzimas de Henequén en un 20%.

#### 3.4.3.1. Ensayo del Proctor modificado para la muestra con la adición de enzimas de Henequén en un 20%.

Como se puede observar se realizó el ensayo del Proctor modificado ya que, según la granulometría dada, se requería de la estándar por poseer un tipo de suelo cohesivo.

**TABLA 14;: Resultados del ensayo con el Proctor modificado a la muestra patrón con la adición de la enzima en un 20%.**

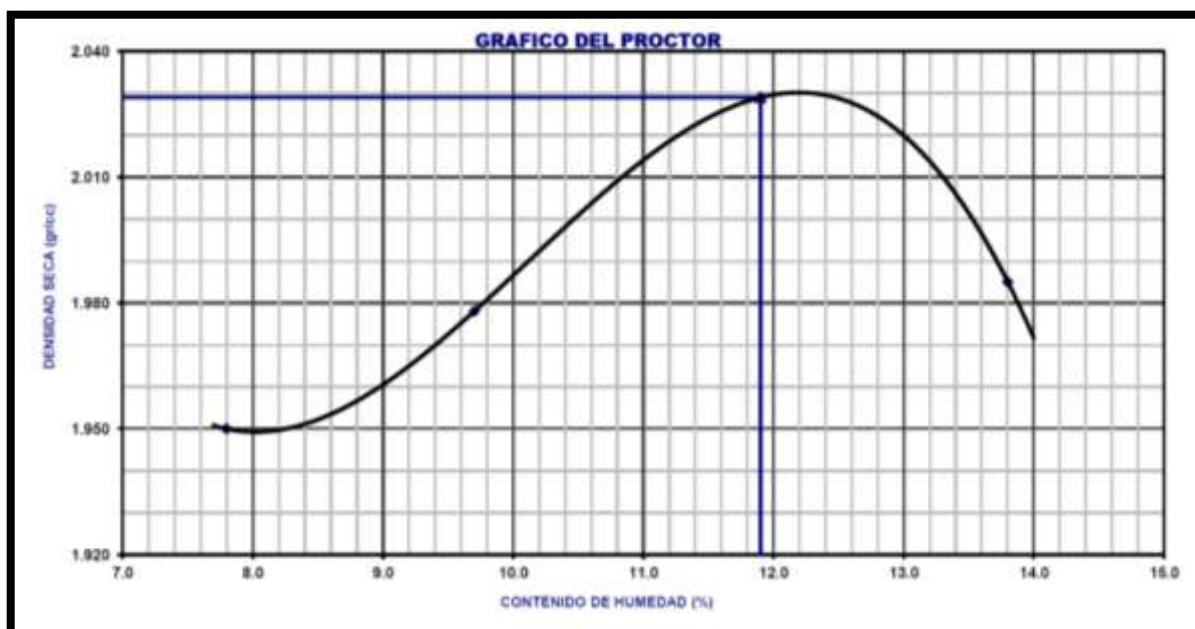
| <b>METODO: "A"</b>                    |               |                               |                        |              |               |
|---------------------------------------|---------------|-------------------------------|------------------------|--------------|---------------|
| VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )  | 929           | <b>PESO DEL MOLDE (gr.) :</b> |                        |              | 4192          |
| NUMERO DE ENSAYOS                     |               | <b>1</b>                      | <b>2</b>               | <b>3</b>     | <b>4</b>      |
| PESO SUELO + MOLDE (gr)               |               | 6145                          | 6208                   | 6301         | 6291          |
| PESO DEL MOLDE (gr)                   |               | 4192                          | 4192                   | 4192         | 4192          |
| PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO (gr)     |               | 1953                          | 2016                   | 2109         | 2099          |
| DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> ) |               | 2.102                         | 2.17                   | 2.27         | 2.259         |
| DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )   |               | 1.95                          | 1.978                  | 2.029        | 1.985         |
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>           |               |                               |                        |              |               |
| RECIPIENTE Nro.                       |               | 1                             | 2                      | 3            | 4             |
| PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr)         |               | 814.8                         | 988.92                 | 863.62       | 889.07        |
| PESO SUELOS SECO + TARA (gr)          |               | 767.7                         | 916.2                  | 789.8        | 802.5         |
| PESO DE LA TARA (gr)                  |               | 163.5                         | 166.5                  | 169.5        | 175.2         |
| PESO DE AGUA (gr)                     |               | 47.1                          | 72.72                  | 73.82        | 86.57         |
| PESO DE SUELO SECO (gr)               |               | 604.2                         | 749.7                  | 620.3        | 627.3         |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)              |               | <b>7.8</b>                    | <b>9.7</b>             | <b>11.9</b>  | <b>13.8</b>   |
| PESO VOLUMETRICO SECO                 |               | <b>1.95</b>                   | <b>1.978</b>           | <b>2.029</b> | <b>1.985</b>  |
| <b>DENSIDAD MAXIMA SECA:</b>          | <b>2.0289</b> | <b>gr/cc</b>                  | <b>HUMEDAD OPTIMA:</b> |              | <b>11.899</b> |

Fuente: **El Autor, Juipon, 2020.**

En este caso con el ensayo para determinar la densidad máxima seca se obtuvo una cantidad de 2.0289 y una humedad optima de 11.899

### **3.4.3.2. Grafico del ensayo del Proctor modificado para la muestra con la adición de enzimas de Henequén en un 20%.**

Asimismo, se puede ver el grafico entre la relación del porcentaje del contenido de humedad y la densidad seca.



**FIGURA 25:** Gráfico del Proctor en la muestra patrón con la adición del aditivo en un 20%.

Fuente: [El Autor, Juipon, 2019.](#)

### 3.4.3.3. Ensayo del CBR para la muestra con la adición de enzimas de Henequén en un 20%.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos a partir del ensayo de penetración, entre ellos tenemos los resultados que son más predominantes que son los resultados de la densidad seca.

**TABLA 15;:** Resultados de la capacidad relativa de soporte de la muestra patrón con la adición del aditivo en un 20%.

| Molde N°                       | 7           |          | 9           |          | 8           |          |       |  |       |  |       |  |
|--------------------------------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------|--|-------|--|-------|--|
| N° Capa                        | 5           |          | 5           |          | 5           |          |       |  |       |  |       |  |
| Golpes por capa N°             | 56          |          | 25          |          | 12          |          |       |  |       |  |       |  |
| Cond. de la muestra            | NO SATURADO | SATURADO | NO SATURADO | SATURADO | NO SATURADO | SATURADO |       |  |       |  |       |  |
| Peso molde + suelo húmedo (gr) | 12575       | 12711    | 12385       | 12526    | 12120       | 12239    |       |  |       |  |       |  |
| Peso de molde (gr)             | 7995        | 7995     | 7972        | 7972     | 7961        | 7961     |       |  |       |  |       |  |
| Peso del suelo húmedo (gr)     | 4580        | 4716     | 4413        | 4554     | 4159        | 4278     |       |  |       |  |       |  |
| Volumen del molde (cm3)        | 2024        | 2024     | 2015        | 2015     | 2037        | 2037     |       |  |       |  |       |  |
| Densidad húmeda (gr/cm3)       | 2.263       | 2.33     | 2.19        | 2.26     | 2.042       | 2.1      |       |  |       |  |       |  |
| Humedad (%)                    | 11.89       | 13.49    | 11.84       | 13.96    | 12.32       | 13.6     |       |  |       |  |       |  |
| Densidad seca (gr/cm3)         | 2.023       | 2.053    | 1.958       | 1.983    | 1.818       | 1.849    |       |  |       |  |       |  |
| Tarro N°                       | 33          |          | 36          |          | 35          |          | 47    |  | 4     |  | 44    |  |
| Tarro + Suelo húmedo (gr)      | 946.8       |          | 929.9       |          | 813.5       |          | 938.8 |  | 853.5 |  | 870.3 |  |
| Tarro + Suelo seco (gr)        | 863.7       |          | 838.8       |          | 744.8       |          | 844.4 |  | 778.1 |  | 786.4 |  |
| Peso del Agua (gr)             | 83.1        |          | 91.1        |          | 68.7        |          | 94.4  |  | 75.4  |  | 83.89 |  |
| Peso del tarro (gr)            | 165         |          | 163.5       |          | 164.8       |          | 168   |  | 165.9 |  | 169.5 |  |
| Peso del suelo seco (gr)       | 698.7       |          | 675.3       |          | 580         |          | 676.4 |  | 612.2 |  | 616.9 |  |
| Humedad (%)                    | 11.89       |          | 13.49       |          | 11.84       |          | 13.96 |  | 12.32 |  | 13.6  |  |
| Promedio de Humedad (%)        | 11.89       |          | 13.49       |          | 11.84       |          | 13.96 |  | 12.32 |  | 13.6  |  |

Fuente: **El Autor, Juipon, 2020.**

### 3.4.3.3.1. Datos obtenidos a partir de la penetración.

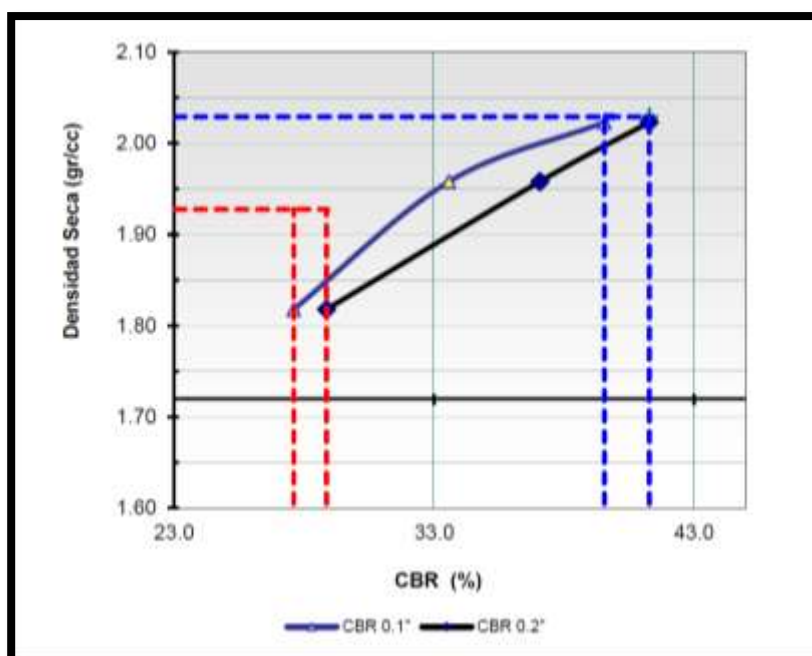
Como se puede observar los datos se obtuvieron a partir de los ensayos que se obtuvieron a partir de realizar la penetración por capas.

**TABLA 16;: Resultados de la capacidad relativa de soporte de la muestra patrón con la adición del aditivo en un 20%.**

| PENETRACION<br>mm | CARGA STAND.<br>kg/cm2 | MOLDE Nº 7            |              |        |       | MOLDE Nº 9            |              |        |       | MOLDE Nº 8            |              |        |       |
|-------------------|------------------------|-----------------------|--------------|--------|-------|-----------------------|--------------|--------|-------|-----------------------|--------------|--------|-------|
|                   |                        | Lectura<br>Dial (div) | Carga Ensayo |        | CBR   | Lectura<br>Dial (div) | Carga Ensayo |        | CBR   | Lectura<br>Dial (div) | Carga Ensayo |        | CBR   |
|                   |                        |                       | kg           | kg/cm2 | %     |                       | kg           | kg/cm2 | %     |                       | kg           | kg/cm2 | %     |
| 0                 |                        | 0                     | 0            | 0      |       | 0                     | 0            | 0      |       | 0                     | 0            | 0      |       |
| 0.252             |                        | 49                    | 227.3        | 11.76  |       | 38                    | 177.5        | 9.17   |       | 30                    | 141.3        | 7.3    |       |
| 0.5               |                        | 68                    | 313.3        | 16.19  |       | 51                    | 236.3        | 12.21  |       | 48                    | 222.8        | 11.51  |       |
| 0.752             |                        | 90                    | 412.9        | 21.33  |       | 78                    | 358.6        | 18.53  |       | 71                    | 326.9        | 16.89  |       |
| 1                 | 70.5                   | 118                   | 539.7        | 27.88  | 39.55 | 100                   | 458.2        | 23.67  | 33.58 | 82                    | 376.7        | 19.46  | 27.61 |
| 1.5               |                        | 148                   | 675.5        | 34.9   |       | 126                   | 575.9        | 29.75  |       | 101                   | 462.7        | 23.91  |       |
| 2                 | 105.5                  | 185                   | 843          | 43.55  | 41.28 | 166                   | 757          | 39.11  | 37.07 | 129                   | 589.5        | 30.46  | 28.87 |
| 2.5               |                        | 212                   | 965.2        | 49.86  |       | 188                   | 856.6        | 44.25  |       | 130                   | 594          | 30.69  |       |
| 3                 |                        | 230                   | 1046.6       | 54.07  |       | 198                   | 901.8        | 46.59  |       | 132                   | 603.1        | 31.16  |       |
| 3.937             |                        | 268                   | 1218.6       | 62.96  |       | 225                   | 1024         | 52.9   |       | 148                   | 675.5        | 34.9   |       |
| 5                 |                        | 315                   | 1431.2       | 73.94  |       | 252                   | 1146.2       | 59.22  |       | 162                   | 738.9        | 38.17  |       |

Fuente: [El Autor, Juipon, 2020.](#)

### 3.4.3.3.2. Gráfico de penetración del CBR.

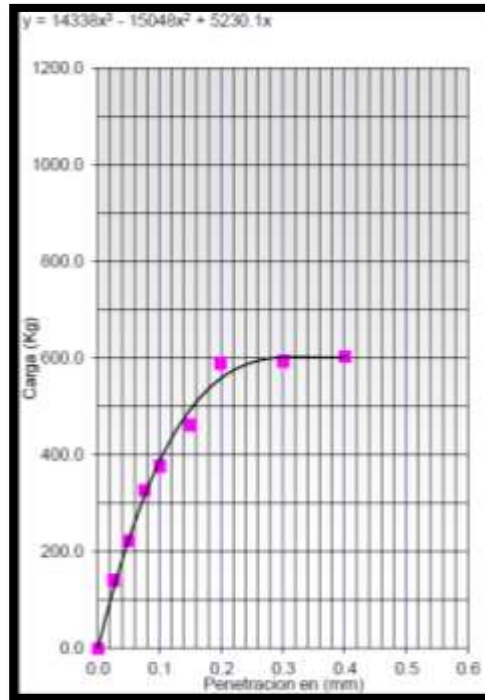


**FIGURA 26: Gráfico de penetración para la muestra de penetración + 20% de aditivo.**

Fuente: [El Autor, Juipon, 2020.](#)



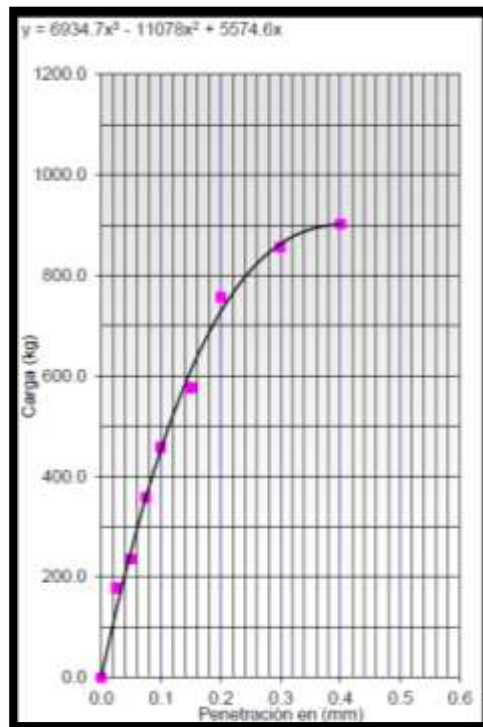
**3.4.3.3. Gráficos de penetración del CBR (20%) en distintas cantidades de golpes (golpes:12).**



**FIGURA 27: Gráfico entre la relación de la carga y la penetración (12 golpes).**

Fuente: [El Autor, Juipon, 2020.](#)

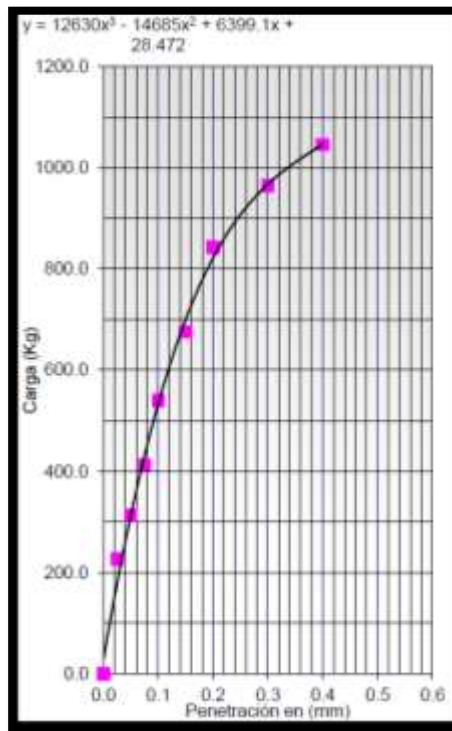
**3.4.3.3.4. Gráficos de penetración del CBR (20%) en distintas cantidades de golpes (golpes:25).**



**FIGURA 28: Gráfico entre la relación de la carga y la penetración (25 golpes).**

Fuente: [El Autor, Juipon, 2020.](#)

**3.4.3.3.5. Gráficos de penetración del CBR (20%) en distintas cantidades de golpes (golpes:56).**



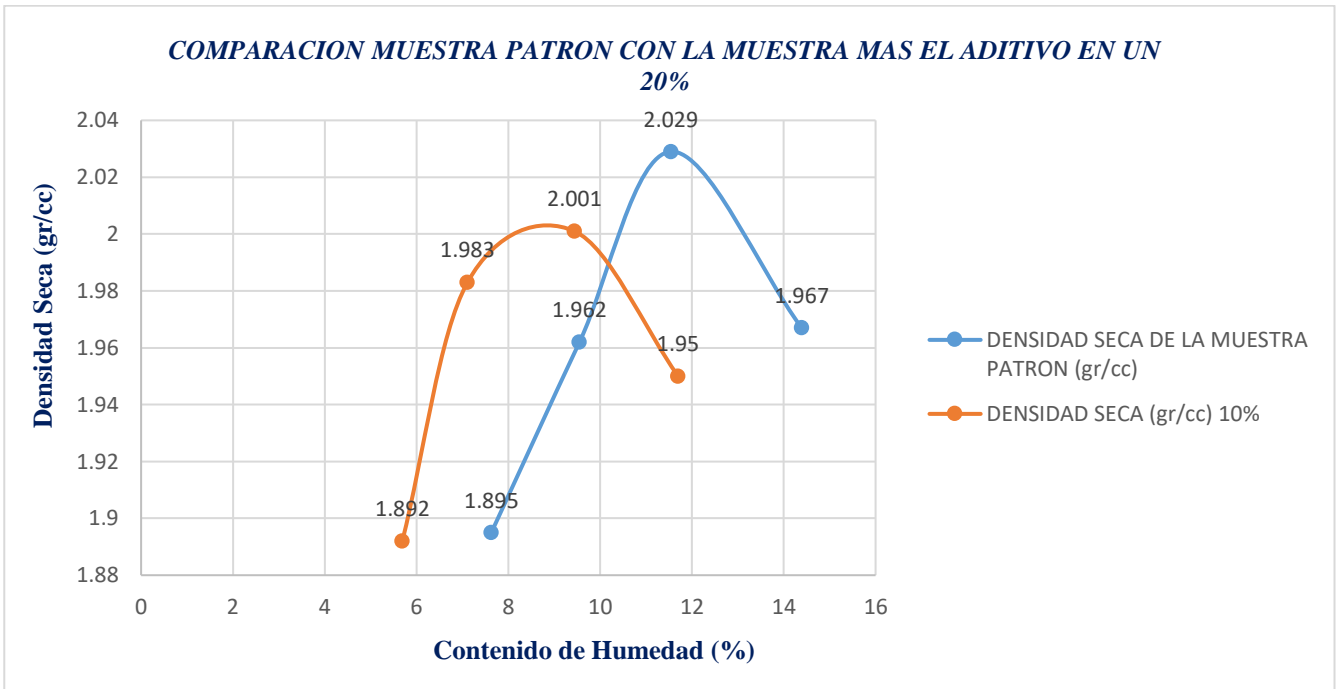
**FIGURA 29: Gráfico entre la relación de la carga y la penetración (56 golpes).**

Fuente: [El Autor, Juipon, 2020.](#)

### **3.5. Evaluación del efecto que tiene la enzima de Henequén en la muestra patrón con los porcentajes de 20 y 30%.**

#### **3.5.1. Evaluación del aditivo en un porcentaje del 20%, para la muestra patrón.**

##### **3.5.1.1. Comparación en el ensayo del Proctor modificado.**



**FIGURA 30: Comparación de la densidad seca entre la muestra patrón y la muestra con la adición del aditivo en un 20%.**

Fuente: **El Autor, Juipon, 2020.**

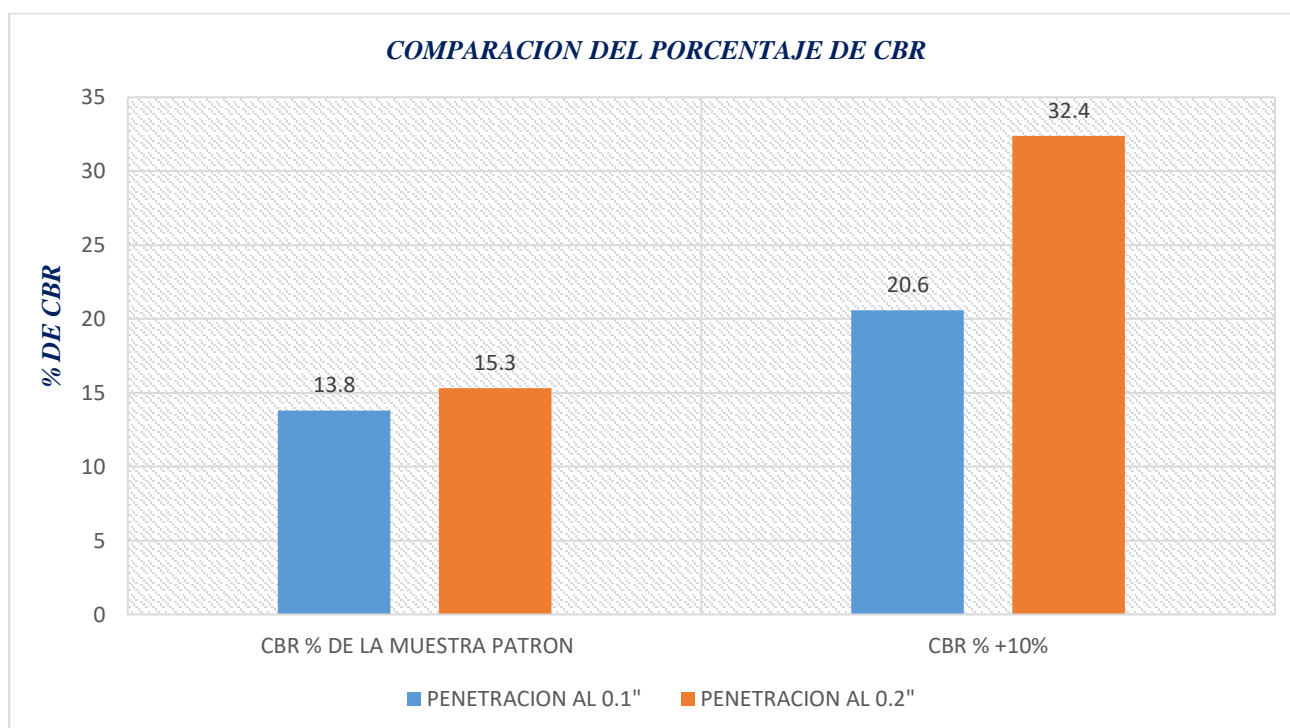
Como se puede visualizar en el grafico se puede ver como la densidad seca de la muestra patrón tiene una tendencia menos ensanchada o plana a comparación de la muestra con la adición de un 20% de la enzima de Henequén.

Esto se debe a que la muestra con la adición necesita un menor contenido de humedad para lograr alcanzar la densidad seca máxima.

Esto conlleva a que el efecto que tuvo el aditivo en la muestra patrón, aumento considerablemente en los aspectos de acuerdo al contenido de humedad.

Asimismo, existe una diferencia notable en cuanto a la cantidad de densidad seca que posee la muestra patrón y la muestra con el aditivo, la diferencia radica en el contenido de humedad, sin embargo, no existe una diferencia abismal entre la cantidad de densidad que tiene una muestra y otra.

### 3.5.1.2. Comparación en el ensayo del porcentaje del CBR.



**FIGURA 31: Comparación de los porcentajes de CBR entre la muestra patrón y la muestra con la adición del aditivo en un 20%.**

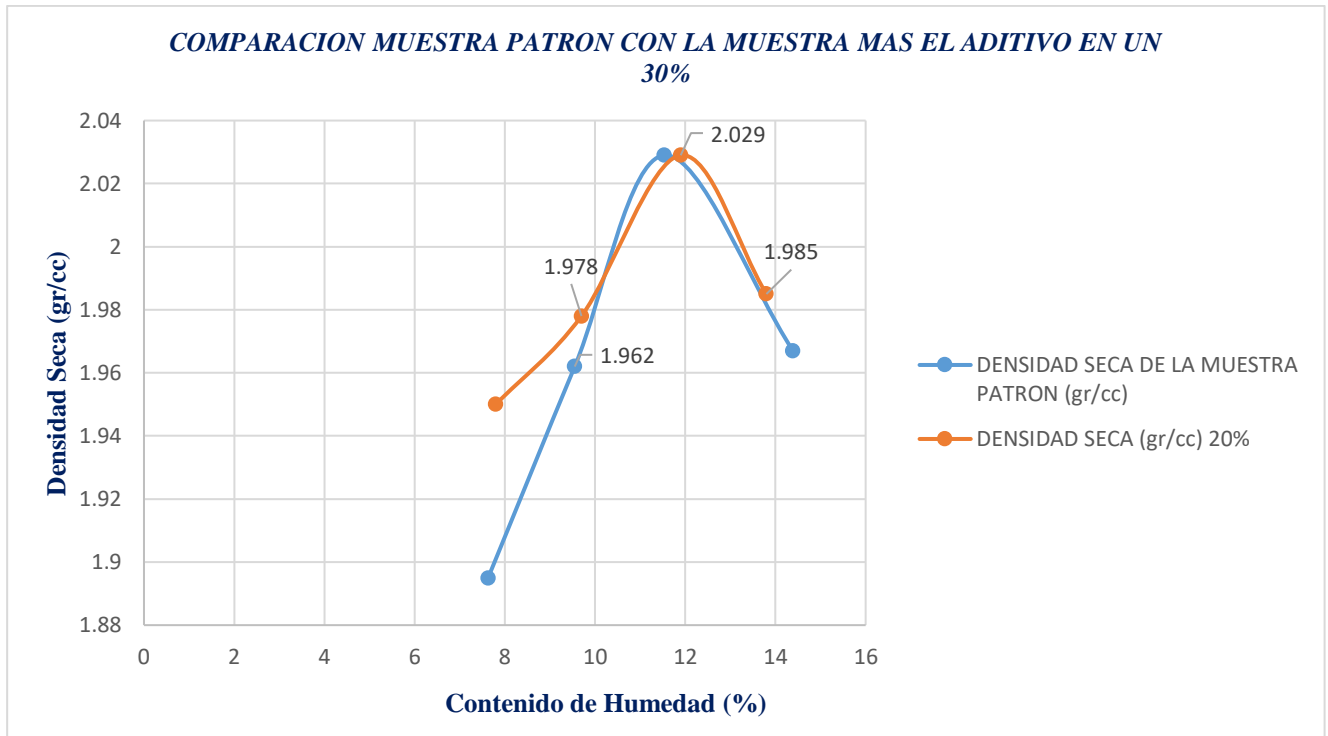
Fuente: **El Autor, Juipon, 2020.**

En cuanto a la diferencia de los ensayos del CBR como se puede apreciar en los gráficos el aumento de la capacidad de soporte relativo del suelo en relación a la muestra patrón y a la muestra con la adición del aditivo en un 20%, tiene un aumento del 49.28% para la muestra con la penetración al

0.1” y un aumento del 111.76% en cuanto a la penetración al 0.2”, con esto se demuestra notablemente que el aumento del CBR fue considerable.

### 3.5.2. Evaluación del aditivo en un porcentaje del 30%, para la muestra patrón.

#### 3.5.2.1. Comparación en el ensayo del Proctor modificado.



**FIGURA 32: Comparación de la densidad seca entre la muestra patrón y la muestra con la adición del aditivo en un 30%**

Fuente: **El Autor, Juipon, 2020.**

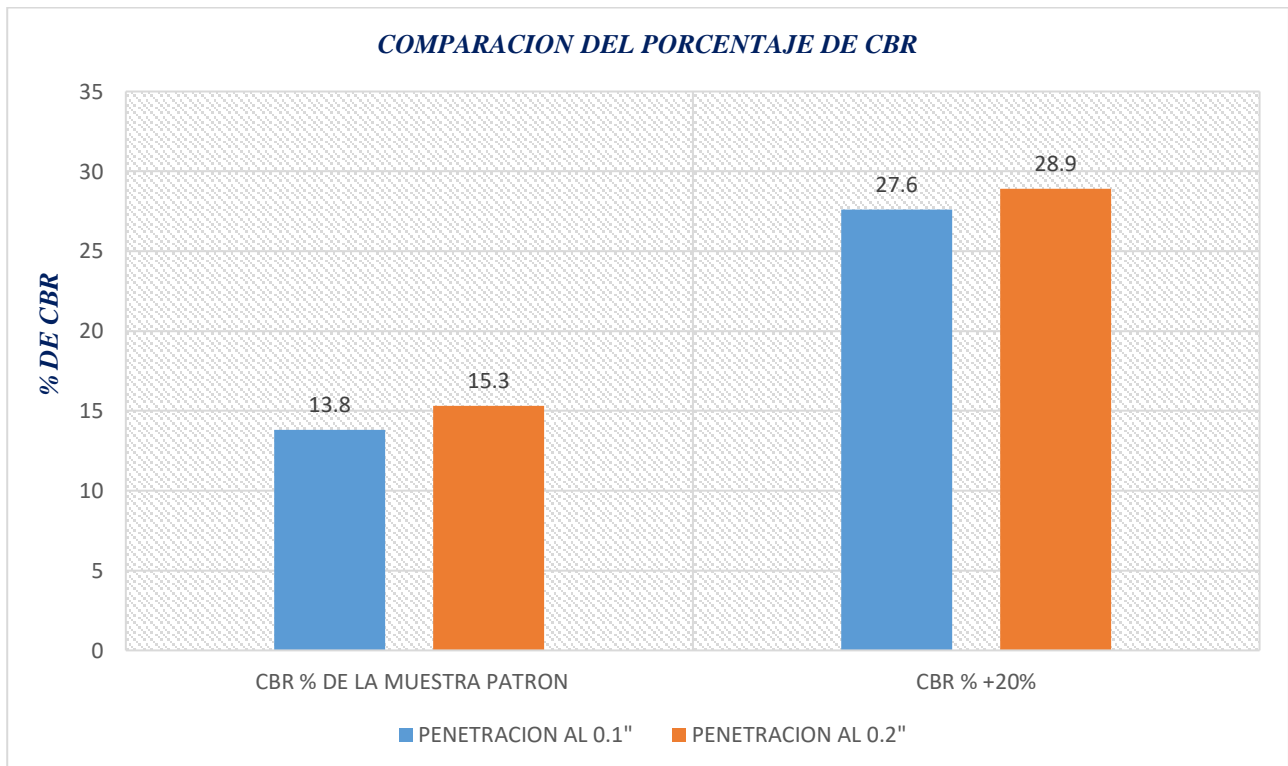
Como se puede visualizar en el grafico se puede ver como la densidad seca de la muestra patrón tiene una tendencia menos ensanchada o plana a comparación de la muestra con la adición de un 30% de la enzima de Henequén.

Esto se debe a que la muestra con la adición necesita un menor contenido de humedad para lograr alcanzar la densidad seca máxima.

Esto conlleva a que el efecto que tuvo el aditivo en la muestra patrón, aumento considerablemente en los aspectos de acuerdo al contenido de humedad.

Asimismo, existe una diferencia notable en cuanto a la cantidad de densidad seca que posee la muestra patrón y la muestra con el aditivo, la diferencia radica en el contenido de humedad, sin embargo, no existe una diferencia abismal entre la cantidad de densidad que tiene una muestra y otra.

### 3.5.2.2. Comparación en el ensayo del porcentaje del CBR.



**FIGURA 33: Comparación de los porcentajes de CBR entre la muestra patrón y la muestra con la adición del aditivo en un 30%**

Fuente: **El Autor, Juipon, 2020.**

En cuanto a la diferencia de los ensayos del CBR como se puede apreciar en los gráficos el aumento de la capacidad de soporte relativo del suelo en relación a la muestra patrón y a la muestra con la adición del aditivo en un 23%, tiene un aumento del 100.0% para la muestra con la penetración al 0.1” y un aumento del 188.88% en cuanto a la penetración al 0.2”, con esto se demuestra notablemente que el aumento del CBR fue considerable.

#### **IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN**

En relación a la investigación del autor Yucra que en su tesis denominada *Análisis del uso de aditivos Perma-zyme y cloruro cálcico en la estabilización de la base de la carretera no pavimentada (Desvió Huancane-Chupa)-Puno*, que tuvo como resultados una notable mejora en sus propiedades físicas, también se logró la mejora considerable en sus propiedades mecánicas, ello quiere decir un aumento de su densidad seca máxima y se obtuvo la mejora gradual, ello implica el aumento del valor del soporte relativo CBR en un 200%, en cuanto a las muestras de la cantera Punta y Yanahoco respectivamente, con las proporciones otorgadas para el mencionado agente estabilizador, el incremento gradual se obtuvo con respecto al valor del soporte relativo (CBR) inicial patrón. En comparación a los resultados que obtuve en la investigación, se obtuvo las mejoras en cuanto a las propiedades físicas y mecánicas, asimismo en el porcentaje del valor de soporte relativo por lo cual, se obtuvo una mejora de más del 200 %, por lo que comparando con los resultados del autor Yucra, el comportamiento que tienen las enzimas del permazyme son idénticas a las de Henequén; con ello dando lugar a una coincidencia en cuanto al comportamiento que tienen las enzimas al adicionarse con suelos que poseen una cohesión elevada.

En comparación a la investigación del autor Fernández que lleva por título Efecto del aditivo Terrazyme en la estabilización de suelos arcillosos de subrasantes en la zona de expansión de la ciudad de Cajamarca, el investigador obtuvo los



siguientes resultados en cuanto a la capacidad de soporte relativo, los valores máximos obtenidos por la combinación del suelo arcilloso, fueron en un 95% de entre 3,54 % a 4,30 % y en un 100% en 5,60% a 6,70 %. Realizando las comparaciones entre los valores que el autor obtuvo y los valores que se obtuvo adicionando las enzimas orgánicas de Henequén se puede inferir que también existe un grado considerable del aumento del CBR ya que los resultados que se obtuvo con la adición de las enzimas de Henequén fueron: al 95% de 27.6 % a 28,9% y al 100% 39.6 % a 41.3 %, por lo que se puede ver que la mejora de la capacidad de soporte es notable, sin embargo es necesario realizar siempre una mejora mecánica para que se complemente con la estabilización química.

Asimismo, el autor Salcedo en su tesis *Estabilización de suelos cohesivos por medio de aditivos (eco road 2000) para pavimentación en palian – Huancayo – Junín*, tuvo como objetivo evaluar el efecto del aditivo y este obtuvo que el aditivo tiende a realizar un proceso de contracción y expansión de los suelos cohesivos lo cual hace que se estabilice, el aditivo del eco road se basa en enzimas orgánicas de una mezcla de enzimas de papayas y cal tratada, en ese caso el efecto que tuvo el autor salcedo fue igual al del aditivo de Henequén ya que se basan en enzimas orgánicas.

En la investigación del autor cuadros en su tesis *Mejoramiento de las propiedades físico -mecánicas de la subrasante en una vía afirmada de la red vial departamental de la región Junín mediante la estabilización química con óxido de calcio – 2016*, realizó la adición del aditivo a base de una estabilización química para la subrasante con el óxido de calcio, lo cual mejoro considerablemente en sus propiedades físico-mecánicas, en ello la mejora se consideró de manera sustancial en la capacidad de soporte relativo del suelo cohesivo, realizando la comparación con los resultados obtenidos con el aditivo de Henequén se puede ver o distinguir que la estabilización química mejora la capacidad de soporte relativo sin embargo no mejorar las propiedades como la densidad , en este caso la relación de densidad

y humedad optima, por lo que se puede decir que la estabilización química requiere complementarse con una mejora ya sea física o mecánica.

## V. CONCLUSIONES

En cuanto a las características de la muestra patrón, dicha muestra presenta un nivel elevado de arcillas del tipo inorgánico, dicha muestra tuvo una clasificación AASHTO de A-7-5 y SUCS del CML – ML, cabe mencionar que dicho suelo posee propiedades de mala manejabilidad, asimismo dicho suelo es intolerante a la compactación, además, de no soportar las cargas indicadas llevándola al agrietamiento inminente.

En cuanto al uso del aditivo a base de enzimas de henequén se obtuvo una mejora en cuanto al incremento de la densidad seca máxima, pero dicha mejora no fue tan notable.

Pero si se tuvo una mejora física en cuanto a la capacidad de soporte relativo del suelo, ya que la adición del 20% se obtuvo un aumento máximo del 111.76% y con el 30% la mejora máxima fue del 188.88%; esto demuestra que el activo tiene un efecto de mejora física a la capa de la subrasante en un pavimento.

Asimismo, se concluyó que este método de estabilización solo es aplicable a mejoras no tan significativas, ya que la mejora solo tiene un efecto cuando hay la intervención de un agente que tenga propiedades de estabilización física, es decir mejorar la subrasante en el pavimento agregando el aditivo y un tipo de suelo tratado, claro que el costo de la mejora física no será tan elevada, puesto a que el aditivo tendrá una repercusión.

Finalmente se puede determinar que el aditivo tuvo un costo menor de fabricación, esto también no tiene una repercusión muy notable en cuanto a la depredación forestal ya que, se trata de un tipo de plantas muy abundantes en dicha zona y además de ser consideradas plantas residuales.

## **VI. RECOMENDACIONES**

En cuanto a la caracterización se recomienda realizar estudios de reacción con otro tipo de materiales que pueden verse beneficiados con este tipo de enzimas, es decir probar combinaciones distintas que lleguen a aumentar o estabilizar aún más los suelos que poseen una cohesión elevada.

Una recomendación para la determinación de las enzimas, es realizar un estudio exhaustivo y el comportamiento que poseen las enzimas mientras que este, este en el proceso de fermentación para saber cómo las enzimas tienden a evolucionar.

En este caso se recomienda aumentar los porcentajes de acción ya que los porcentajes adicionados en la investigación eran valores muy bajos por lo que se recomienda aumentar la dosificación de esta en 50 a 60%.

Se recomienda realizar estabilizaciones físico – mecánicas ya que la estabilización mediante procesos químicos como esta, tienden a no estar completa por lo que siempre dependería de un tipo de estabilización ya sea física o mecánica, por lo que podemos decir que esta estabilización química podría complementarse con estos tipos de estabilización.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cano, B. & Torres, A. (2007). *Las bondades del nopal*. *Revista de Construcción y Tecnología, Mexico D.F, Mexico*. Recuperado de <https://www.construccionyvivienda.com/2017/02/22/analizan-el-nopal-como-aditivo-para-materiales-de-construccion>.
- Celis C. (2007). *Mejora en la durabilidad de materiales base cemento utilizando adiciones deshidratadas de dos cactáceas*. *Tesis de licenciatura en ingeniería civil*. *Universidad Marista de Querétaro*. (Tesis de pregrado), Santiago de Querétaro, Querétaro, Chile. Recuperado de <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt326.pdf>.
- Céspedes G. & Marco A. (2003). *Resistencia a la compresión del concreto a partir de la Velocidad de pulsos de Ultrasonido*. (Tesis de Pregrado), Universidad de Piura. Perú. Recuperado de <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1338?locale-attribute=en>
- Harmsen, Teodor E. (2005). *Diseño de estructuras de concreto*. 4ta ed. *Fondo editorial de la pontificia Universidad Católica* (Artículo Científico), Editorial Stehven, Lima. Peru. Recuperado de <https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/diseño-de-estructuras-de-concreto-harmsen.pdf>
- Hernández Z. & Serrano G. (2003). *Use of nopal in the construction industry*. *Proceedings IX Mexican and VII International Congress on Knowledge and Use of Nopal*, (Artículo Científico). Mexico D.F. Mexico. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i7012e.pdf>
- Martínez W., Morales M., Alonso G., & Bedolla A. (2004). *Las adiciones de cactus opuntia blanco y su efecto sobre los morteros de albañilería elaborados con cal*, (Artículo Científico). *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, México D.F, México. Recuperado de

[http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB\\_UMICH/1591/FA-M-2016-0214.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/1591/FA-M-2016-0214.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Mather, B. & Ozyildirim, C. (2004). *Cartilla del concreto*, (Artículo Científico), Instituto Mexicano del cemento y del concreto. Recuperado de <https://www.slideshare.net/flaviorosarioflores/cartilla-del-concreto>

Rivva E. (2007). *Tecnología del Concreto. Diseño de mezclas. Segunda Edición*. (Artículo Científico), Editorial Trillas, Lima, Perú. Recuperado de [https://www.academia.edu/2136287/TECNOLOGIA\\_DEL\\_CONCRETO\\_DISEÑO\\_DE\\_MEZCLAS](https://www.academia.edu/2136287/TECNOLOGIA_DEL_CONCRETO_DISEÑO_DE_MEZCLAS)

Serrano F. (2010) *La calidad del concreto: responsabilidad del diseñador y del constructor*, (Innovación y Ciencia, Volumen XVII, No. 2, Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia. Medellín, Colombia, Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3400541.pdf>

Somayaji, Shan (1995). *Civil engineering materials. Englewood cliffs*, New Jersey. (Artículo Científico), Prentice Hall. Primera edición. U.S.A, Recuperado de [https://www.scirp.org/\(S\(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=492392](https://www.scirp.org/(S(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=492392)

Torrado, L. M, Porras, N. A. (2009). *Determinación de las ecuaciones del módulo de elasticidad estático y dinámico del concreto producido en Bucaramanga y su área metropolitana. Tesis*, (Tesis de Posgrado), Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín, Colombia, Recuperado de [https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/677/digital\\_18462.pdf?sequence=1](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/677/digital_18462.pdf?sequence=1)

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres Samuel Eduardo Mejía Echevarría y Johanna Pilar León Vega, quienes con su apoyo, cariño y esmero me supieron impulsar en todo momento.

A mis hermanos, que son personas fundamentales para llevar a cabo este Proyecto y quienes siempre están a mi lado apoyándome.

A mis compañeros de trabajos, por brindarme su apoyo en los buenos y malos momentos, por sus consejos y ayuda en la etapa universitaria.

A mis amigos y amigas, quienes siempre me han brindado su apoyo.

A mi tutor, Ing. Abel Rodríguez Izapaguirre y a mi asesor el Ing. Rubén López Carranza, por brindarme sus conocimientos y ser guía esencial para llevar a cabo este Trabajo de Titulación.

ANEXOS Y APÉNDICE

# ANEXOS



# **ANEXO N.º 01**

## ***MATRIZ DE CONSISTENCIA***

| Problemas   | Objetivos   | Marco Teórico  | Hipótesis  | Variables   | Metodología   |
|---|---|--|--|---|---|
| <p><b>Problema General</b></p> <p>¿Cuál es el efecto de adicionar enzimas orgánicas de henequén en la estabilización de suelos cohesivos en subrasantes en el caserío de Juipon distrito de pueblo libre?</p> | <p><b>Objetivo General</b></p> <p>Determinar el efecto al adicionar las enzimas orgánicas de Henequén en la estabilización de suelos cohesivos para el caserío de Juipon, distrito de Pueblo Libre.</p> <p><b>Objetivos Específicos</b></p> <p>-Caracterización de las enzimas orgánicas de Henequén como adición para la estabilización de los suelos cohesivos.</p> <p>-Determinar el proceso de fermentación de las enzimas orgánicas de Henequén para la adición a una muestra patrón y experimental de suelo cohesivo.</p> <p>-Adicionar las enzimas orgánicas de Henequén en los porcentajes del 20 y</p> | <p><b>Investigaciones en el Perú</b></p> <p>Fernández (2017)<br/>Efecto del aditivo Terrazyme en la estabilización de suelos arcillosos de subrasantes en la zona de expansión de la ciudad de Cajamarca.</p> <p>Salcedo (2017)<br/>Estabilización de suelos cohesivos por medio de aditivos (eco road 2000) para pavimentación en palian – Huancayo – Junín.</p> <p>Cuadros (2017)<br/>Mejoramiento de las propiedades físico - mecánicas de la subrasante en una vía afirmada de la red vial departamental de la región Junín mediante la estabilización química con óxido de calcio</p> | <p><b>Hipótesis General</b></p> <p>El efecto de adicionar enzimas orgánicas de henequén mejora la estabilización de suelos cohesivos en subrasantes en el caserío de Juipon, distrito de pueblo libre.</p> | <p><b>Variable Independiente</b></p> <p>Enzimas orgánicas de Henequén.</p> <p><b>Indicadores:</b></p> <p>- Contenido de calcio.</p> <p>-Contenido de hierro.</p> <p><b>Variable Dependiente</b></p> <p>Estabilización de suelos.</p> <p><b>Indicadores:</b></p> <p>-Reacción de la capilaridad.</p> <p>-Densidad Real.</p> <p>-Densidad Aparente.</p> | <p><b>Tipo:</b> Aplicada y Tecnología.</p> <p><b>Nivel:</b> Descriptivo – Explicativo.</p> <p><b>Diseño:</b> Experimental.</p> <p><b>Población y Muestra:</b></p> <p><b>Población:</b> Está conformado por el tramo Carapampa no asfaltado que se ubica en la progresiva 0+000 hasta 1+000 en el caserío de juipon.</p> <p><b>Muestra:</b> Se conforma por el primer kilómetro de la vía no asfaltada en el caserío de Juipon.</p> <p><b>Técnica e Instrumentos:</b></p> <p><b>Muestras:</b></p> <p>-Prospecciones de campo (calicatas).</p> <p>-Análisis Granulométrico por tamizado (Ensayo MTC EM 107.</p> |

|  |   |  |  |  |
|--|---|--|--|--|
|  | <p>30 % a la muestra patrón, que presenta características cohesivas en las subrasantes del caserío de Juipon, en el distrito de Pueblo Libre.</p> <p>-Evaluar el efecto de la adición de las enzimas orgánicas de Henequén en la estabilización de suelos cohesivos en las subrasantes del caserío de Juipon, en el distrito de Pueblo Libre.</p> |  |  | <p>-Ensayos De Laboratorio: Contenido de Humedad (MTC E108).</p> <p>-Índice de Plasticidad (Limite Liquido MTC EM 110, Limite Plástico MTC EM 111).</p> <p>-Clasificación de Suelos por el Sistema SUCCS y AASHTO.</p> <p>-Ensayo Proctor Modificado (ASTM D-1557, MTC – 115).</p> <p>-Ensayo de CBR (MTC EM 132).</p> |
|--|---|--|--|--|

**ANEXO N.º 02**  
***OPERACIONALIZACION DE***  
***VARIABLES***

| Variable(s)  | Definición conceptual   | Definición operacional   | Dimensiones | Indicadores   |
|--|---|--|-------------|---|
| V.I:<br>Enzimas orgánicas de Henequén.                   | Enzimas provenientes de la planta denominada Henequén, posee propiedades de adhesión muy elevadas. (Melendez,2003)  | La variable V.I se va a medir en función de los indicadores de las dimensiones Química y física.<br><br>Se realizará el porcentaje de adición a la muestra patrón n porcentajes de 20 y 30 %, con ello también se determinará la adhesión que tiene el aditivo con el suelo cohesivo, ello implica saber la densidad que posee el suelo con el aditivo impuesto. | Química     | Contenido de carbohidratos                                  |
|  |   |  |             | Contenido de calcio   |
|  |   |  |             | Contenido de hierro   |
|  |   |  | Física      | Adhesión  |
|  |   |  |             | Tensión superficial   |
|  |   |  |             | Densidad  |
| V.D:<br>Estabilización de suelos cohesivos en pavimentos | Define que son aquellos suelos que tienen una cantidad de arcillas muy elevadas, es decir son muy arcillosos dichos suelos tienen una mala resistencia a la compresión, ya que no están aptos para que funcionen como suelos de fundación. (Pérez, 2012). | El La variable V.I se va a medir en función de los indicadores de las dimensiones físicas, químicas.<br><br>El suelo cohesivo es un suelo que pasa la malla n°200 del estudio de granulometría que se obtiene del suelo de fundación.  | Química     | Reacción de la capilaridad                                  |
|  |   |  |             | Estado de conformación de las partículas del suelo cohesivo |
|  |   |  |             | Tiempo de reacción con aditivos                             |
|  |   |  | Física      | Densidad Aparente   |
|  |   |  |             | Densidad Real   |
|  |   |  |             | Estructura  |
|  |   |  |             | Textura   |
|  |   |  |             | Color   |

# **ANEXO N.º 03**

## ***RESULTADOS DE LABORATORIO***

# **GRANULOMETRIA**



**USP**  
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO**  
(NORMA AASHTO T-27, ASTM D422, MTC E 204)

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

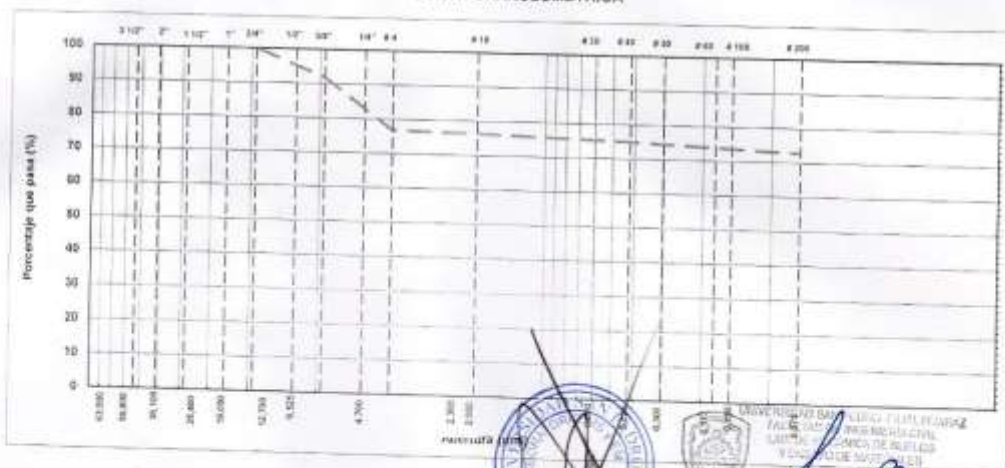
TESIS : "Efecto de Adicion de Enzimas Organicas de Henequen, para Estabilizacion de Suelos Cohesivos en Subrasantes, Jutapon - Pueblo Libre, Huaylas 2020"  
SOLICITA : **Bach. MEJIA LEON, EDWARD JAFFET**  
ELEMENTO : **Suelos**  
CANTERA :  
PRDG (KM) :  
HECHO POR : LAB USP  
ING. RESP. : J.S.M  
FECHA : 21-Ago-20

**DATOS DE LA MUESTRA**

CALCATA : 1.0  
MUESTRA : 01  
K/M :  
PROFUND : 1.5 M  
TAMANO MAXIMO : 3/4"  
PESO INICIAL : 40,505.0 g  
FRACCION LAVADA SECA : 31,105.0

| TAMIZ    | ANILLO I-27 | RESIDUO  | PORCENTAJE | RETENIDO  | RETENIDO ACUMULADO | PORCENTAJE | ESPECIFICACIONES | FORMULA DE TRABAJO | DESCRIPCION DE LA MUESTRA  |
|----------|-------------|----------|------------|-----------|--------------------|------------|------------------|--------------------|--|
|          | 9441        | RETENIDO | RETENIDO   | ACUMULADO | % Q.E. PASA        | USBC       |                  |                    |  |
| 3/16"    | 80.89       |          |            |           |                    |            |                  |                    |  |
| 3"       | 78.200      |          |            |           |                    |            |                  |                    |  |
| 2 1/2"   | 83.500      | 0.0      | 0.0        | 0.0       | 100.0              |            |                  |                    | %Peso Piedra: 25.2%  |
| 2"       | 50.900      | 0.0      | 0.0        | 0.0       | 100.0              |            |                  |                    | % Peso arena: 76.8%  |
| 1 1/2"   | 38.100      | 0.0      | 0.0        | 0.0       | 100.0              |            |                  |                    | Limite Líquido (LL): 24.48   |
| 1"       | 25.400      | 0.0      | 0.0        | 0.0       | 100.0              |            |                  |                    | Limite Plástico (LP): 19.37  |
| 3/4"     | 19.050      | 0.0      | 0.0        | 0.0       | 100.0              |            |                  |                    | Índice Plástico (IP): 6.63   |
| 1/2"     | 12.700      | 870.0    | 2.3        | 2.1       | 97.9               |            |                  |                    | Clasificación(SUCS): ME-CL   |
| 3/8"     | 9.525       | 2476.0   | 6.1        | 8.3       | 91.7               |            |                  |                    | Clasific(AASHTO): A-4 (1.4)  |
| 1/4"     | 6.325       | 3800.0   | 9.4        | 17.6      | 82.4               |            |                  |                    | % Humedad: 2.2%  |
| # 4      | 4.750       | 2256.0   | 5.6        | 23.2      | 76.8               |            |                  |                    |  |
| # 10     | 2.000       | 166.0    | 0.4        | 23.6      | 76.4               |            |                  |                    |  |
| # 18     | 1.180       | 78.5     | 0.2        | 23.8      | 76.2               |            |                  |                    |  |
| # 20     | 0.840       | 43.6     | 0.1        | 23.9      | 76.1               |            |                  |                    |  |
| # 30     | 0.600       | 216.1    | 0.5        | 24.5      | 75.5               |            |                  |                    |  |
| # 40     | 0.420       | 219.4    | 0.5        | 25.0      | 75.0               |            |                  |                    | OBSERVACIONES :<br>LIMO BAJA PLASTICIDAD<br>ARCILLA BAJA PLASTICIDAD |
| # 50     | 0.300       | 218.1    | 0.5        | 25.5      | 74.5               |            |                  |                    |  |
| # 60     | 0.177       | 204.6    | 0.5        | 26.0      | 74.0               |            |                  |                    |  |
| # 100    | 0.150       | 206.1    | 0.6        | 26.7      | 73.3               |            |                  |                    |  |
| # 200    | 0.075       | 207.2    | 0.5        | 27.2      | 72.8               |            |                  |                    |  |
| # N° 300 | FONDO       | 29,488.7 | 72.8       | 100       |                    |            |                  |                    |  |
| FRACCION |             | 31,105.0 |            |           |                    |            |                  |                    |  |
| TOTAL    |             | 40,505.0 |            |           |                    |            |                  |                    |  |

**CURVA GRANULOMETRICA**



ING. JOSE ERNESTO SANCHEZ MONTERO  
CIP: 0751



## **LIMITES DE CONSISTENCIA**



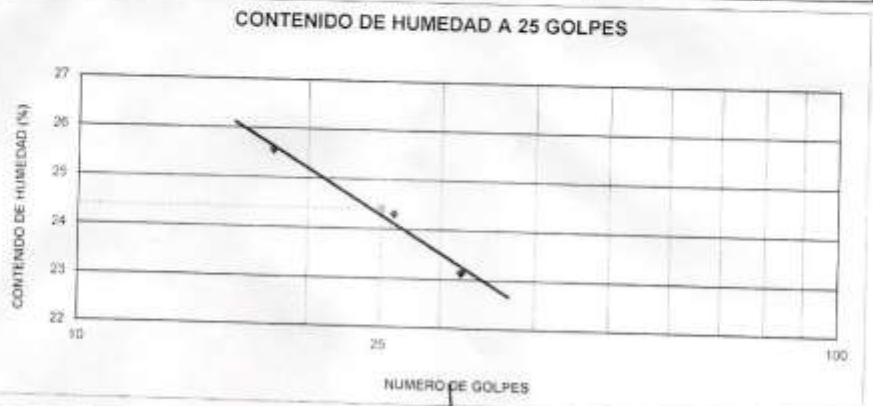
**LIMITES DE CONSISTENCIA-PASA LA MALLA N°40**  
(NORMA: AASHTO T-89, T-90, ASTM D 4318)

|  |   |          |            |
|--|---|----------|------------|
| <b>LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS</b> |   |          |            |
| TESIS:   | "Efecto de Adición de Enzimas Orgánicas de Hueso de Hueso, para Estabilización de Suelos Cohesivos en Substratos, Junipón - Pueblo Libre, Huaylas 2020" |          |            |
| SOLICITA:  | <b>Bach. MEJIA LEON, EDWARD JAFFET</b>  |          |            |
| DISTRITO:  | HUARAZ  | HECHO:   | USP        |
| PROVINCIA:   | HUARAZ  | FECHA:   | 21/08/2020 |
|  |   | FORMATO: |            |

| DATOS DE LA MUESTRA |              |
|---------------------|--------------|
| CALICATA:           | 0            |
| MUESTRA:            | N° 01 SUELOS |
| PROF. (m):          | 1            |

| LIMITE LIQUIDO            |     |       |       |       |
|---------------------------|-----|-------|-------|-------|
| N° TARRO                  |     | 10    | 17    | 12    |
| PESO TARRO + SUELO HUMEDO | (g) | 58.24 | 57.34 | 58.17 |
| PESO TARRO + SUELO SECO   | (g) | 50.11 | 51.39 | 52.35 |
| PESO DE AGUA              | (g) | 6.13  | 5.95  | 5.82  |
| PESO DEL TARRO            | (g) | 26.13 | 26.92 | 27.20 |
| PESO DEL SUELO SECO       | (g) | 23.98 | 24.47 | 25.15 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD      | (%) | 25.50 | 24.32 | 23.14 |
| NUMERO DE GOLPES          |     | 10    | 25    | 32    |

| LIMITE PLASTICO           |     |       |       |  |
|---------------------------|-----|-------|-------|--|
| N° TARRO                  |     | 4     | 34    |  |
| PESO TARRO + SUELO HUMEDO | (g) | 32.32 | 31.37 |  |
| PESO TARRO + SUELO SECO   | (g) | 31.44 | 30.63 |  |
| PESO DE AGUA              | (g) | 0.88  | 0.74  |  |
| PESO DEL TARRO            | (g) | 26.71 | 28.55 |  |
| PESO DEL SUELO SECO       | (g) | 4.73  | 4.08  |  |
| CONTENIDO DE DE HUMEDAD   | (%) | 18.60 | 18.14 |  |



| CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA |       |
|----------------------------------|-------|
| LIMITE LIQUIDO                   | 24.40 |
| LIMITE PLASTICO                  | 18.37 |
| INDICE DE PLASTICIDAD            | 6.03  |



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y FUNDACIONES  
VIA DE INVESTIGACION

*Ing. José Ernesto Sotelo Montiel*  
CIP: 70751  
JEFE

# **PROCTOR MODIFICADO**



**USP**  
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO**  
ASTM D - 1557

|           |  |                         |
|-----------|--|-------------------------|
| PROYECTO  | Efecto de Adición de Enzimas Orgánicas de Hongo, para Estabilización de Suelos<br>Cobrosivos en Subsecciones, Junon - Pueblo Libre. Huaylas 2020 | LAB-2020                |
| SOLICITA  | Bach. MEHA LEON, EDWARD JAFFET   | Fecha: 21/08/2020       |
| MATERIAL  | SUELOS PATRON  | Realizado por:          |
| CALICATA  | N° 01  | Revisado por:           |
| UBICACIÓN | 8  | Certificado N°: USP LAB |

|                  |    |                         |      |                                      |         |
|------------------|----|-------------------------|------|--------------------------------------|---------|
| Grapas / Capas:  | 36 | Peso de martillo:       | 4.54 | Altura de Molde (cm):                | 11.70   |
| Numero de Capas: | 3  | Diámetro de Molde (cm): | 15.2 | Volumen de molde (cm <sup>3</sup> ): | 2838.00 |

| METODO "A"                           |         |                   |                      |         |  |
|--------------------------------------|---------|-------------------|----------------------|---------|--|
| VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> ) | 2838.00 |                   |                      |         |  |
| TIPO DEL MOLDE (gr.)                 | 4102    |                   |                      |         |  |
| NUMERO DE VIBRACIONES                | 1       | 2                 | 3                    | 4       |  |
| PESO SUELO + MOLDE (gr.)             | 4087.00 | 4160.00           | 4299.00              | 4280.00 |  |
| PESO DEL MOLDE (gr.)                 | 4102.00 | 4102.00           | 4102.00              | 4102.00 |  |
| PESO SUELO HUMEDADO COMPACTADO (gr.) | 1985.00 | 1958.00           | 2197.00              | 2078.00 |  |
| DENSIDAD HUMEDA (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.141   | 2.136             | 2.284                | 2.250   |  |
| DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> )   | 1.826   | 1.862             | 2.119                | 1.967   |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD                 |         |                   |                      |         |  |
| MOEDURAS (%)                         | 11      | 10                | 7                    | 11      |  |
| PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr.)       | 891.00  | 890.00            | 929.00               | 914.00  |  |
| PESO SUELOS SECO + TARA (gr.)        | 802.00  | 805.00            | 799.00               | 810.00  |  |
| PESO DE LA TARA (gr.)                | 165.00  | 163.00            | 167.00               | 166.00  |  |
| PESO DE AGUA (gr.)                   | 87.00   | 85.00             | 130.00               | 104.00  |  |
| HUMEDAD SUELO SECO (%)               | 10.85   | 10.56             | 14.34                | 12.83   |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)             | 7.03    | 8.58              | 11.84                | 14.39   |  |
| RESOLUCION TECNICO SECO              | 1.826   | 1.862             | 2.029                | 1.867   |  |
| DENSIDAD MAXIMA SECA                 | 2.029   | g/cm <sup>3</sup> | HUMEDAD OPTIMA: 11.5 |         |  |



UNIVERSIDAD SAN PEDRO - I.I. DEL HUAYLA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y ESTADOS DE MATERIA  
Ing. Jesus Ernesto Sotelo Montes  
CIP: 78751  
JEFE

RECTORADO: Av. José Pardo 194 Chimbote / Peru - Telf.: (043) 483320  
CAMPUS UNIVERSITARIA: Urb. Los Pinos Telf.: (043) 483222 / 483817 / 483201 - Av. Bolognesi 421 Telf.: (043) 483810  
Nuevo Chimbote Av. Pacifico y Anchoyeta Telf.: (043) 483802 / San Luis Telf.: (043) 483826  
OFICINA DE ADMISION: Esq. Aguirre y Espinar - Telefono: 043 345899 - www.usanpedro.edu.pe - facebook/ Universidad San Pedro



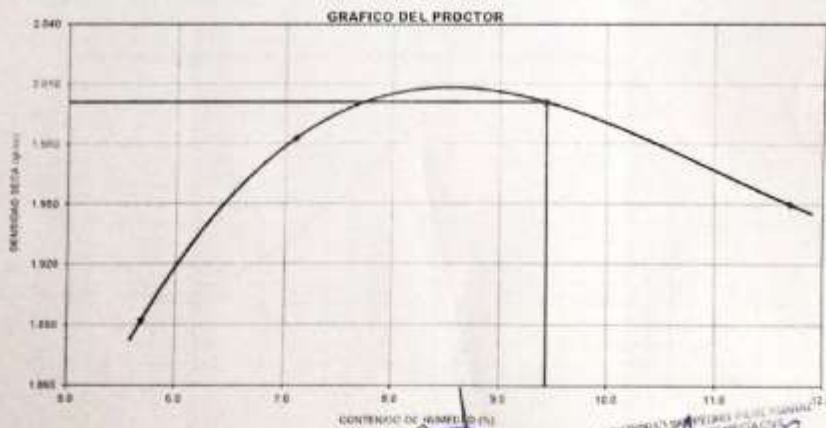
**USP**  
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO**  
ASTM D - 1557

|           |  |                |            |
|-----------|--|----------------|------------|
| PROYECTO  | Elación de Adición de Enzimas Orgánicas de Hongos, para Estabilización de Sólidos Coesivos en Substratos, Junon - Pueblo Libre, Huaylas 2020 | Informe N°     | LAB-2020   |
| SOLICITA  | Bach. MEJIA LEON, EDWARD JAFFET  | Fecha          | 21/08/2020 |
| MATERIAL  | SUELOS + 100 m. ENZIMAS ORGANICAS  | Realizado por  |            |
| CALCATA   | N° 01  | Revisado por   |            |
| UBICACION | 0  | Certificado N° | USP-CAB    |

|                 |    |                        |      |                                     |         |
|-----------------|----|------------------------|------|-------------------------------------|---------|
| Golpes / Capas  | 26 | Peso de martillo       | 4.53 | Altura de Molde (cm)                | 11.75   |
| Numero de Capas | 5  | Diámetro de Molde (cm) | 10.2 | Volumen de molde (cm <sup>3</sup> ) | 1073.00 |

| MÉTODO "A"                            |             |         |                |         |      |  |
|---------------------------------------|-------------|---------|----------------|---------|------|--|
| VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )  | 1073.00     |         |                |         | 4192 |  |
| NUMERO DE ENSAYOS                     |             |         |                |         |      |  |
| PESO SUELO + MOLDE (gr)               | 1           | 2       | 3              | 4       |      |  |
| PESO DEL MOLDE (gr)                   | 4192.20     | 4192.80 | 4192.00        | 4192.00 |      |  |
| PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO (gr)     | 1816.36     | 1973.00 | 2034.00        | 2023.60 |      |  |
| DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> ) | 2.100       | 2.124   | 2.188          | 2.178   |      |  |
| DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )   | 1.862       | 1.883   | 2.001          | 1.950   |      |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD                  |             |         |                |         |      |  |
| RECIPENTE No.                         | 1           | 2       | 3              | 4       |      |  |
| PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr)         | 982.30      | 811.84  | 882.47         | 878.33  |      |  |
| PESO SUELOS SECO + TARA (gr)          | 819.70      | 802.20  | 759.90         | 758.00  |      |  |
| PESO DE LA TARA (gr)                  | 188.20      | 188.40  | 188.90         | 184.50  |      |  |
| PESO DE AGUA (gr)                     | 42.90       | 49.44   | 61.37          | 59.53   |      |  |
| PESO DE SUELO SECO (gr)               | 730.80      | 605.80  | 663.00         | 594.30  |      |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)              | 5.88        | 7.11    | 8.44           | 11.70   |      |  |
| PESO VOLUMETRICOS                     | 1.882       | 1.883   | 2.001          | 1.950   |      |  |
| DENSIDAD MAXIMA SECA                  | 2.001 gr/cc |         | HUMEDAD OPTIMA |         | 9.4  |  |



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
LAB. DE MECANICA DE SUELOS  
Y FUNDACIONES DE MATERIAS  
Ing. Jesus Ernesto Solís Morales  
CIP: 70761  
JEFE

RECTORADO: Av. José Pardo 194 Chimbote / Perú - Telf.: (043) 483320  
CAMPUS UNIVERSITARIA: Urb. Los Pinos Telf.: (043) 483222 / 483817 / 483201 - Av. Bolognesi 421 Telf.: (043) 483810  
Nueva Chimbote Av. Pacífico y Anchoyeta Telf.: (043) 483802 / San Luis Telf.: (043) 483826  
OFICINA DE ADMISION: Esq. Aguirre y Espinar - Teléfono: 043 345899 - www.usapedro.edu.pe - facebook/ Universidad San Pedro





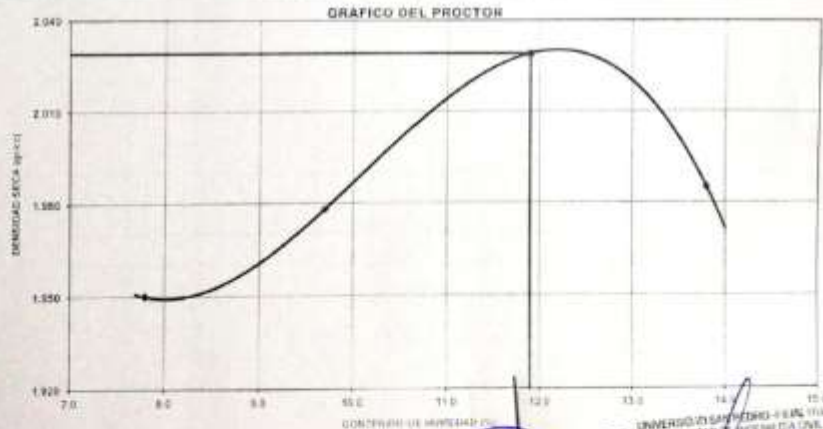
**USP**  
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO**  
AS 1M D - 1557

|           |   |                         |
|-----------|---|-------------------------|
| PROYECTO  | Tiempo de Adición de Enzimas Orgánicas de Heterocitos para Estabilización de Suelos Cohesivos en Substratos, Japon - Pueblo Libre, Huancayo, 2020 | LAB-2020                |
| SOLICITA  | Barb. MEJIA LEON, EDWARD JAFFE I  | Fecha: 21/08/2020       |
| MATERIAL  | SUELOS + 120 ml. ENZIMAS ORGANICAS  | Realizado por           |
| CALICATA  | N° 01   | Revisado por            |
| UBICACIÓN | 0   | Certificado N°: USP-LAB |

|                 |    |                        |      |                                     |        |
|-----------------|----|------------------------|------|-------------------------------------|--------|
| Delores + Capas | 00 | Peso de muestra        | 4.54 | Altura de Molde (cm)                | 11.70  |
| Numero de Capas | 5  | Diámetro de Molde (cm) | 10.0 | Volumen de molde (cm <sup>3</sup> ) | 979.00 |

| MÉTODO "A"                            |                      |         |                |         |      |  |
|---------------------------------------|----------------------|---------|----------------|---------|------|--|
| VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )  | PESO DEL MOLDE (gr.) |         |                |         | 4192 |  |
| NUMERO DE ENSAYOS                     | 1                    | 2       | 3              | 4       |      |  |
| PESO SUELO + MOLDE (gr)               | 8141.00              | 8288.00 | 8301.00        | 8291.00 |      |  |
| PESO DEL MOLDE (gr)                   | 4182.00              | 4182.00 | 4182.00        | 4182.00 |      |  |
| PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO (gr)     | 3959.00              | 4106.00 | 4119.00        | 4109.00 |      |  |
| DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> ) | 2.102                | 2.129   | 2.170          | 2.209   |      |  |
| DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )   | 1.850                | 1.880   | 2.029          | 1.985   |      |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD                  |                      |         |                |         |      |  |
| PROBANTE No.                          | 1                    | 2       | 3              | 4       |      |  |
| PESO SUELO HUMEDO + TARA (gr)         | 814.80               | 888.20  | 887.87         | 889.37  |      |  |
| PESO SUELO SECO + TARA (gr)           | 767.70               | 810.20  | 786.80         | 802.50  |      |  |
| PESO DE LA TARA (gr)                  | 160.30               | 160.50  | 109.50         | 174.20  |      |  |
| PESO DE AGUA (gr)                     | 42.10                | 57.52   | 71.07          | 86.87   |      |  |
| PESO DE SUELO SECO (gr)               | 604.20               | 649.70  | 677.30         | 628.30  |      |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)              | 7.04                 | 8.79    | 11.38          | 13.80   |      |  |
| PESO VOLUMETRICO SECO                 | 1.866                | 1.974   | 2.029          | 1.986   |      |  |
| DENSIDAD MAXIMA SECA                  | 2.029                | gr/cc   | HUMEDAD OPTIMA |         | 11.9 |  |



UNIVERSIDAD SAN PEDRO - SAN PAVO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
LAB. DE MECANICA DE SUELOS  
Y ENZIMAS DE NATURALIA  
Ing. Jesús Ernesto Sotelo Montes  
CIP: 70751  
JEFE

RECTORADO: Av. José Pardo 194 Chimbote / Perú - Telf.: (043) 483320  
CAMPUS UNIVERSITARIA: Urb. Los Pinos Telf.: (043) 483222 / 483617 / 483201 - Av. Biolognesi 421 Telf.: (043) 483810  
Nuevo Chimbote Av. Pacifico y Anchoqueta Telf.: (043) 483802 / San Luis Telf.: (043) 483826  
DECANATO DE ADMISION: Esq. Aquirre y Espinar - Teléfono: 043 345899 - www.usanpedro.edu.pe - facebook/ Universidad San Pedro

## **DATOS (CBR)**



**ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA CBR**  
NORMA ASTM D 1983, AASHTO T-193

|           |   |                          |
|-----------|---|--------------------------|
| PROYECTO  | Efecto de Adición de Ervicios Orgánicas de Heteroquen, para Estabilización de Suelos<br>Cohesivos en Subrasantes, Japón - Pueblo Libre, Huaylas 2020* | Informe N° : LAB-0028    |
| BOJICITA  | Bach. MEJIA LEON, EDWARD JAFFET   | Fecha : 01/08/2020       |
| MATERIAL  | : SUELOS PATRON   | Realizado por :          |
| CALCATA   | : N° 01   | Revisado por :           |
| UBICACIÓN | 0   | Certificado N° : USP LAB |

|                           |                       | 4           |          | 7           |          | 10          |          |
|---------------------------|-----------------------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|
|                           |                       | 5           | 5        | 5           | 5        | 5           | 5        |
| Molde N°                  |                       | 50          |          | 25          |          | 12          |          |
| N° Capa                   |                       | 50          |          | 25          |          | 12          |          |
| Colores por capa N°       |                       | 50          |          | 25          |          | 12          |          |
| Cond. de la muestra       |                       | NO SATURADO | SATURADO | NO SATURADO | SATURADO | NO SATURADO | SATURADO |
| Peso molde + suelo húmedo | (gr)                  | 1385        | 1376     | 1737        | 1244     | 1373        | 1204     |
| Peso de molde             | (gr)                  | 594         | 704      | 795         | 795      | 797         | 797      |
| Peso de suelo húmedo      | (gr)                  | 471         | 476      | 472         | 449      | 424         | 405      |
| Volumen del molde         | (cm <sup>3</sup> )    | 2009        | 2009     | 2024        | 2009     | 2009        | 2009     |
| Densidad húmeda           | (gr/cm <sup>3</sup> ) | 2.329       | 2.371    | 2.195       | 2.199    | 2.070       | 2.109    |
| Humedad                   | (%)                   | 10.91       | 12.61    | 11.19       | 12.71    | 10.70       | 12.80    |
| Densidad seca             | (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.992       | 1.969    | 1.943       | 1.951    | 1.879       | 1.862    |
| Tartu N°                  |                       | 16          | 44       | 8           | 40       | 42          | 40       |
| Tartu + Suelo húmedo      | (gr)                  | 856.2       | 884.1    | 1030.7      | 808.7    | 1084.7      | 936.7    |
| Tartu + Suelo seco        | (gr)                  | 881.2       | 884.1    | 924.8       | 824.7    | 977.6       | 822.4    |
| Peso del Agua             | (gr)                  | 78.00       | 80.00    | 85.90       | 84.00    | 87.10       | 84.30    |
| Peso del tartu            | (gr)                  | 185.70      | 185.50   | 186.90      | 183.90   | 185.50      | 183.80   |
| Peso del suelo seco       | (gr)                  | 715.5       | 834.6    | 707.9       | 660.8    | 814.1       | 658.5    |
| Humedad                   | (%)                   | 10.90       | 12.61    | 11.19       | 12.71    | 10.70       | 12.80    |
| Porcentaje de Humedad     | (%)                   | 10.90       | 12.61    | 11.19       | 12.71    | 10.70       | 12.80    |

**EXPANSION**

| FECHA | HORA | TIEMPO Hr. | DIAL | EXPANSION |   | DIAL | EXPANSION |   | DIAL | EXPANSION |   |
|-------|------|------------|------|-----------|---|------|-----------|---|------|-----------|---|
|       |      |            |      | mm        | % |      | mm        | % |      | mm        | % |
|       |      |            |      |           |   |      |           |   |      |           |   |

**PENETRACION**

| PENETRACION mm | CARGA STAND. kg/cm <sup>2</sup> | MOLDE N° 4        |              |                    |       | MOLDE N° 7        |              |                    |       | MOLDE N° 10       |              |                    |       |
|----------------|---------------------------------|-------------------|--------------|--------------------|-------|-------------------|--------------|--------------------|-------|-------------------|--------------|--------------------|-------|
|                |                                 | Lectura Dial (mm) | Carga Ensayo |                    | CBR % | Lectura Dial (mm) | Carga Ensayo |                    | CBR % | Lectura Dial (mm) | Carga Ensayo |                    | CBR % |
|                |                                 |                   | kg           | kg/cm <sup>2</sup> |       |                   | kg           | kg/cm <sup>2</sup> |       |                   | kg           | kg/cm <sup>2</sup> |       |
| 0.000          |                                 | 0                 | 0.0          | 0.00               |       | 0                 | 0.0          | 0.00               |       | 0                 | 0.0          | 0.00               |       |
| 0.250          |                                 | 45                | 206.3        | 10.83              |       | 27                | 173.8        | 8.94               |       | 20                | 96.0         | 4.95               |       |
| 0.500          |                                 | 90                | 277.1        | 14.32              |       | 54                | 269.9        | 12.91              |       | 25                | 118.0        | 6.13               |       |
| 0.752          |                                 | 135               | 330.0        | 17.30              |       | 81                | 269.7        | 13.49              |       | 34                | 158.4        | 8.23               |       |
| 1.000          | 10.90                           | 180               | 386.9        | 20.10              | 28.83 | 108               | 358.2        | 17.35              | 24.82 | 40                | 228.2        | 12.01              |       |
| 1.500          |                                 | 225               | 444.2        | 22.21              |       | 135               | 360.3        | 20.18              |       | 51                | 239.3        | 12.21              |       |
| 2.000          | 10.90                           | 270               | 503.9        | 26.01              | 24.98 | 180               | 438.0        | 22.58              | 21.90 | 61                | 291.8        | 14.90              |       |
| 2.500          |                                 | 315               | 555.0        | 30.22              |       | 225               | 528.1        | 27.18              |       | 69                | 317.9        | 16.42              |       |
| 3.000          |                                 | 360               | 598.8        | 33.60              |       | 270               | 571.4        | 29.62              |       | 75                | 345.0        | 17.80              |       |
| 3.500          |                                 | 405               | 737.2        | 36.54              |       | 315               | 585.0        | 30.22              |       | 81                | 417.5        | 21.57              |       |
| 5.000          |                                 | 540               | 820.3        | 42.18              |       | 405               | 675.5        | 34.80              |       | 105               | 680.9        | 24.94              |       |

UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS  
YERBA BUENA, PERU  
Ing. Juan Carlos Soto Mestas  
N° 20751  
J.P.E.





**USP**  
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

**ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA CBR**  
NORMA ASTM D 1983, AASHTO T-193

PROYECTO: "Ejecución de Adición de Enzimas Organicas de Hongos, para Contracción de Suelos Colapsables en Substratos, Japon - Pueblo Libre, Huancayo 2020" Informe N°: LAB-2020  
SOLICITA: **Ba. MEJIA LEON, EDWARD JAFFET**  
MATERIAL: SUELOS + 100mm, ENZIMAS ORGANICAS  
CALCULATA: N° 88 Fecha: 25/08/2020  
UBICACIÓN: 0 Revisado por:  
Certificado N°: USP-LAB

| Molde N°                  | N° Capas              | Cortes por capa N° | Cond. de la muestra | 4            |              | 5            |              | 6            |              |
|---------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                           |                       |                    |                     | NO SATURADO  | SATURADO     | NO SATURADO  | SATURADO     | NO SATURADO  | SATURADO     |
| Peso molde + suelo húmedo | (gr)                  | 13673              | 13630               | 13138        | 12263        | 12128        | 12128        | 12128        | 12128        |
| Peso de molde             | (gr)                  | 7584               | 7584                | 7575         | 7575         | 7575         | 7575         | 7575         | 7575         |
| Peso del suelo húmedo     | (gr)                  | 4489               | 4636                | 4223         | 4285         | 4164         | 4285         | 4164         | 4285         |
| Volumen del molde         | (cm <sup>3</sup> )    | 2049               | 2050                | 2050         | 2050         | 2041         | 2041         | 2041         | 2041         |
| Densidad húmeda           | (gr/cm <sup>3</sup> ) | 2.170              | 2.241               | 2.060        | 2.090        | 2.040        | 2.090        | 2.040        | 2.100        |
| Humedad (%)               |                       | 9.72               | 10.40               | 9.58         | 10.05        | 9.88         | 10.05        | 9.88         | 9.97         |
| Densidad seca             | (gr/cm <sup>3</sup> ) | <b>1.878</b>       | <b>2.029</b>        | <b>1.880</b> | <b>1.889</b> | <b>1.897</b> | <b>1.897</b> | <b>1.897</b> | <b>1.882</b> |
| Tarro N°                  |                       | 8                  | 34                  | 23           | 21           | 37           | 5            |              |              |
| Tarro + Suelo húmedo      | (gr)                  | 810.4              | 888.2               | 876.4        | 838.8        | 898.3        | 888.2        |              |              |
| Tarro + Suelo seco        | (gr)                  | 861.8              | 879.8               | 885.5        | 784.4        | 826.8        | 793.8        |              |              |
| Peso del Agua             | (gr)                  | 88.00              | 89.80               | 79.90        | 88.75        | 84.75        | 82.50        |              |              |
| Peso del tarro            | (gr)                  | 100.00             | 101.50              | 100.00       | 100.00       | 100.00       | 100.00       |              |              |
| Peso del suelo seco       | (gr)                  | 884.3              | 889.0               | 792.0        | 827.1        | 856.7        | 827.5        |              |              |
| Humedad (%)               |                       | 9.23               | 10.40               | 9.58         | 10.65        | 9.88         | 9.97         |              |              |
| Promedio de Humedad       | (%)                   | 9.72               | 10.40               | 9.58         | 10.05        | 9.88         | 9.97         |              |              |

**EXPANSION**

| FECHA | HORA | TIEMPO Hr. | DIAL | EXPANSION |   | DIAL | EXPANSION |   | DIAL | EXPANSION |   |
|-------|------|------------|------|-----------|---|------|-----------|---|------|-----------|---|
|       |      |            |      | mm        | % |      | mm        | % |      | mm        | % |
|       |      |            |      |           |   |      |           |   |      |           |   |
|       |      |            |      |           |   |      |           |   |      |           |   |
|       |      |            |      |           |   |      |           |   |      |           |   |

**PENETRACION**

| PENETRACION mm | CARGA STANO. kg/cm <sup>2</sup> | MOLDE N° 4 |              |       |      | MOLDE N° 5 |              |       |      | MOLDE N° 6 |              |       |  |
|----------------|---------------------------------|------------|--------------|-------|------|------------|--------------|-------|------|------------|--------------|-------|--|
|                |                                 | Lectura    | Carga Ensayo | CBR   |      | Lectura    | Carga Ensayo | CBR   |      | Lectura    | Carga Ensayo | CBR   |  |
| 0.252          | 0                               | 0.0        | 0.00         |       |      | 0.0        | 0.00         |       |      | 0.0        | 0.00         |       |  |
| 0.257          | 0                               | 39.4       | 29.67        |       |      | 33.4       | 17.12        |       |      | 141.3      | 1.20         |       |  |
| 0.300          | 0                               | 50.4       | 28.09        |       |      | 499.0      | 22.78        |       |      | 273.7      | 11.94        |       |  |
| 0.350          | 0                               | 70.2       | 30.54        |       |      | 216.7      | 37.88        |       |      | 263.5      | 13.81        |       |  |
| 1.000          | 10.00                           | 74.1       | 34.43        | 48.84 | 1.11 | 526.1      | 27.18        | 38.88 | 0.11 | 381.6      | 16.88        | 20.84 |  |
| 1.500          | 15.00                           | 82.3       | 42.23        |       |      | 843.0      | 43.53        |       |      | 387.7      | 18.28        |       |  |
| 2.000          | 20.00                           | 119.7      | 50.70        | 64.88 | 2.24 | 874.0      | 50.33        | 47.71 | 1.11 | 651.0      | 34.20        | 32.41 |  |
| 2.500          | 25.00                           | 136.2      | 59.42        |       |      | 1055.7     | 54.24        |       |      | 893.1      | 41.14        |       |  |
| 3.000          | 30.00                           | 1480.0     | 70.88        |       |      | 1146.2     | 59.22        |       |      | 848.1      | 37.50        |       |  |
| 3.500          | 35.00                           | 1702.6     | 82.88        |       |      | 1236.7     | 63.88        |       |      | 871.4      | 39.80        |       |  |
| 4.000          | 40.00                           | 2412.4     | 101.83       |       |      | 1382.2     | 78.43        |       |      | 729.0      | 37.71        |       |  |

  
 Ing. Jesús Ernesto Soledad Martínez  
 CIP: 79761  
 JCFE



**USP**  
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

**ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA CBR**  
NORMA ASTM D 1553, AASHTO T-193

PROYECTO: "Efecto de Adición de Enzimas Orgánicas de Hongos, para Estabilización de Suelos  
Cohesivos en Subterrenos, Japon - Parque Libre, Huancayo 2020" Informe N°: LAB-2020  
BOJICHA: **Bloch, MEJIA LEON, EDWARD JAFFET** Fecha: 31/08/2020  
MATERIAL: **SUELOS + 12% HL ENZIMAS ORGANICAS** Revisado por:  
CALICATA: **N° 01** Revisado por:  
UBICACIÓN: **1** Certificado N°: USP-LAB

| Molde N°                             | 7           |          | 8           |          | 9           |          |
|--------------------------------------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|
|                                      | 5           | 5        | 5           | 5        | 5           | 5        |
| N° Capa                              | 56          |          | 25          |          | 12          |          |
| Colpas por capa N°                   | 56          |          | 25          |          | 12          |          |
| Card. de la muestra                  | NO SATURADO | SATURADO | NO SATURADO | SATURADO | NO SATURADO | SATURADO |
| Peso molde + suelo húmedo (g)        | 4287.5      | 4271.1   | 4238.5      | 4282.5   | 4212.0      | 4223.0   |
| Peso de molde (g)                    | 790.5       | 765.0    | 797.2       | 797.2    | 790.1       | 790.1    |
| Peso del suelo húmedo (g)            | 4500.0      | 4716.0   | 4413.0      | 4054.0   | 4150.0      | 4378.0   |
| Volumen del molde (cm <sup>3</sup> ) | 2024        | 2024     | 2015        | 2015     | 2007        | 2007     |
| Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.250       | 2.330    | 2.190       | 2.015    | 2.040       | 2.180    |
| Humedad (%)                          | 11.80       | 13.40    | 11.50       | 10.80    | 12.20       | 13.60    |
| Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )   | 2.023       | 2.060    | 1.965       | 1.882    | 1.878       | 1.840    |
| Tamaño N°                            | 32          | 30       | 25          | 47       | 4           | 44       |
| Tarso + Suelo húmedo (g)             | 946.0       | 825.0    | 813.5       | 838.0    | 883.0       | 876.1    |
| Tarso + Suelo seco (g)               | 843.7       | 738.0    | 704.0       | 804.0    | 774.1       | 788.4    |
| Peso del Agua (g)                    | 102.3       | 87.0     | 109.5       | 34.0     | 108.9       | 87.7     |
| Peso del tarso (g)                   | 102.30      | 102.30   | 102.30      | 102.30   | 102.30      | 102.30   |
| Peso del Suelo Seco (g)              | 843.7       | 651.0    | 594.5       | 670.0    | 665.2       | 690.7    |
| Humedad (%)                          | 11.80       | 13.40    | 11.60       | 10.80    | 12.30       | 13.60    |
| Promedio de Humedad (%)              | 11.80       | 13.40    | 11.60       | 10.80    | 12.30       | 13.60    |

**EXPANSION**

| FECHA | HORA | TIEMPO Hr. | DIAL |   | DIAL |   | DIAL |   | DIAL |  |
|-------|------|------------|------|---|------|---|------|---|------|--|
|       |      |            | mm   | % | mm   | % | mm   | % |      |  |
|       |      |            |      |   |      |   |      |   |      |  |
|       |      |            |      |   |      |   |      |   |      |  |
|       |      |            |      |   |      |   |      |   |      |  |
|       |      |            |      |   |      |   |      |   |      |  |
|       |      |            |      |   |      |   |      |   |      |  |

**PENETRACION**

| PENETRACION mm | CARGA STAND. kg/cm <sup>2</sup> | MOLDE N° 7       |                 |       |       | MOLDE N° 8       |                 |       |       | MOLDE N° 9       |                 |       |       |
|----------------|---------------------------------|------------------|-----------------|-------|-------|------------------|-----------------|-------|-------|------------------|-----------------|-------|-------|
|                |                                 | Lectura Diámetro | Carga Ensayo kg | CBR % |       | Lectura Diámetro | Carga Ensayo kg | CBR % |       | Lectura Diámetro | Carga Ensayo kg | CBR % |       |
| 0.000          |                                 |                  |                 |       |       |                  |                 |       |       |                  |                 |       |       |
| 1.250          |                                 |                  |                 |       |       |                  |                 |       |       |                  |                 |       |       |
| 2.500          |                                 |                  |                 |       |       |                  |                 |       |       |                  |                 |       |       |
| 3.750          |                                 |                  |                 |       |       |                  |                 |       |       |                  |                 |       |       |
| 5.000          |                                 |                  |                 |       |       |                  |                 |       |       |                  |                 |       |       |
| 7.500          |                                 |                  |                 |       |       |                  |                 |       |       |                  |                 |       |       |
| 1.000          | 10.50                           | 110              | 598.7           | 27.80 | 30.80 | 100              | 450.2           | 20.07 | 23.50 | 82               | 370.7           | 16.40 | 27.01 |
| 1.500          |                                 | 140              | 575.3           | 34.50 |       | 100              | 370.0           | 26.70 |       | 101              | 462.7           | 23.91 |       |
| 2.000          | 100.0                           | 180              | 843.0           | 43.00 | 41.20 | 100              | 701.0           | 39.11 | 37.00 | 120              | 588.0           | 30.40 | 28.87 |
| 2.500          |                                 | 210              | 960.2           | 49.00 |       | 100              | 850.0           | 44.25 |       | 130              | 994.0           | 36.80 |       |
| 3.000          |                                 | 240              | 1040.0          | 54.30 |       | 100              | 901.0           | 46.50 |       | 140              | 980.1           | 33.10 |       |
| 3.500          |                                 | 270              | 1218.0          | 62.90 |       | 100              | 1024.0          | 52.90 |       | 150              | 975.0           | 34.80 |       |
| 4.000          |                                 | 300              | 1401.2          | 73.80 |       | 100              | 1140.2          | 60.20 |       | 160              | 1100.0          | 38.17 |       |



UNIVERSIDAD SAN PEDRO - PEARL TUNQAZ  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
LAB. DE INVESTIGACIONES CIVIL CB  
VERONICA L. MONTES  
*Ing. Jesus Ernesto Galindo Montes*  
CIP-70791  
JEFE

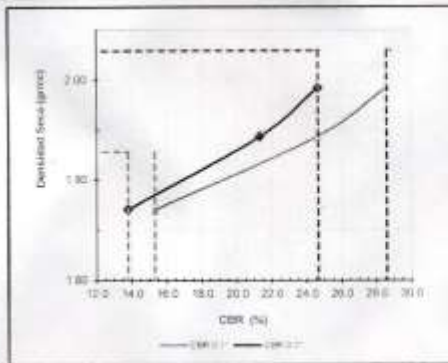
## **GRAFICO (CBR)**



**ENSAYO DE CBR**  
AASHTO T-193

|           |   |                |           |
|-----------|---|----------------|-----------|
| PROYECTO  | "Efecto de Adición de Enzimas Orgánicas de Henoquin, para Estabilización de Suelos<br>Cohesivos en Subrasantes, Jurpon - Pueblo Libre, Huancayo 2020" | Informe N°     | LAB-2020  |
| SOlicita  | Bach. MEJIA LEON, EDWARD JAFFET   | Fecha          | 21-Ago-20 |
| MATERIAL  | SUELOS PATRON   | Realizado por  |           |
| CAUSADA   | N° 01   | Revisado por   |           |
| UBICACIÓN | 0   | Certificado N° | USP LAB   |

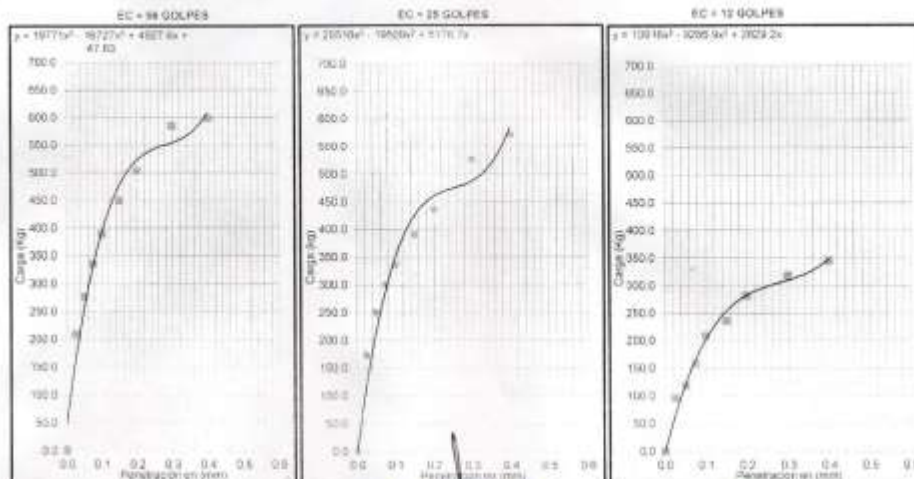
**GRAFICO DE PENETRACION DE CBR**



|                              |      |      |      |      |
|------------------------------|------|------|------|------|
| C.B.R. AL 100% DE M.O.S. (%) | 0.1" | 20.0 | 0.2" | 24.7 |
| C.B.R. AL 90% DE M.O.S. (%)  | 0.1" | 15.3 | 0.2" | 13.8 |

|                   |                         |
|-------------------|-------------------------|
| Datos del Proctor |                         |
| Densidad Seca     | 2.028 g/cm <sup>3</sup> |
| Optimo Humedad    | 11.54 %                 |

OBSERVACIONES:




  
 Ing. Jhonatan Sotelo Alarcos  
 C.P. 70781  
 JEFE



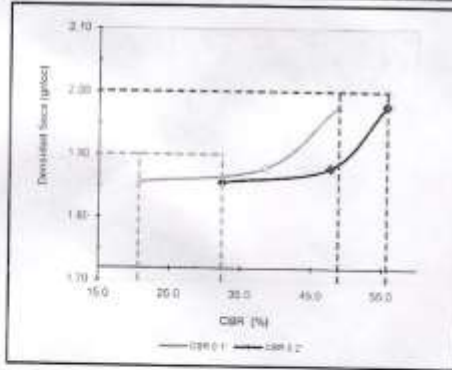


**USP**  
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

**ENSAYO DE CBR**  
AASHTO T-193

|           |   |                |           |
|-----------|---|----------------|-----------|
| PROYECTO  | "Efecto de Adición de Enzimas Orgánicas de Huanuco, para Estabilización de Suelos Cohesivos en Substratos, Jaipon - Pueblo Libre, Huaylas 2020" | Informe N°     | LAB-2120  |
| SOLICITA  | Bach. MEJIA LEON, EDWARD JAFFET   | Fecha          | 21-Ago-20 |
| MATERIAL  | SUELOS + 100 ml. ENZIMAS ORGANICAS  | Realizado por  |           |
| CALICATA  | N° 01   | Revisado por   |           |
| UBICACION | 0   | Certificado N° | USP-LAB   |

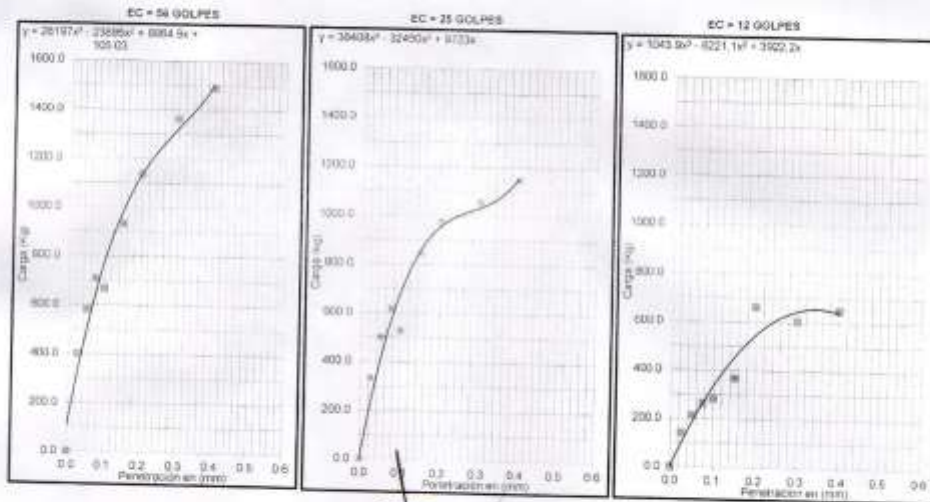
**GRAFICO DE PENETRACION DE CBR**



|                              |      |      |      |      |
|------------------------------|------|------|------|------|
| C.B.R. AL 100% DE M.T.T. (%) | 0.1" | 48.8 | 0.2" | 55.7 |
| C.B.R. AL 50% DE M.D.M. (%)  | 0.1" | 20.6 | 0.2" | 22.6 |

|                   |             |
|-------------------|-------------|
| Datos del Proctor |             |
| Densidad Seca     | 2.001 gr/cc |
| Óptimo Humedad    | 44 %        |

OBSERVACIONES:



UNIVERSIDAD SAN PEDRO - HUAYLAS  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 UNIDAD DE INVESTIGACION, INNOVACION Y DESARROLLO TECNOLÓGICO  
  
 Ing. Jesus Ernesto Sotelo Montas  
 CIP: 70761  
 IJEE

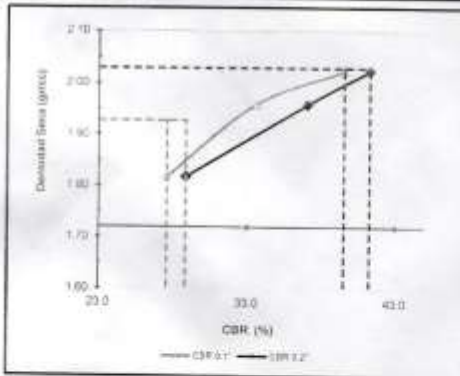


**USP**  
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

**ENSAYO DE CBR**  
AASHTO T-193

|           |   |                         |
|-----------|---|-------------------------|
| PROYECTO  | "Efecto de Adición de Enzimas Orgánicas de Huesoquem, para Estabilización de Suelos Césarivos en Substratos, Jurpon - Pueblo Libre, Huaylas 2020" | Informe N°: LAB-2020    |
| SOLICITA  | Barb. MEJIA LEON, EDWARD JAFFET   | Fecha: 21-Ago-23        |
| MATERIAL  | SUELOS + 120 mL ENZIMAS ORGANICAS   | Realizado por:          |
| CALICATA  | N° 01   | Revisado por:           |
| UBICACIÓN | 0   | Certificado N°: USP-LAB |

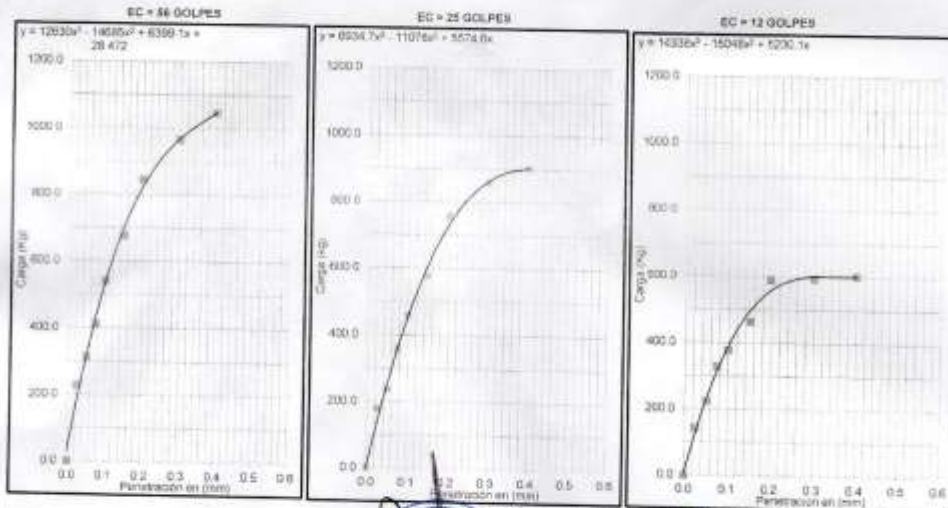
**GRAFICO DE PENETRACION DE CBR**



|                              |      |      |      |      |
|------------------------------|------|------|------|------|
| C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%) | 0.1" | 39.6 | 0.2" | 41.3 |
| C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)  | 0.1" | 27.5 | 0.2" | 29.9 |

|                   |             |
|-------------------|-------------|
| Datos del Proctor |             |
| Densidad Seca     | 2.029 gr/cc |
| Optima Humedad    | 11.90 %     |

OBSERVACIONES:



UNIVERSIDAD SAN PEDRO - PUNO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y ENDAZOS MATERIALES  
Ing. Jesus Ernesto Sotelo Montas  
CIP: 70761  
JEFE

# **ANEXO N.º 04**

## ***FACTURA DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO***

20/8/2020

**UNIVERSIDAD SAN PEDRO**

**Principal**

Av. Francisco Bolognesi y Plaza 28 de Julio s/n Casco Urbano-Ancash-Santa

**Sucursal**

AV. CENTENARIO NUM 2656 SUB LOTE B SECTOR PALMIRA HUARAZ: INDEPENDENCIA

**R.U.C.: 20147265272**

**BOLETA DE VENTA ELECTRONICA**

**B001 - 00033579**

**ADQUIRIENTE**

Señor(es) : MEJÍA LEÓN EDWARD JAFFET  
DNI : 74318682  
Dirección : BARRIO DE GUADALUPE DE TOCASH

Fecha de Emisión : 20/08/2020 11:56:28

| NRO | Descripción  | UND. | CANT. | P. UNIT. | IMPORTE |
|-----|--|------|-------|----------|---------|
| 1   | ENSAYO MECANICA DE SUELOS - ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO - |      | 1     | 28       | 28      |
| 2   | ENSAYO MECANICA DE SUELOS - DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO -     |      | 1     | 14       | 14      |
| 3   | ENSAYO MECANICA DE SUELOS - DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO -    |      | 1     | 14       | 14      |
| 4   | ENSAYO MECANICA DE SUELOS - PROCTOR STANDARD -                     |      | 2     | 49       | 98      |
| 5   | ENSAYO MECANICA DE SUELOS - C.B.R -                                |      | 1     | 210      | 210     |

Glosa: -

VALOR VENTA : 364,00

IGV (18%) : 0,00

**SON : TRESCIENTOS SESENTA Y CUATRO CON 00/100 SOLES**

**IMPORTE TOTAL S/ : 364,00**

Representación impresa de la BOLETA DE VENTA ELECTRONICA  
Esta puede ser consultada en: <https://escondatagate.page.link/cjTRA>  
Autorizado mediante Resolución de Superintendencia N° 203-2015/SUNAT



# **ANEXO N.º 05**

## ***PANEL FOTOGRAFICO***

**PROCESO DE EXCAVACION**  
**DEL SUELO**



**FIGURA 34. Carretera sin asfaltar del caserío de juipon.**

Fuente: **El autor**



**FIGURA 35. Extrayendo la muestra de la primera calicata.**

Fuente: **El autor**



**FIGURA 36. Cascaras de henequén sin pulpa.**

Fuente: **El autor**



**FIGURA 37. Cascaras de henequén sin pulpa.**

Fuente: **El autor**

**PROCESO DE EXTRACCION DE**  
**LAS ENZIMAS ORGANICAS**



**FIGURA 38. Cascaras de henequén sin pulpa.**

Fuente: **El autor**



**FIGURA 39. Licuado de la pulpa de henequén.**

Fuente: **El autor**



**FIGURA 40. Enzima fermentada de henequén.**

Fuente: **El autor**

**ENSAYOS DE LA MUESTRA**  
**PATRON**





**FIGURA 41. Cuarteo de la muestra patrón.**

Fuente: **El autor**



**FIGURA 42. Etapa del tamizado por zarandeo.**

Fuente: **El autor**



**FIGURA 43. Muestra filtrada por la malla n° ½.**

Fuente: El autor



**FIGURA 44. MUESTRA FILTRADA POR LA MALLA N° 4.**

Fuente: El autor



**FIGURA 45. Ensayo del límite plástico.**

Fuente: El autor



**FIGURA 46. Ensayo del contenido de humedad de los límites de atterberg.**

Fuente: El autor



**FIGURA 47. Preparación para el ensayo del Proctor modificado.**

Fuente: El autor



**FIGURA 48. Ensayo del Proctor modificado.**

Fuente: El autor



**FIGURA 49. Ensayo para el contenido de humedad.**

Fuente: El autor



**FIGURA 50. Preparación de la muestra patrón para el ensayo del CBR.**

Fuente: El autor



**FIGURA 51. Ensayo de CBR de la muestra patrón con 12 golpes.**

Fuente: El autor



**FIGURA 52. Muestras compactadas no saturadas de la muestra patrón.**

Fuente: El autor



**FIGURA 53. Etapa de saturación de las tres muestras patrón.**

Fuente: El autor



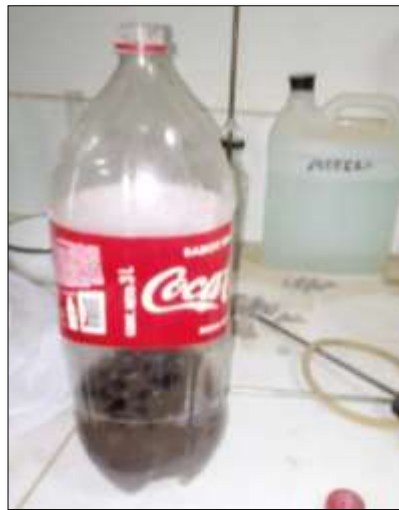
**FIGURA 54. Muestras compactadas saturadas de la muestra patrón.**

Fuente: El autor



**FIGURA 55. Prueba de penetración de las muestras saturadas.**

Fuente: El autor



**FIGURA 54. Enzimas de pino y henequén.**

Fuente: El autor





**FIGURA 55. Mezcla de la muestra con 100 ml de aditivo.**

Fuente: **El autor**



**FIGURA 56. Mezcla de la muestra con 120 ml de aditivo.**

Fuente: **El autor**



**FIGURA 57: Proceso de compactación de la muestra con el aditivo (120 ml).**

Fuente: El autor



**FIGURA 58: Mezcla de la muestra con 100 ml de aditivo para el análisis del CBR.**

Fuente: El autor



**FIGURA 59: Proceso de saturación de las muestras con el aditivo (100 ml).**

Fuente: El autor



**FIGURA 60: Proceso de preparación de la muestra patrón para la adición del aditivo (120 ml).**

Fuente: El autor



**FIGURA 61. Proceso de mezcla de la muestra patrón con el aditivo (120 ml).**

Fuente: **El autor**

# **ANEXO N. ° 06**

## ***IMAGEN SATELITAL DEL PROYECTO***





© 2011 Google  
Imagery © 2020 CNES / Airbus