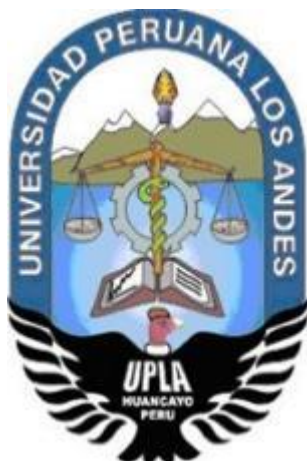


**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE CAL  
HIDRATADA CON BOÑIGA DE RES EN LA  
ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL  
DE SUBRASANTE**

**Presentado por:**

**Bach. NELFA ESTRELLA AYUQUE ALMIDON**

**Línea de Investigación Institucional:**

**NUEVAS TECNOLOGÍAS Y PROCESOS**

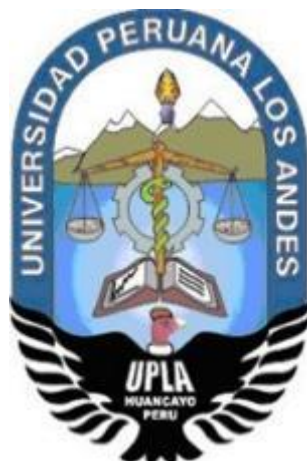
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERA CIVIL**

**Huancayo – Perú  
2021**

**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**EFFECTO DE LA INCORPORACION DE CAL  
HIDRATADA CON BOÑIGA DE RES EN LA  
ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL  
DE SUBRASANTE**

**Presentado por:**

**Bach. NELFA ESTRELLA AYUQUE ALMIDON**

**Línea de Investigación Institucional:**

**NUEVAS TECNOLOGÍAS Y PROCESOS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERA CIVIL**

**Huancayo – Perú  
2021**

---

Ing. Vladimir Ordoñez Camposano  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

A Dios por permitió culminar con éxito mi anhelada carrera.

A mi familia por el apoyo incondicional, por siempre impulsarme a ser mejor y lograr con éxito mi carrera.

**Bach.AYUQUE ALMIDON Nelfa Estrella**

## **AGRADECIMIENTO**

Mi mas sincero agradecimiento:

Principalmente agradecer a mi madre por brindarme la oportunidad y el apoyo incondicional para obtener el título de Ingeniero Civil.

De igual manera a mi asesor el Ingeniero Vladimir Ordoñez Camposano, por haberme guiado durante el proceso de mi investigación el cual ha sido difícil, gracias a su apoyo y motivación.

A mis docentes de la Universidad Peruana los Andes, en especial a los que conforman la Facultad de Ingeniería de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil quienes durante toda mi carrera aportaron con un granito de arena en mi formación academica, sus enseñanzas impartidas en las aulas de clase.

## HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO

---

Dr. Rubén Darío Tapia Silguera  
Presidente

---

Mg. Rando Porras Olarte  
Jurado

---

Ing. Carlos Alberto Gonzales Rojas  
Jurado

---

Ing. Christian Mallaupoma Reyes  
Jurado

---

Mg. Leonel Untiveros Peñaloza  
Secretario Docente

## INDICE

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>4</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>INDICE .....</b>	<b>7</b>
<b>INDICE DE TABLAS.....</b>	<b>10</b>
<b>INDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>11</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>12</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>13</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>16</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>16</b>
<b>1.1. Planteamiento del problema .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2. Formulación del problema .....</b>	<b>18</b>
1.2.1. Problema general .....	18
1.2.2. Problemas específicos: .....	18
<b>1.3. Justificación de la investigación.....</b>	<b>18</b>
1.3.1. Justificación teorica .....	18
1.3.2. Juatificacion practica .....	19
1.3.3. Justificación metodológica .....	19
<b>1.4. Delimitación.....</b>	<b>19</b>
1.4.1. Espacial .....	19
1.4.2. Temporal.....	19
<b>1.5. Objetivos de la investigación.....</b>	<b>19</b>
1.6.1. Objetivo general.....	19
1.6.2. Objetivos específicos.....	20
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>21</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>21</b>
<b>2.1. Antecedentes de la investigación.....</b>	<b>21</b>
2.1.1. Antecedentes nacionales .....	21
2.1.2. Antecedentes internacionales .....	23
<b>2.2. Marco conceptual.....</b>	<b>25</b>
2.2.1. Suelo.....	25
2.2.2. Pavimento.....	40

2.2.3.	Estabilización de suelos .....	41
2.2.4.	Cal.....	43
2.2.5.	Estiércol o boñiga .....	53
<b>2.3.</b>	<b>Definiciones de términos.....</b>	<b>57</b>
<b>2.4.</b>	<b>Hipótesis.....</b>	<b>58</b>
2.4.1	Hipótesis general .....	58
2.4.2	Hipótesis específica .....	58
<b>2.5.</b>	<b>Variables .....</b>	<b>58</b>
2.5.1.	Definición conceptual de las Variables .....	58
2.5.2.	Definición operacional de la Variable.....	59
2.5.3.	Operacionalización de variables .....	59
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>61</b>
<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>		<b>61</b>
<b>3.1.</b>	<b>Método de investigación .....</b>	<b>61</b>
<b>3.2.</b>	<b>Tipo de investigación .....</b>	<b>61</b>
<b>3.3.</b>	<b>Nivel de la investigación .....</b>	<b>61</b>
<b>3.4.</b>	<b>Diseño de investigación.....</b>	<b>61</b>
<b>3.5.</b>	<b>Población y muestra.....</b>	<b>62</b>
3.5.1.	Población .....	62
3.5.2.	Muestra .....	62
<b>3.6.</b>	<b>Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....</b>	<b>62</b>
3.6.1.	Técnicas.....	62
3.6.2.	Instrumentos .....	62
<b>3.7.</b>	<b>Procesamiento de la información.....</b>	<b>63</b>
<b>3.8.</b>	<b>Técnica y análisis de datos.....</b>	<b>63</b>
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>64</b>
<b>RESULTADOS .....</b>		<b>64</b>
<b>4.1.</b>	<b>Clasificación de suelos .....</b>	<b>64</b>
4.1.1.	Granulometría del suelo natural.....	64
4.1.2.	Plasticidad del suelo natural.....	66
<b>4.2.</b>	<b>Ensayo Proctor modificado.....</b>	<b>67</b>
4.2.1.	Densidad máxima seca .....	67
4.2.2.	Óptimo contenido de humedad .....	69
<b>4.3.</b>	<b>Ensayo C.B.R.....</b>	<b>70</b>



<b>4.4. PH del suelo .....</b>	<b>72</b>
<b>4.5. Grado de compactación.....</b>	<b>74</b>
<b>4.6. Calidad de drenaje .....</b>	<b>74</b>
<b>4.7. Prueba de Hipótesis .....</b>	<b>75</b>
4.7.1. Prueba de Hipótesis “a” .....	75
4.7.2. Prueba de Hipótesis “b” .....	76
4.7.3. Prueba de Hipótesis “c” .....	77
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>79</b>
<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>79</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>82</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>83</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>89</b>
<b>Anexo N° 1: Matriz de consistencia.....</b>	<b>90</b>
<b>Anexo N° 2: Panel Fotografico.....</b>	<b>92</b>
<b>Anexo N° 3: Certificados de ensayos.....</b>	<b>97</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Poblacion vacuna por región, 2019 .....	17
<b>Tabla 2:</b> La Clasificación del suelo en base al tamaño de sus particulas.....	28
<b>Tabla 3:</b> El tamaño estandar en Estados Unidos .....	28
<b>Tabla 4:</b> Tamaño de los tamices de la malla .....	28
<b>Tabla 5:</b> La plasticidad del suelo.....	34
<b>Tabla 6:</b> Cuadro de especificaciones de la prueba Proctor modificado.....	35
<b>Tabla 7:</b> Clasificación de suelos y mezclas de suelo-agregado .....	37
<b>Tabla 8:</b> Clasificacion de suelos por el sistema SUCS .....	38
<b>Tabla 9:</b> Características físicas de la cal .....	44
<b>Tabla 10:</b> Tres maneras en las que se puede añadir agua a la cal .....	45
<b>Tabla 11:</b> Operacionalización de variables .....	60
<b>Tabla 12:</b> Análisis Granulométrico del suelo natural.....	65
<b>Tabla 13:</b> Plasticidad del suelo natural .....	66
<b>Tabla 14:</b> Máxima densidad seca .....	67
<b>Tabla 15:</b> Óptimo contenido de humedad .....	69
<b>Tabla 16:</b> Valor relativo de Soporte (CBR) .....	71
<b>Tabla 17:</b> Ensayo de PH .....	72
<b>Tabla 18:</b> Prueba de Kruskal Wallis para la Hipótesis específica “a” .....	77
<b>Tabla 19:</b> Prueba de Kruskal Wallis para la Hipótesis específica “b” .....	78
<b>Tabla 20:</b> Matriz de consistencia .....	91

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Población vacuna por región, 2019. ....	17
<b>Figura 2.</b> Composición del suelo .....	26
<b>Figura 3.</b> La curva de distribución del tamaño de partículas .....	29
<b>Figura 4.</b> Los estados por lo que pasa el suelo .....	30
<b>Figura 5.</b> Copa Casa Grande .....	31
<b>Figura 6.</b> Momento en la obtención del límite líquido .....	31
<b>Figura 7.</b> Realizando los cilindros para la plasticidad .....	32
<b>Figura 8.</b> Muestra de los límites de Atterberg .....	33
<b>Figura 9.</b> El principio de la compactación .....	35
<b>Figura 10.</b> Correlación entre AASHTO M-145, SUCS Y CBR.....	39
<b>Figura 11:</b> Moléculas de la cal .....	44
<b>Figura 12:</b> Cal .....	44
<b>Figura 13:</b> El proceso de producción de la cal.....	46
<b>Figura 14:</b> Boñiga de res .....	54

## RESUMEN

En el presente plan de tesis titulada: Efecto de la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante, esta tesis abordó como problema general: ¿Cómo interviene la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante? el objetivo general de la investigación fue: Analizar la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante. Y la hipótesis general: La incorporación de cal hidratada con boñiga de res mejoraría la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante.

El método de la investigación que fue utilizado es el de metodo cuantitativo, el tipo es aplicado, el nivel es explicativo y el diseño de investigación es experimental, se va a considerar una población y muestra que está constituida por 24 moldes de material subrasante para luego ser incorporados con cal hidratada y boñiga de res en dosificaciones mixtas de 1%, 2% y 3%, se realizará un análisis más detallado de la resistencia del material de subrasante y su proctor; obteniendo como resultado que la muestra se suelos es clasificado según SUCS es de grupo CL denominado apra arcilla ligera de plasticidad media con arena y para AASHTO se clasifica como A-4 (0), en relación a la densidad seca se obtienen resultados de dsisminucion de la misma al incorporar la cal hidratada y boñiga de res, de 2.160 gr/cm<sup>3</sup> a 2.034 gr/cm<sup>3</sup> (en 3%) además aumenta el contenido e humedad de la muestra en un 30.49% para 3% de cal hidratada y boñiga de res; los resultados mas favorables se obtienen al determinar el CBR, que la muestra natural no presentaba características en relación al CBR, sin embargo al incluirle el 3% de la cal hidratada y boñiga se determino un CBR AL 100% que se incrementa en UN 618.18%, es decir de 7.5% del CBR a 33.1%; otros resultados como densidad maxima seca presentan variaciones insignificantes en las propiedades de la muestra; finalmente se concluye que laincorporacion de la cal hidratada y boñiga de res como agentes estabilizador de suelos arcillosos a nivel de subrasante genera optimos resultados en la estabilización del suelo natural.

**PALABRAS CLAVES:** Cal hidratada, boñiga, suelos, estabilización.

## ABSTRACT

In the present thesis plan entitled: Effect of the incorporation of hydrated lime with beef dung in the stabilization of clayey soils at subgrade level, this thesis addressed as general problem: How does the incorporation of hydrated lime with beef dung intervene in the stabilization of clayey soils at subgrade level? The general objective of the research was: To analyze the incorporation of hydrated lime with beef dung in the stabilization of clayey soils at subgrade level. And the general hypothesis: The incorporation of hydrated lime with beef dung would improve the stabilization of clay soils at subgrade level.

The research method that was used is the quantitative method, the type is applied, the level is explanatory and the research design is experimental, a population and sample will be considered which is constituted by 24 molds of subgrade material to be incorporated with hydrated lime and beef dung in mixed dosages of 1%, 2% and 3%, a more detailed analysis of the resistance of the subgrade material and its proctor will be carried out; obtaining as a result that the soil sample is clasificado according to SUCS is of group CL denominated apra light clay of average plasticity with sand and for AASHTO it is classified as A-4 (0), in relation to the dry density results of dsiminucion of the same one are obtained when incorporating the hydrated lime and beef dung, of 2. 160 gr/cm<sup>3</sup> to 2.034 gr/cm<sup>3</sup> (in 3%) also increases the moisture content of the sample in a 30.49% for 3% of hydrated lime and beef dung; the most favorable results are obtained when determining the CBR, that the natural sample did not present characteristics in relation to the CBR, however when including the 3% of hydrated lime and dung it was determined a 100% CBR that increases in A 618. 18%, i.e. from 7.5% of the CBR to 33.1%; other results such as maximum dry density show insignificant variations in the properties of the sample; finally it is concluded that the incorporation of hydrated lime and cattle dung as stabilizing agents of clayey soils at the subgrade level generates optimum results in the stabilization of natural soil.

**KEY WORDS:** Hydrated lime, dung, soils, stabilization.

## **INTRODUCCIÓN**

La presente tesis titulado: efecto de la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante, se elaboró con la finalidad de obtener el título profesional en ingeniería civil, según las normas vigentes emanadas por la Universidad Peruana los Andes

Al respecto la tesis tiene como finalidad analizar la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante para ello se va a considerar una población y muestra, está constituida por 24 moldes de material subrasante para luego ser incorporados con cal hidratada y boñiga de res en dosificaciones mixtas de 1%, 2% y 3%., se realizará un análisis más detallado de la resistencia del material de subrasante y su proctor, el cual fue desarrollado en cinco capítulos y desarrollados de la siguiente manera:

### **EL CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Este capítulo se plantea la problemática de la investigación, planteando un problema general y problemas específicos, objetivo general y tres objetivos específicos, con una justificación en el ámbito práctico, científico y metodológico, las delimitaciones y las limitaciones de la investigación.

### **EL CAPÍTULO II: MARCO TEORICO**

Este capítulo presenta antecedentes internacionales y antecedentes nacionales los cuales son acorde a las variables de la investigación, bases conceptuales referentes a la investigación, la hipótesis y la operacionalización de variables.

### **EL CAPÍTULO III: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION**

Este capítulo detalla la metodología empleada, el tipo de investigación, el nivel de la investigación, diseño de la investigación, detallando la población, la muestra y el desarrollo metodológico de la investigación donde detalla la ubicación y sus coordenadas.

### **EL CAPÍTULO IV: ANALISIS DE DATOS E INTERPRETACION DE RESULTADOS**

En este capítulo se detalla los resultados, el análisis de resultados, prueba de hipótesis y discusión de resultados obtenidos de cómo se relaciona las cargas vehiculares para la formación de cuencos de deflexión en la estructura de un pavimento flexible.

## **EL CAPÍTULO V: DISCUSION DE RESULTADOS**

En este capítulo se da a conocer la discusión de resultados con otras investigaciones, realizando un intercambio de valores para la relación de cargas vehiculares cuando se forman cuencos de deflexión en los pavimentos flexibles.

***Bach. AYUQUE ALMIDÓN Nelfa Estrella***

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad son muy costosas la construcción de las vías por lo tanto el mantenimiento de igual manera es muy costoso ya que los deterioros se presentan continuamente y son causados por una variedad de factores y principales son las que son afectados por los climas, (Metodos estabilizacion de suelos: Compactacion-mecanica de suelos, 2011).

A nivel mundial existen una variedad de suelos que se presentan en el ámbito vial, cual superficie la estructura de la vía refiriéndose a la subrasante que forma parte estructural de un pavimento en todas las vías ya sea nacional, departamental o vecinal así también se presentan algunas deficiencias ya que las estabilización de suelo que utilizaron no presentan las condiciones que se requiere, como son las propiedades físicas y mecánicas por lo tanto dicho incumplimiento causara que las vías estén en mal estado en tan poco tiempo por lo tanto antes de relizar una pavimentación, lo que se debería de hacer es una buena estabilizacion por todo ello el problema que se ocasiona en la parte social es la dificultad en torno al desarrollo económico ya que la población no podrá trasladarse de un lugar a otro por lo tanto se tendría que tomar como alternativa otra vía a causa que las vías necesitan un mantenimiento y los vehículos que transitan por la vía en mal estado se dañaran. (Núñez Alvarez, 2014)

Para esta investigación se considerará un problema que a nivel nacional afecta en la construcción de los pavimentos, el cual es contar con suelos con subrasante inadecuada, cuyo CBR sea menor al 6%, estos necesitan ser estabilizados o mejorados, antes de que se cimente sobre ellos (Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Perú), 2014). Según el terreno y lugar donde se encuentre el



estudio del suelo de subrasante se utilizan muchos tipos de materiales para mejorarlos, tal es el caso de aditivos, cemento, enzimas, geosintéticos, emulsiones, etc, los cuales logran mejorar las propiedades de las subrasantes encontradas originalmente (Metodos estabilizacion de suelos: Compactacion-mecanica de suelos, 2011). Mencionando estos últimos materiales este presente trabajo de investigación busca incorporar un nuevo insumo como la boñiga de vaca que tiene un proceso de transformación para ser utilizados en suelos subrasantes inadecuadas como una alternativa de solución a estos aspectos técnicos de la ingeniería civil.

En cuanto a la boñiga de vaca, según los estudios por parte de las regiones de agricultura en el año 2019 la región Junín tiene una población total de 367175 vacunos (Instituto Nacional de Estadística e informatica, 1997). La utilización de la boñiga, como un aditivo mejorador de las propiedades de la subrasante, es una alternativa innovadora, frente a los otros usos que se le da en el ámbito agropecuario, así como a su simple eliminación (Dirección Regional de Agricultura, 2001).

Población vacuna por región, 2019.

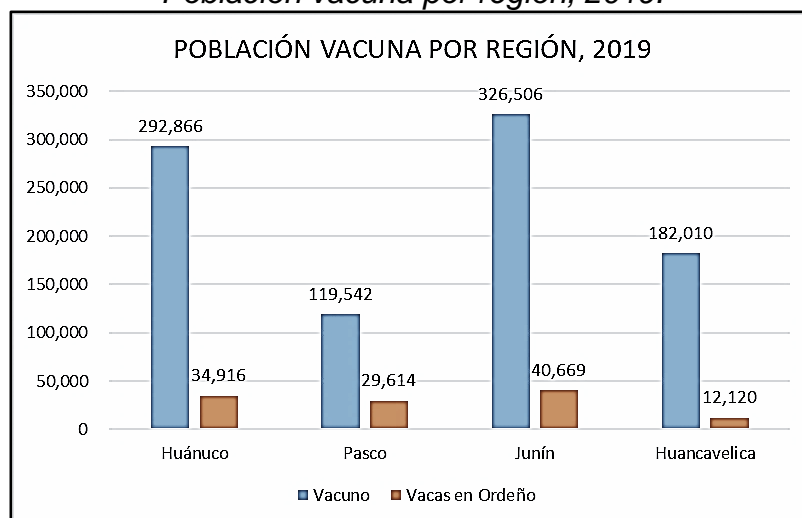
**Tabla 1.**

*Poblacion vacuna por región, 2019*

Region	Huanuco	Pasco	Junin	Huancavelica
<b>Vacuno</b>	292 866	119 542	326 506	182 010
<b>Vacas en ordeño</b>	34 916	29 614	40 669	12 120

Fuente: (Dirección Regional de Agricultura, 2001)

**Figura 1**  
*Población vacuna por región, 2019.*



**Fuente:** (Dirección Regional de Agricultura, 2001)

Entonces como un medio sustentable tanto económica y ambientalmente el procedimiento de la transformación y aplicación de la boñiga conjuntamente con la cal hidratada, como alternativa de solución a los problemas suelos subrasantes plásticos, donde busca optimizar las propiedades mecánicas y físicas en la hora de darle uso en las vías del distrito de Chilca provincia de Huancayo llegando a “mejorar la resistencia mecánica del suelo y la permanencia de tales propiedades en el tiempo, mejorándolo para su trabajo a tracción”.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cómo interviene la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante?

### **1.2.2. Problemas específicos:**

- a) ¿Cómo varía el proctor con la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante?
- b) ¿De qué manera varía la máxima densidad seca a la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante?
- c) ¿En qué medida varía CBR a la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante?

## **1.3. Justificación de la investigación**

### **1.3.1. Justificación teórica**

Como menciona (Arias F., 2012) la justificación teórica va de la mano con la inquietud del investigador en el sentido de profundizar más la parte teórica y que trate sobre el problema que se está investigando. La justificación Teórica está basada en el manual de ensayo de los materiales lo cual se podrá acceder a los valores mínimos de la serviciabilidad de la subrasante con el fin de que pueda cumplir con los

estándares de resistencia y durabilidad.

### **1.3.2. Justificación practica**

La justificación practica nos permitirá poder determinar el comportamiento de la subrasante antes solicitaciones de carga.

“Se pretende en la investigación el poder resolver un problema real y de ser el caso tenga relación con otros problemas prácticos” (Hernandez Sampieri, 2014).

### **1.3.3. Justificación metodológica**

(Blanco & Villalpando, 2012) nos dice que la justificación metodológica se realizar cuando se propone un nuevo método que sea confiable para el desarrollo de la investigación (Bernal, 2010).

Con la presente investigación se pretende que nos ayude predecir el comportamiento de la subrasante con incorporación de cal hidratada y boñiga de res, en relación a su material y su dosificación la cual nos permitirá obtener fichas servirán como un antecedente que pueden ser utilizados en futuras construcciones de vías de comunicación, para las diferentes condiciones de serviciabilidad a las que será sometido.

## **1.4. Delimitación**

### **1.4.1. Espacial**

La delimitación espacial de la presente investigación estará determinada por la subrasante plástica del Jr. Auquimarca, ubicado en el anexo de Auquimarca, distrito de Chilca de la Provincia de Huancayo, Región Junín.

### **1.4.2. Temporal**

La delimitación temporal de la investigación estará determinada por los meses noviembre, diciembre del presente año pudiéndose extenderse según lo establecido en el cronograma de actividades.

## **1.5. Objetivos de la investigación**

### **1.6.1. Objetivo general**

Analizar la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante.

### **1.6.2. Objetivos específicos**

- a) Calcular el proctor con la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante.
- b) Determinar la variación de la máxima densidad seca a la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante.
- c) Evaluar la variación del CBR a la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1. Antecedentes nacionales

(Quispe Rivero, 2020), presento la tesis de pregrado **Titulado:** “Aplicación de ceniza de boñiga para la estabilización en subrasantes plásticas”, el cual fija como **objetivo general:** Realizar el análisis después de la aplicación de la ceniza de boñiga para estabilizar la subrasante plástica, empleando la **metodología** método científico, tipo aplicativo nivel correlacional y diseño cuasi experimental, obteniendo como **resultado:** la adición de la ceniza de boñiga es eficiente ya que a mayor cantidad de ceniza la capacidad de soporte será mayor en la subrasante de 4.5% a 41% demostrado que será directamente proporcional en sus propiedades mecánicas, y finalmente **concluyo:** que cuando se aplica el % de CB a la MP ofrece resultados óptimos en la estabilización en subrasantes plásticas.

(Moale Quispe & Rivera Justo, 2019) , presento la tesis de pregrado **Titulado:** “Estabilización química de suelos arcillosos con cal para su uso como subrasante en vías terrestres de la localidad de Villa Rica”, el cual fija como **objetivo general:** determinar el contenido óptimo que se necesita para que el estabilizante asegure un aumento significativo en la capacidad de soporte de la subrasante, empleando la **metodología:** tipo aplicada, nivel cuantitativa y diseño experimental, obteniendo como **resultado:** el porcentaje óptimo que se puede hallar fue el 15% que se incrementara para dar el valor del CBR del

suelo de 3.3% a 5.9%, y finalmente **concluyo**: se recomienda que para tomar las muestras se deberá evitar hacerlo en épocas de lluvia para que el suelo arcilloso no tienda a expandirse.

(Angulo Roldan & Zavaleta Pepa, 2020) presento la tesis de pregrado **Titulado**: “Estabilización de suelos arcillosos con cal para el mejoramiento de las propiedades físico – mecánicas como capa de rodadura en la prolongación Navarro Cauper, distrito San Juan – Maynas – Iquitos, 2019”, el cual fija como **objetivo general**: estudio del comportamiento de las propiedades físicas-mecánicas de una variedad de suelo que serán estabilizados con cal hidratada y cal viva, empleando la **metodología**: tipo aplicada, nivel deductiva y enfoque cuantitativo, obteniendo como **resultado**: la cal viva aumenta la resistencia, controla la expansión de material, reduce ligeramente la densidad y plasticidad a diferencia de la cal hidratada no ofrece grandes resistencias, y mantiene en similares condiciones la densidad, plasticidad y expansión, y finalmente **concluyo**: que en suelos arcillosos, expansivos y de alta plasticidad se podrá usar cal viva para poder realizar la estabilización de suelos, en sectores que no cuentan con capa de rodadura.

(Jara Anyaypoma, 2016), presento la tesis de pregrado **Titulado**: “Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso”, el cual fija como **objetivo general**: evaluación del efecto de la cal como estabilizante en la subrasante de un suelo arcilloso para poder mejorar las propiedades físicas y mecánicas, empleando la **metodología**: diseño experimental, tipo aplicada, nivel cuantitativa y explicativa, obteniendo como **resultado**: se obtuvieron grandes variación como el índice de plasticidad bajo a un valor de 9.23 con la adición de cal al 6% siendo el Índice de plasticidad inicial de 36.87 con la adición de cal al 0%, y una variación considerable en el CBR (capacidad de soporte), logrando alcanzar un valor de 11.48% al adicionarle cal al 4% siendo el CBR con cal al 0% de 2.55, y finalmente **concluyo**: se obtuvo mejores resultados con la incorporación de un 4% de cal con la cual se obtiene el máximo CBR al 95% que es de 11.48%.

(Loyola Justo & Rodriguez Coronado, 2020), presento la tesis de pregrado **Titulado**: “Influencia del almidón de la cáscara de papa para mejorar sus propiedades de la subrasante en suelo arcillosos provincia de Jaén -

Cajamarca 2020”, el cual fija como **objetivo general**:determinación de la intervencion del almidon de la cascara de papa para la mejoracion de las propiedades de la subrasante en un suelo arcilloso, empleando la **metodología**: diseño aplicada,tipo cuasi experimental, nivel explicativa, obteniendo como **resultado**:al estabilizar a subrasante con el almidon de la cascara de papa reducen el índice de plasticidad eso incluye la reducción de Limite Liquido y Limite plástico, y finalmente **concluyo**:que las características de compactación respectoal ensayo del Proctor modificado en base a su máxima Densidad seca fue aumentando mientras mas se añadía el ACP.

### 2.1.2. Antecedentes internacionales

(Hidalgo Benavides, 2016) presento la tesis de pregrado **Titulado**: “Análisis comparativo de los procesos de estabilización de suelo con enzimas orgánicas y suelo-cemento, aplicado a suelos arcillosos de sub-rasante”, el cual fija como **objetivo general**:se definira los procesos de estabilización de suelo con enzimas organicas y suelo-cemento aplicados en los suelos arcillosos en la sub-rasante, empleando la **metodología**: nivel aplicada y diseño experimental, obteniendo como **resultado**: el proceso de estabilización del suelo con enzimas orgánicas y suelo-cemento, no mejorar las características físico-mecánicas de suelos arcillosos de sub-rasante, y finalmente **concluyo**: La aplicación del cemento en las muestras de suelo, modifican su contenido de humedad, ya que ayuda a absorber el agua, por esta razón los contenidos óptimos de humedad identificados en el ensayo Proctor Modificado aumentan de acuerdo al porcentaje de cemento que se adicione a la combinación suelo-cemento.

(Santander Zambrano & Yavar Rodriguez, 2018) presento la tesis de pregrado **Titulado**: “Análisis comparativo entre métodos de estabilización de subrasante mediante el uso de enzimas orgánicas y mezclas con cal, en la urbanización Tanya Marlene ubicada en La Ciudad de Milagro, Provincia del Guayas”, el cual fija como **objetivo general**: determinar el proceso de estabilización del suelo mediante el uso de agentes etabilizadores para la mejorar sus propiedades, empleando la **metodología**: nivel aplicada y diseño experimental, obteniendo como **resultado**:el uso de la cal demostró qie actúa

de manera directa en el sentido de reducción de la plasticidad, aumentando considerablemente su CBR que se tenía a un inicio, y finalmente **concluyo:** que la estabilización con la cal resulta más económica ya que se ahorra un 35% del presupuesto sin la estabilización de la subrasante.

(Hernandez Dominguez, 2016), presento la tesis de pregrado **Titulado:** “Análisis comparativo de un material estabilizado con cal y cemento”, el cual fija como **objetivo general:** realizar el análisis mediante 3 métodos experimentales para poder realizar una adecuada estabilización del suelo arcillosos, empleando la **metodología:** nivel aplicada y diseño experimental, obteniendo como **resultado:** la estabilización añadiendo cal y cemento ayudara a formar una base con alta capacidad estructural, con una mejor durabilidad y estabilidad volumétrica a largo plazo, y finalmente **concluyo:** que las dosificaciones de cal viva que recomienda utilizar para un suelo seco deberá variar de 1 y 3% según el contenido de agua del suelo y de 2 a 4% de cal hidratada.

(Ramos Vasquez & Lozano Gomez, 2019), presento la tesis de pregrado **Titulado:** “Estabilización de suelo mediante aditivos alternativos”, el cual fija como **objetivo general:** se estudiara las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante de un suelo después de haber añadido aditivos de cenizas de carbón y cal, empleando la **metodología:** nivel aplicada y diseño experimental, obteniendo como **resultado:** que existe una mejora en el comportamiento mecánico del caolín por la adición de cenizas de carbón o cal, y finalmente **concluyo:** que el costo la ceniza muestra ser la mejor opción de estabilización ya que la cal es extremadamente costosa.

(Hernandez Lara, Mejia Ramirez, & Zelaya Amaya, 2016), presento la tesis de pregrado **Titulado:** “Propuesta de estabilización de suelos arcillosos para su aplicación en pavimentos rígidos en la facultad multidisciplinaria oriental de la Universidad de El Salvador”, el cual fija como **objetivo general:** determinar las mejoras que se obtiene en el comportamiento del suelo arcillosos en base a la adición de cal como estabilizante, empleando la **metodología:** nivel aplicada y diseño experimental, obteniendo como **resultado:** la cal ayuda en la reducción del índice de plasticidad de 45% a 0% como también reduce el



hinchamiento en un 88% según la consolidación unidimensional, y finalmente **concluyo:** al momento del secado la cal ayuda en el secado rápidamente de los suelos húmedos y gracias a ello facilita su compactación.

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. Suelo**

#### **2.2.1.1. Concepto**

Como manifiesta (Parra Gomez, 2018) el suelo es un conjunto de minerales, el suelo también es definido como un material que no es consolidado ya que está formado por elementos líquidos, sólidos y por vacíos que entre ellas mismas ocupan un lugar.

(Crespo, 2004) nos dice que el suelo está compuesta por una capa delgada que es causada por la descomposición en el campo físico y químico como resultado de las actividades de algunos seres que son bióticos.

Como menciona (Murthy, Raju, & Badrinath, 2003, pág. 28), el suelo es un conjunto de agregados naturales con alguna presencia de materiales orgánicos que se disgregan a causa de los medios mecánicos y cuando existe la presencia de agua.

#### **2.2.1.2. Formación del suelo**

Como menciona (Quispe Rivero, 2020) la formación del suelo es el resultado de la meteorización de una roca madre a causa de la desintegración mecánica y química.

(Huezo Maldonado & Orellana Martínez, 2009) nos dice que el suelo está considerado como un sistema de tres fases:

- **Fase gaseosa**  
Constituye la estructura del suelo.
- **Fase líquida**  
Es básicamente el agua.
- **Fase sólida**  
Es básicamente el aire que ocupa los espacios vacíos entre los sólidos.

**Figura 2.**  
*Composición del suelo*



**Fuente:** Fundamentos de la mecánica del suelo-Juarez Badillo

### **2.2.1.3. Suelos mas comunes**

Como mencionas (Huezo Maldonado & Orellana Martinez, 2009) son suelos mas comunes son los siguientes:

#### **A. Arenas y gravas**

Los suelos arenosos son trozos granulares existentes de dos tipos redondos o angulosos, no presentan cohesión entre sus partículas (2009, pág. 14).

#### **B. Limos**

Esta clase de suelo son de grano fino con una plasticidad menor a la de la arcilla, con las que cuentan con elemento orgánico fino, muchas veces se nota que presentan material orgánico (2009, pág. 14).

#### **C. Arcillas**

Este tipo de suelo esta conformado por elementos derivados de la descomposición química y minereológica que soportan las rocas gracias al intemperismo, también se dice que este tipo de suelo son plásticos que esten o no húmedos son duros y el grado de impermeabilidad es completamente baja (2009, pág. 14).

La palabra arcilla es utilizado en los dos siguientes casos:

- Según el punto de vista petrológico se dice que la arcilla es una roca sedimentaria sus características son bien definidas, según la granulometría la arcilla abarca los sedimentos de tamaño de 0.75mm.
- Cuando se trata de la arcilla en función a la ingeniería se dice que es un material natural que al ser mezclado con

agua adecuadamente se forma una masa plástica. (2009, pág. 15)

#### **2.2.1.4. Caracterización del suelo**

##### **A. Parametros de naturaleza**

Como menciona (Huezo Maldonado & Orellana Martinez, 2009) el suelo no varío con el tiempo, ni con la manipulación que se puede dar al suelo durante cualquier trabajo.

##### **a) Variación volumétrica**

La mayoría de los suelos tienden a expandirse y a contraerse debido a la humedad, cuando existe mucha humedad la presión de expansión se desarrollan y actúan muy rápido por lo cual dichas presiones deben ser controladas porque sino causaran que los pavimentos se levanten, que los postes se inclinen, que los muros se fracturen o que los tubos de drenaje se rompan; por todas esas consecuencias que pueda ocurrir se deberá detectar a los suelos expansivos, el comportamiento que tiene y cual podría ser su tratamiento (2009, pág. 23).

##### **b) Permeabilidad**

Se dice que son de gran importancia las presiones en los poros y los que estan realacionado con el flujo de agua por medio del suelo; ya que ellos son los causantes de la debilidad respecto a la resistencia (2009, pág. 23).

Como nos menciona (Braja M Das, 2015) la permeabilidad es la propiedad por el cual el suel tiene la capacidad de hacer fluir al agua dentro de si mismo.

##### **c) Granulometría**

La granulometría se refiere a l alongitud de los granos, las propiedades del suelo estan en base a la graulometria y su evaluación es importante para determinar el comportamiento mecanico al momento de someterse a cargas directamente. (2009, pág. 23)

La granulometría vendrá a ser el estudio que se realiza

con el fin de poder reconocer las partículas según su tamaño existente. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Perú), 2016, pág. 30)

**Tabla 2.**

*La Clasificación del suelo en base al tamaño de sus partículas.*

Tipo de material	Grava	Arena	Material fino	
			Arcilla	Limo
Tamaño de las partículas	75 – 4,75mm	Arena gruesa 4.75 – 2 mm	0.075 – 0.005 mm	Menor 0.005mm
		Arena media 2 – 0.425mm		
		Arena fina 0.425 – 0.075 mm		

Fuente: (Manual de Ensayo de materiales , 2016, pág. 31)

**Tabla 3.**

*El tamaño estandar en Estados Unidos*

N° de Malla	Abertura (mm)
4	4.75
6	3.35
8	2.36
10	2
16	1.18
20	0.85
30	0.6
40	0.425
50	0.3
60	0.25
80	0.18
100	0.15
140	0.106
170	0.088
200	0.075
260	0.053

Fuente: (Fundamentos de ingeniería geotécnica, 2015)

Según (Braja M Das, 2015) nos dice que se puede utilizar una serie de tamices para poder graficarla gradación de una separación uniforme, esta serie estará integrada en los siguientes tamices.

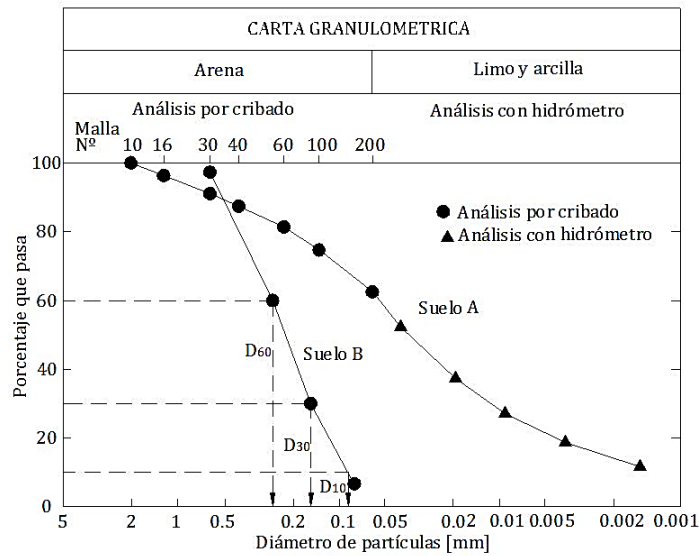
**Tabla 4.**

*Tamaño de los tamices de la malla*

Tamices	3"	1 1/2"	3/4"	3/8"	N°4	N°8	N°16	N°30	N°50	N°100	N°200
Abertura (mm)	75	38.1	19	9.5	4.76	2.36	1.1	0.59	0.297	0.149	0.075

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Perú), 2016)

**Figura 3**  
La curva de distribución del tamaño de partículas



Fuente: (Fundamentos de ingeniería geotécnica, 2015)

#### d) Contenido de humedad

Como manifiesta (Terzaghi & B. Peck, 1973) el contenido de humedad es la relación que existe entre el peso del agua y el peso del suelo seco, el resultado será en porcentaje (%).

#### e) Plasticidad

Se dice que la plasticidad es una propiedad del suelo que sirve para que pueda variar su forma y mantenerse, pero sin disminuir el volumen ni romperse al momento de someterse a fuerza de compresión (2009, pág. 24).

Como se muestra en el (Manual de Carreteras –Suelos y Pavimentos, 2014) la plasticidad es una propiedad que depende únicamente de los granos finos, donde cause estabilidad con un contenido de humedad sin disgregarse. Esta propiedad también resiste deformaciones rápidas, sin agrietamiento ni modificaciones volumétricas.

#### f) Peso específico

(Crespo Villalaz, 2004) nos menciona que el peso específico se entiende por el peso del suelo, pero en unidad de volumen ( $kg/m^3$ ).

**g) Densidad**

(Crespo Villalaz, 2004) nos presenta a la densidad como la masa del suelo por la unidad de volumen ( $g/cm^3$ ).

**h) Porosidad**

(Braja M Das, 2015) nos dice que la porosidad se define como la división del volumen de vacíos entre el volumen total.

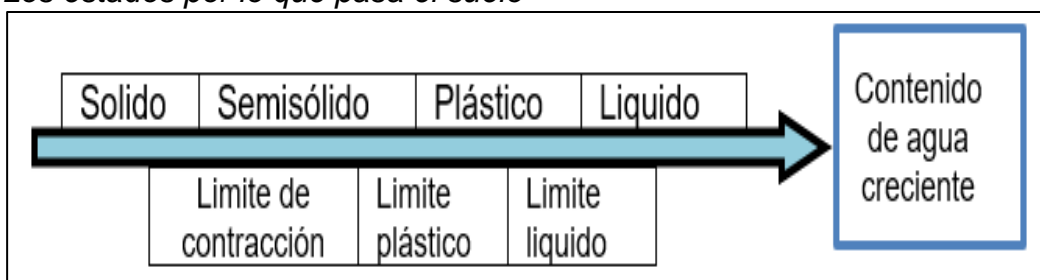
**i) Límites de Atterberg**

Los límites de Atterberg son ensayos importantes para poder hallar el contenido de humedad ya que el agua siempre esta presente en el suelo, con estos ensayos también se podrá determinar la consistencia de los suelos en base a su humedad (Braja M Das, 2015).

El nombre de los límites nació por el nombre del científico Sueco Albert Mauritz Atterberg, estos límites se utilizan para poder determinar el comportamiento de los suelos finos (2009, pág. 25). Atterberg al inicio determinó seis límites de ellos solo tres se utilizan como el de Límite líquido, límite plástico y límite de contracción.

**Figura 4**

*Los estados por lo que pasa el suelo*



**Fuente:** (Fundamentos de ingeniería geotécnica, 2015)

- **Límite líquido (LL)**

El límite líquido es el contenido de la humedad en base del comportamiento del material en estado plástico; se dice que cuando el material se encuentra en este grado esta a la nada de cambiar

su comportamiento al de un fluido viscoso (2009, pág. 25).

Como manifiesta (Crespo Villalaz, 2004) el limite liquido se determina en porcentaje el contenido de humedad en base al peso seco de la muestra. El limite liquido se obtendrá con la siguiente formula.

$$LP = \%h1 - \%h2 \dots \dots \dots \text{Ec.1.0}$$

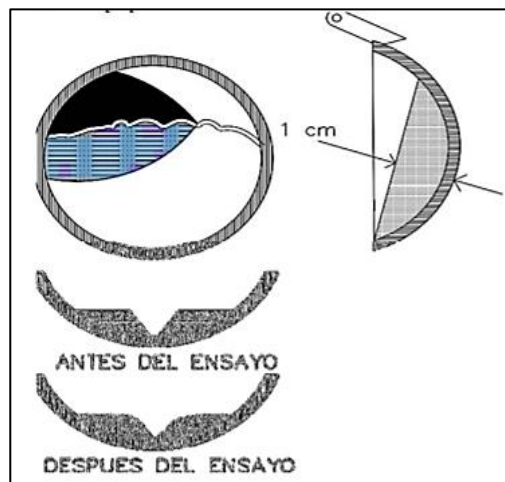
$$LI = \left( \frac{Ww}{Ws} * 100 \right) * k \dots \dots \dots \text{Ec 2.0}$$

**Figura 5**  
*Copa Casa Grande*



**Fuente:** (Estabilización de suelos cohesivos por medio de Cal en las Vías de la comunidad de San Isidro del Pegón, municipio Potosí- Rivas, 2015)

**Figura 6**  
*Momento en la obtencion del limite liquido*



**Fuente:** (Fundamentos de ingeniería geotécnica, 2015)

- **Límite plástico (LP)**

Este limite consiste en el mas bajo contenido de agua en el estado donde el suelo continúe presentando plasticidad (Huezo Maldonado & Orellana Martinez, 2009).

Según (Crespo Villalaz, 2004)el limite plástico trata de cuando empieza a agrietarse un rollo que se forma con el suelo de 3 mm de diámetro después de haber rodeado en una superficie lisa.

**Figura 7**

*Realizando los cilindros para la plasticidad*



**Fuente:** (Aplicacion de ceniza de boñiga para la estabilizacion en subrasantes plasticas., 2020)

- **Límite de contracción (Lc)**

El limite de contraccion es el contenido de humedad por debajo del cual no se produzca disminucion adicional de volumen (Huezo Maldonado & Orellana Martinez, 2009).

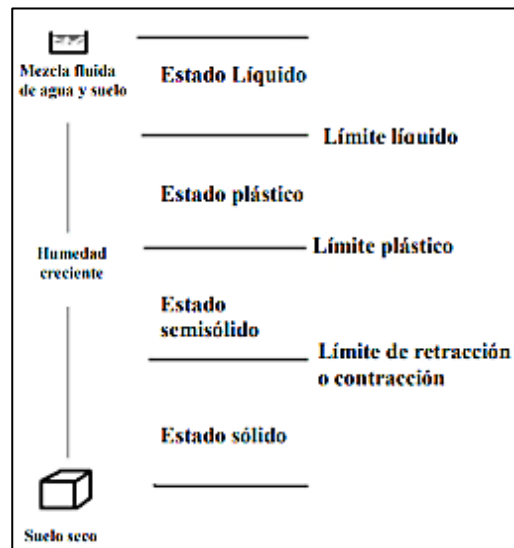
El limete de contracción se define como porcentaje de humedad dependiendo del peso seco de la muestra, donde el cual si existe una reducción de agua no disminuirá el volumen del suelo. Este limite es muy importante ya que sirve para poder evaluar el trabajo de los cortes en caso que exista grietas (Crespo Villalaz, 2004).

En la figura se presenta los diferetes limites con las que cuenta un suelo.



**Figura 8**

*Muestra de los límites de Atterberg*



**Fuente:** (Guía básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en el Salvador, 2009)

**j) Índice de plasticidad**

Tal como menciona (Bauza Castello, 2003) el índice de plasticidad es la capacidad de la cantidad de agua que podrá absorber el suelo, por lo tanto, cuando el resultado es alto se dirá que el material es más débil y plástico; se dice que la cal generalmente reacciona con los suelos plásticos cuando se tiene un IP entre 10 y 50, y así disminuye su IP para así obtener un material más resistente.

Desde el punto de vista de (Crespo Villalaz, 2004) el índice de plasticidad se determina restando el límite líquido y el límite plástico pero expresado en (%) porcentaje donde se indica un margen de humedad donde el espécimen se encuentra en estado plástico.

$$IP = LL - LP$$

**Tabla 5.**

*La plasticidad del suelo*

Índice de plasticidad	IP > 20	IP ≤ 20 IP > 7	IP < 7	IP = 0
Plasticidad	Alta	Media	Baja	No plástico
Característica	Suelo muy arcilloso	Suelo arcilloso	Suelo poco arcillosos plasticidad	Suelos no arcillosos

Fuente: MTC-Sección Suelos y Pavimentos, 2014

## **B. Parámetros de estado**

### **a) Resistencia mecánica**

Teniendo en cuenta al (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2011) nos dice que la humedad de los suelos es muy importante porque de ello depende la capacidad de soportar cargas y tener una estabilidad en su estructura, se dice que el suelo podrá soportar pesos aceptable pero cuando ya exista presencia de agua se perderá la resistencia que se expresará con grietas y hundimientos.

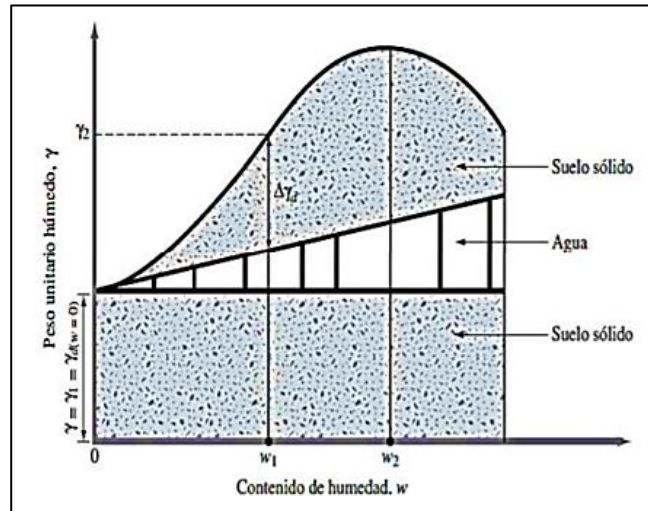
### **b) Compactación (ensayo Proctor)**

(GEOTECNIA , 2019) nos menciona que cuando se realiza la estabilización del suelo con una energía dada, se pasara a comprobar su densidad seca, la cual se refiere al suelo en estado seco que se modifica en base al contenido de agua hasta lograr alcanzar una máxima densidad.

La compactación del suelo se define como a la solidificación del espécimen al eliminar aire, con la utilización de la energía mecánica (Braja M Das, 2015).

**Figura 9**

*El principio de la compactación*



**Fuente:** (Braja M Das, 2015, pág. 91)

Empleando las palabras de (Rico Rodriguez, 1976) se dice que la compactación del suelo es el proceso mediante el cual se busca mejorar las características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo.

- **Proctor modificado**

Como plantea (Braja M Das, 2015) para realizar la prueba Proctor modificado se utiliza el mismo molde de la estandar, el volumen es de 943.4 cm<sup>3</sup>; el proceso de la compactación es de realizar 5 capas por cada pison que tiene un peso de 44.5 N, la caída del martillo es de 457.2mm, el numero de golpes por cada capa es de 25.

$$E = \frac{\left(\frac{\#golpes}{capa}\right) * (\#capas)(peso\ del\ pison\ (KN))(caida\ del\ martillo\ (m))}{volumen\ del\ molde\ (m^3)}$$

**Tabla 6.**

*Cuadro de especificaciones de la prueba Proctor modificado*

Elemento	Método A	Método B	Método C
Diametro del molde	101.6 mm	101.6 mm	152.4 mm
Volumen del molde	943.3 cm	3943.3 cm <sup>3</sup>	2124 cm <sup>3</sup>
Peso del martillo	44.5 N	44.5 N	44.5 N
Altura de la caída	457.2 mm	457.2 mm	457.2 mm

<b>del martillo</b>			
<b>Numero de golpes de martillo por capa de suelo</b>	25	25	56
<b>Numero de capas de compactación</b>	5	5	5
<b>Energía de compactación</b>	2696 kN-m/m <sup>3</sup>	2696 kN-m/m <sup>3</sup>	2696 kN-m/m <sup>3</sup>
<b>Suelo utilizado</b>	Porción que pasa el tamiz núm. 4 (4.57 mm). Puede ser utilizada si 20% o menos del peso de material es retenido en el tamiz núm. 4	Porción que pasa el tamiz de 9.5 mm. Puede utilizarse si el suelo retenido en el tamiz núm. 4 es más de 20% y 20% o menos del peso es retenido en el tamiz de 9.5 mm	Porción que pasa el tamiz de 19 mm. Puede utilizarse si más de 20% del material es retenido en el tamiz de 9.5 mm y menos de 30% del peso es retenido en el tamiz de 19 mm

**Fuente:** (Fundamentos de ingeniería geotécnica, 2015)

- **Proctor estandar**

Como se cita en el (Manual de Ensayo de materiales , 2016) en el Proctor estadar se halla la relación de contenido de agua y el peso unitario del especimen.

**c) Sistema de clasificación según AASHTO y SUCS**

- **ASSHTO**

Como señala (Braja M Das, 2015) el sistema AASHTO es uno de los sistemas mas utilizados en la granulometría y plasticidad; y también sirve para la evaluación de la clasificación de materiales para los tipos de carreteras subrasantes y granulares de vias.

**Tabla 7****Clasificación de suelos y mezclas de suelo-agregado**

Clasificación general	Materiales Granulares (35% o menos que pasa N° 200)			Materiales Arcillosos (más de 35% que pasa N° 200)		Limo - (más del 35% que pasa N° 200)	
Clasificación de grupo	A - 1	A - 3 <sup>A</sup>	A - 2	A - 4	A - 5	A - 6	A - 7
<b>Análisis granulométrico % que pasa</b>							
N° 10 (2mm)	...	...	...	...	...	...	...
N° 40 (425 µm)	50 máx	51 mín	...	...	...	...	...
N° 200 (75 µm)	25 máx	10 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín
<b>Características de fracción que pasa N° 40 (425 µm)</b>							
Límite líquido			B	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de Plasticidad	6 máx	N.P.	B	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Clasificación general como subrasante	Excelente a bueno			Regular a deficiente			

Fuente: (Fundamentos de ingeniería geotécnica, 2015, pág. 79)

- **SUCS**

Se empieza con la descripción de los diferentes tipos de suelos:

- ✓ **Suelos gruesos**

- Grava
- Arenas

- ✓ **Las gravas y arenas**

- Material prácticamente limpio de finos, bien gradado
- Material prácticamente limpio de finos, mal gradado
- Material con cantidad apreciable de finos no plásticos.
- Material con cantidad apreciable de finos plásticos.

- ✓ **Suelos finos**

- Limos inorgánicos, de símbolo genérico M
- Arcillas inorgánicas, del símbolo genérico C
- Limos y arcillas orgánicas, de símbolo

genérico O.

**Tabla 8.**

*Clasificación de suelos por el sistema SUCS*

DIVISIONES PRINCIPALES		SIMBOLOS DEL GRUPOS	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO		
SUELOS DE GRANO GRUESO Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,75 mm)	Gravas limpias (sin o con pocos finos)	<b>GW</b>	Gravas bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	$C_u = D_{60}/D_{30} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ entre 1 y 3 No cumple con las especificaciones de granulometría para GW	
		Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena pocos finos o sin finos	<b>GP</b>			
		Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	<b>GM</b>	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo	Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$ Encima de la línea A Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP > 7$	
			<b>GC</b>	Gravas arcillas, mezclas grava-arena-arcilla	Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP > 7$	
	ARENA Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,75 mm)	Arenas limpias (pocos o sin finos)	<b>SW</b>	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos	$C_u = D_{60}/D_{30} > 6$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ entre 1 y 3 Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.	
			<b>SP</b>	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos		
		Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)	<b>SM</b>	Arenas limosas, mezclas de arena y limo	Límite de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$ Los límites situados en la zona rayada con $IP$ entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de símbolo doble.	
			<b>SC</b>	Arenas arcillas, mezclas arena-arcilla		
					Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: $< 5\% \rightarrow$ GW, GP, SW, SP. $> 12\% \rightarrow$ GM, GC, SM, SC 5 al 12% $\rightarrow$ casos límite que requieren usar doble símbolo	
SUELOS DE GRANO FINO Más de la mitad de material pasa por el tamiz número 2000.	Limos y Arcillas: Limite Líquido menor de 50 $LL < 50$	<b>ML</b>	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillas, o limos arcillosos con ligera plasticidad			
		<b>CL</b>	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.			
		<b>OL</b>	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.			
	Limos y Arcillas: Limite Líquido menor de 50 $LL > 50$	<b>MH</b>	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.			
		<b>CH</b>	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.			
		<b>OH</b>	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevadas; limos orgánicos.			
		<b>Suelos muy orgánicos</b>			<b>PT</b>	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.

Fuente: (Quispe Rivero, 2020)

**d) Capacidad portante (CBR)**

El (Manual de Ensayo de materiales , 2016) nos menciona que que el CBR se utiliza para poder hallar la resistencia potencial de subrasante, sub base y material base.

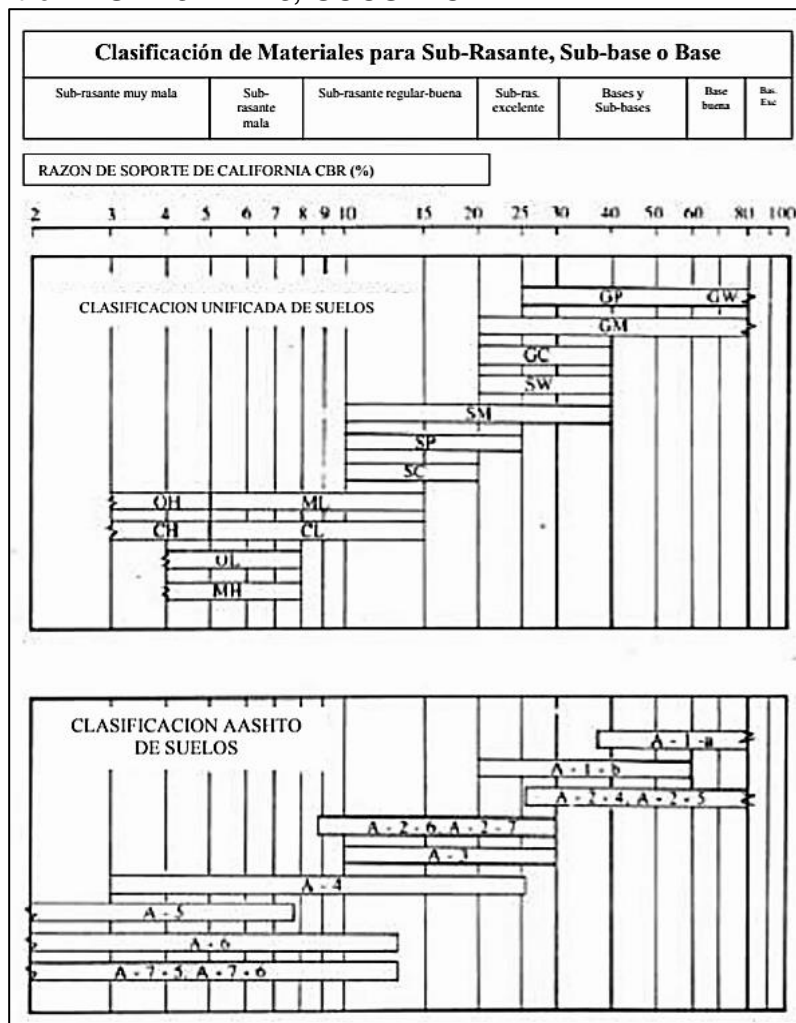
Desde el punto de vista de (Suarez, 2016) el ensayo de CBR California Bering Ratio, se encarga de calcular la resistencia al punzonamiento del suelo sobre las probetas

confeccionadas con el proceso del ensayo Proctor para al final realias la comparacion de todos los valores con una referencia que será el patron.

Mediante este ensayo se determina la capacidad portante del suelo el resultado se expresa en el índice portante CBR en porcentaje (%) del valos de referencia, mientras mas sea elvalor del CBR mayor será la capacidad portante del suelo. (2016, pág. 17).

En la siguiente figura se resenta la clasificación de suelos según AASHTO M-145 y su clasificación de suelos SUCS ASTM D 2487 y la capacidad portante del CBR.

**Figura 10**  
Correlacion entre AASHTO M-145, SUCS Y CBR



**Fuente:** (Guia basica para estabilizacion de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en el Salvador, 2009)

- **Tipos de ensayo CBR**

Como señala (Suarez, 2016) ya que existe una variedad de suelos en el campo, el ensayo de CBR se podrá realizar de diferentes maneras.

- CBR de laboratorio
- CBR para muestras inalteradas
- CBR in situ

## **2.2.2. Pavimento**

Como manifiesta (Huezo Maldonado & Orellana Martinez, 2009) el pavimento esta formada por capas con distintos espesores y cada una de ellas son de diferentes calidades y cuando actúan juntas brindan un nivel de resistencia al paso de los vehículos.

### **2.2.2.1. Sub-rasante**

En el pavimento flexible esta capa que forma parte de la carretera es la encargada de soportar la estructura del pavimento y se exparte hasta una profundidad que no perjudique la carga de diseño que corresponde al tránsito, se dice que esta capa esta puede estar conformado a base de corte y relleno por tal el grosor del pavimento estará en función a la calidad de la subrasante por lo tanto este tiene la función de obedecer los requisitos de resistencia y la inmunidad a la expansión. (2009, pág. 10).

En el pavimento rígido esta capa cumple las mismas funciones que del pavimento flexible son generados de igual manera como se describió anteriormente. (2009, pág. 12).

En el (Manual de Carreteras –Suelos y Pavimentos, 2014)nos dice que los suelos se encuentran por debajo del nivel superior de la subrasante, con una profundidad no menos de 0.60 m, deben ser suelos adecuados y estables con  $CBR \geq 6\%$ . En caso de que el suelo, debajo del nivel superior de la subrasante que tenga un  $CBR < 6\%$  corresponde estabilizar, para lo cual el Ingeniero responsable analizara según la naturaleza del suelo alternativas de solución, como la estabilización mecánica, el remplazo, estabilización química, estabilización con geo sintéticos, elevación de la rasante.



### **2.2.3. Estabilización de suelos**

(Parra Gomez, 2018) nos da a entender que para la estabilización de suelos se realizan metdos fisicos y quimicos que ayudan a mejorar una masa de suelo para que pueda resultar mas consistente y obtengue un buen uso. Cuando se refiere la estabilización en el contexto de una via se dice que existe métodos que se realizan para poder mejorar los suelos y que pueda generar capas con la finalidad que forme una superficie de pavimento.

(M. R. Hall, 2014) nos dice la estabilizacion de suelos no strae ventajas y desventajas y algunas de ellas son las siguientes:

- Apura el proceso constructivo por el hecho que el espesor que se requiere es muy menor y por lo tanto no se necesita mucho material y la mano de obra también.
- La resistencia y la durabilidad aumentan significativamente.
- Los costos para el tratamiento superficialr será educido.
- El costo del material para la estabilización es mayor como por ejemplo el de cemento y también de algunos materiales ya que son difícil de conseguir y transportar (M. R. Hall, 2014).

#### **2.2.3.1. Estabilización mecánica**

En este tipo de estabilización se utiliza las fuerzas externas sin la necesidad de cambiar en el especimen su estructura, ni su composición, se utiliza la compactación para poder reducir los vacíos. (Manual de Carreteras –Suelos y Pavimentos, 2014, pág. 98), en esta clase de estabilizacion se utiliza metodos que mejoran las propiedades del suelo sin la necesidad agentes que se puedan adicionar por lo tanto no habra efectos químicos (Braja M Das, 2015).

#### **2.2.3.2. Estabilización por sustitución de suelos**

Se refiere cuando existe una extracción del material para poder ubicarlo encima del material inicial para que pueda presentar propiedades adecuadas. (Manual de Carreteras –Suelos y Pavimentos, 2014)

### **2.2.3.3. Estabilización química**

En este caso se utilizan sustancias químicas donde se presenta la sustitución de iones metálicos que se involucran en el proceso para obtener una mejora en las propiedades en el caso de su comportamiento y la manejabilidad del suelo (Valle Areas, 2010).

#### **A. Estabilización con cemento**

Como se manifiesta en el (Manual de Carreteras –Suelos y Pavimentos, 2014) la estabilización a base de cemento es utilizado para los suelos disgregados, con una compactación y un curado, donde se convertirá un material suelto en un material endurecido con una buena resistencia, a diferencia del concreto se observa que los elementos están sueltos.

#### **B. Estabilización con escoria**

Para poder realizar la estabilización con la escoria se necesita sacar el material del horno de fundación, para poder mezclarlo con el suelo de esa manera se podrá mejorar cada una de sus propiedades del suelo (Manual de Carreteras –Suelos y Pavimentos, 2014).

#### **C. Estabilización con cloruro de sodio**

(Manual de Carreteras –Suelos y Pavimentos, 2014) cuando se trata de la aplicación de la sal en la estabilización del suelo se realiza con el fin de poder controlar el polvo y para poder evitar que se evapore el contenido de agua en las zonas secas.

#### **D. Estabilización con cloruro de calcio**

El cloruro de calcio es un buen estabilizante que ayuda en la resistencia, en la compactación, evita el deterioramiento y disminuye el polvo. (Manual de Carreteras –Suelos y Pavimentos, 2014)

#### **E. Estabilización del suelo con cal**

(Bauza Castello, 2003) La estabilización de suelos con cal parece ser la forma más antigua de mejoramiento de suelos. Hay evidencias de que la Vía Apia, acceso a la

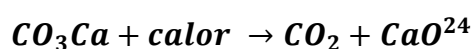
antigua roma, se construyó utilizando estas técnicas. En términos generales, las técnicas de estabilización con cal hidratada o cal viva son bastante similares a las de estabilización con cemento, pero hay dos aspectos de diferencia que conviene destacar desde un principio.

La cal tiene poco efecto en suelos muy orgánicos o en suelos sin arcilla, tiene su máximo efecto en las gravas-arcillosas, en las que puede producir mezclas inclusive más resistentes que las que se obtendrían con cemento. Ha obtenido su utilización más frecuente en arcillas plásticas, a las que hace, adicionalmente, más trabajables y fáciles de compactar, razón por la que se usa frecuentemente como pretratamiento, anterior a una estabilización con cemento, además de los muchos casos en que se usa como estabilizante definitivo (Bauza Castello, 2003).

#### 2.2.4. Cal

“En un producto resultante de la descomposición de las rocas calizas ( $\text{CaCO}_3$ ) por la acción del calor. Estas rocas calentadas a más de  $900\text{ }^\circ\text{C}$  se obtiene el óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), conocido con el nombre de cal, producto sólido de color blanco y peso específico de  $3300\text{ Kg/m}^3$ . La cal reacciona violentamente en contacto con el agua, con desprendimiento de calor que alcanza los  $90\text{ }^\circ\text{C}$ , realizándose la hidratación obteniéndose una pasta blanca llamada cal hidratada o cal apagada. Se forma entonces hidróxido de calcio o  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . En la tabla N°02 se describe las propiedades físicas y químicas de la cal.” (IGG, 2010)

Según (Parra Gomez, 2018) la cal tiene una variedad de usos, una de ellas es para la construcción dicho material es de color blanco, la cal es el producto de una abstracción de una roca caliza y así se muestra en la siguiente reacción química.



El carbono de calcio se explota cuando se encuentra en su estado natural ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) donde después se convierte en dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y óxido

de calcio ( $CaO$ ) y deues cal viva.

La cal es uno de los productos con la capacidad de proveer una gran variedad de beneficios, los cuales de mencionan a continuación:

- Secar
- Modificar
- Estabilizar

**Tabla 9**

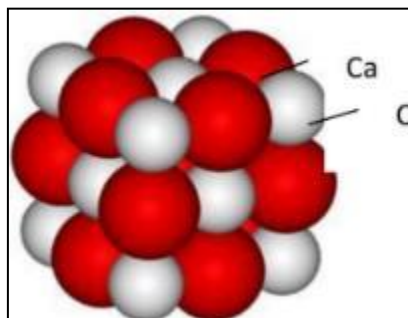
*Características físicas de la cal*

<b>Fórmula</b>	<b>CaO</b>
Color	Blanco
Densidad	3300 kg/cm <sup>3</sup>
Estado de agregación	Sólido
Masa molar	56.10 g/mol
Punto de fusión	2927°C
Solubilidad en agua	Reacciona

Fuente: ICG & GERENCIA, 2010.

**Figura 11**

*Moléculas de la cal*



Fuente: ICG & GERENCIA, 2010.

**Figura 12**

*Cal*



### 2.2.4.1. Clases de cal

#### A. Cal viva

(Fontalvo, Medrano, & Nadad, 2006) nos dice que este tipo de cal es el producto de la calcinación, despues de desprenderse del dióxido de carbono para convertirse en oxido de calcio y con la adición de agua se obtendrá masas de cal que ayudan en la estabilización del suelo.

(ANFACAL, 2018) nos menciona que el precio de la cal viva es menor ya que el elemento se encuentra en gran cantidad en los tiempos de lluvia ayuda a menorar la expansividad en los suelos de tipo arcilloso una de las desventajas de este material seria que deberá tener un cuidado especial y al momento de la utilizacio se necesita estar bien cuidado.

#### B. Cal hidratada

Este tipo de cal presenta un elemento importante como es el hidróxido de cal que es el resultado de la reacción que se obtiene del oxido de calcio mas el agua (Murray, 2017) la ventaja que nos presenta esta cal hidratada es que es fácil de utilizar y los efectos que causa en los suelos que tienen poca humedad es mayor,la desventaja que presenta es que al momento de utilizarlo genera mucho polvo, el precio del traslado es mas por su peso volumetrico por tal se tiene inconvenientes en las dosificaciones cuando en la ubicación existe mucho tiempo. La adherencia de agua en la cal viva se se podrá realiza de tres maneras:

**Tabla 10**

*Tres maneras en las que se puede añadir agua a la cal*

Aspersión	Inmersión	Fusión
Se extiende los bloques de cal viva en el área donde se incrementa agua a un 25% y 50% del peso para pasar a cubrir con arena para obtener la cal en polvo.	En este metodo el bloque de cal viva se disminuye hasta estar como granos para luego poder sumergirlos en agua en un minuto.	Este método se trata de llenar bloques de cal en recipientes mas agua para lograr formar una masa y cubrirla con una capa de arena para eliminar la carbonatación.

Fuente: Elaboracion propia

#### 2.2.4.2. La reaccion del agua en la cal

Como afirma (Parra Gomez, 2018) el resultado que se obtiene al estar en contacto el agua con la cal es una reacción brusca e inestable por la capacidad de absorción de la humedad por lo tanto se genera una reacción exotérmica.

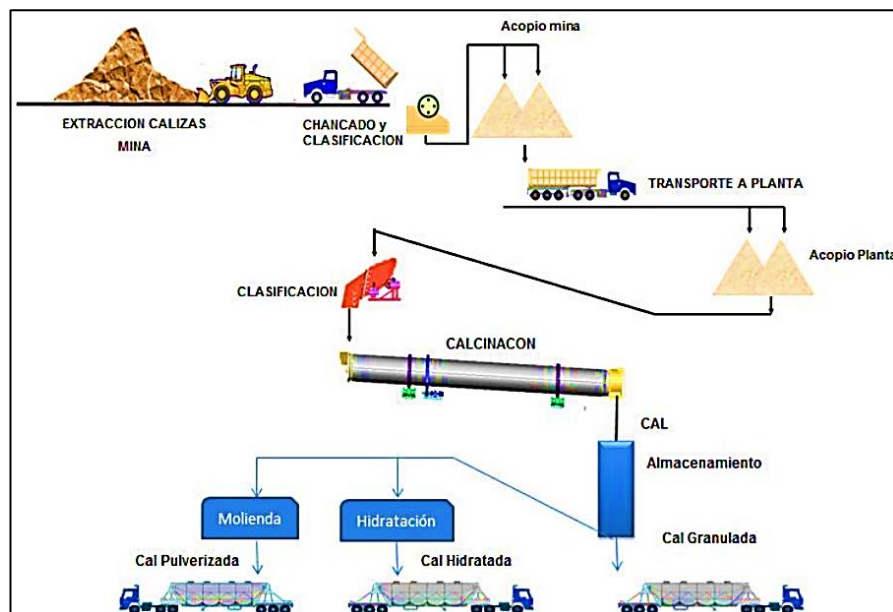


#### 2.2.4.3. Proceso de producción de la cal

El proceso de la cal se podrá desarrollar tpor medio de la calcinación de la piedra caliza para lograr la obtención de la cal viva o también se podrá optener mediante la extracion y explotación de yacimientos de de piedra caliza (Parra Gomez, 2018).

**Figura 13**

*El proceso de producción de la cal*



Fuente: Inacal, producto y servicios de cal viva

#### A. Extraccion

Se busca el lugar donde haya material para lograr la obtención de ello, se pasará a realizar perforación para poder introducir unos explosivos para realizar la voladura y pasar a acarrear el material que fue triturado (2018, pág. 28).

### **B. Trituración**

Se realiza la trituración para menorar el tamaño de los restos de la voladura y para ello el material será llevado a una trituradora para la obtención de trozos de tamaño mas pequeño para luego llevarlos a los hornos verticales (2018, pág. 28).

### **C. Calcinación**

Se trata de la exposición del producto hacia el fuego del horno para así poder quemar el dióxido de carbono y conseguir la cal viva (2018, pág. 29).

### **D. Cribado**

Este paso sirve para poder clasificar la cal viva de los otros granos para luego pasar al siguiente proceso (2018, pág. 29).

### **E. Trituración y pulverización**

Como se menciona anteriormente este paso sirve para poder triturar a un mas pequeño los granos de cal (2018, pág. 29).

#### **2.2.4.4. Estabilización de suelos con cal**

Los artículos estabilizantes más famosos son la cal, el cemento y el asfalto, cuyas categorías universales de suministrarse son muy numerosos, es imprescindible debemos que tener en consideración el modelo de suelo para elegir el tipo de estabilizante más apropiado, en este proceso el tipo de cal a utilizar para estabilización de suelos arcillosos debe ser afectado. Para la estabilización de suelos se utilizan la cal humedecida la cual se reactiva con la parte arcillosa y los intercambian o modifica constantemente en una resistente matriz cementante. La estabilización con cal es un método que se adapta a los suelos, a los elementos granulares o capas de subrasante, incrementándole un amarre estabilizador, para aumentar sus propiedades mecánicas, principalmente el volumen de apoyo, fuerza a los agentes meteorológicos, equilibrio volumétrico. (Metodos estabilizacion de suelos: Compactacion-mecanica de suelos, 2011)

También, al combinar el suelo con la cal se aumenta la propiedad plástica del mismo y la disminución de absorción. En la estabilización del suelo se transforma cuantiosamente las particularidades inherentes del mismo, obteniendo potencia y estabilidad a largo plazo, de modo duradero, en porciones en lo que relaciona a la actividad del agua. (2011, pág. 15)

Su adición se puede trabajar en vías, caminos rurales, zonas peatonales, aeropuertos, calles urbanas, vías férreas. Las características mineralógicas de los suelos definen su calidad de reactividad con la cal y la fuerza final de la capa estabilizada.

Es aconsejable los suelos arcillosos de grano fino, que pasan más del 25% la malla N° 200 e índice de plasticidad mayor al 15%, los suelos con esas características son oportunas para la estabilización con cal. (2011, pág. 15)

#### **2.2.4.5. La química del tratamiento con cal**

“Cuando la cal y el agua se añaden a un suelo arcilloso, comienzan a ocurrir reacciones químicas casi inmediatamente” ( Nacional Lime Association, 2004). Estas reacciones químicas se describen a continuación:

##### **A. Secado**

“Si se usa cal viva, la misma se hidrata inmediatamente (químicamente se combina con el agua) y libera calor. Los suelos se secan porque el agua presente en el suelo participa en esta reacción, y porque el calor generado puede evaporar la humedad adicional”. ( Nacional Lime Association, 2004, pág. 08).

“La cal hidrata producida por estas reacciones iniciales, posteriormente reaccionara subsecuentes, lentamente producirán un secado adicional porque las mismas reducen la humedad mejorando el soporte. Si se utiliza la cal hidratada o la lechada de cal hidratada, en lugar de la cal viva, el secado ocurre solo por cambios químicos del suelo, que producen su



capacidad para retener el agua y aumente su estabilidad.” (2004, pág. 09).

La cal logra ser usada muy eficazmente para la evaporación de cualquier suelo alto grado de saturación. La cal al entrar en contacto con el agua, produce una resistencia exotérmica, ocasionando calor que evapora el agua del suelo. (2004, pág. 09).

El óxido de calcio se hidrata al adicionarle agua o por el humedecimiento del suelo. Para hidratar una tonelada de óxido de calcio, se necesita aproximadamente 320 litros de agua. (2004, pág. 09).

## **B. Modificación**

“Después de la mezcla inicial, los iones de calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) de la cal hidratada emigran a la superficie de las partículas arcillosas y desplazan el agua y otros iones. El suelo se hace friable y granular, haciendo más fácil para trabajar y compactar. En esta etapa el índice de plasticidad del suelo disminuye drásticamente “Floculación y aglomeración” generalmente ocurre en el transcurso de horas.” ( Nacional Lime Association, 2004, pág. 09). Gracias al intercambio iónico, el suelo arcilloso con la cal esta se modifica, resultando las siguientes variaciones en su característica físicas las cuales se mencionan a continuación:

- Reducción del límite de plasticidad.
- El suelo se hace friable y granular.
- Mejora la estabilidad y compactación.
- Se reduce la expansividad del suelo.

## **C. Estabilización**

“Cuando se añaden las cantidades adecuadas de cal y agua. El pH del suelo aumenta rápidamente arriba de 10.5 lo que permite romper las partículas de arcilla. Determinación de la cantidad de cal necesaria es parte del proceso de diseño y se estima por pruebas. Se liberan la sílice y la alúmina y reaccionan con el

calcio de la cal para formar hidratos de calcio-silicatos (CSH) e hidratos de calcio-aluminatos (CAH). CSH y CAH que son productos cementantes similares a aquellos formados en el cemento portland. Ellos forman la matriz que contribuye a la resistencia de las capas del suelo estabilizado con cal.” ( Nacional Lime Association, 2004, pág. 09).

“Cuando se forma esta matriz, el suelo se transforma en un material arenoso granular, a una capa dura relativamente impermeable, con una capacidad de carga significativa. El proceso se inicia en unas horas, puede continuar durante años, en un sistema diseñado correctamente. La matriz formada es permanente, duradera y significativamente impermeable, produciendo una capa estructural que es tan fuerte como flexible.” (2004, pág. 09).

La cal es utilizada para estabilizar y fortalecer las capas tales como la Subbase y bases las cuales forman la estructura del pavimento. Los beneficios que se obtienen con la estabilización con cal son las siguientes:

- Ganancia progresiva de resistencia a la compresión con el tiempo.
  - Durabilidad a largo plazo en condiciones adversas.
  - Se crea una barrera resistente al agua.
  - Reducción del límite de plasticidad.
  - Reduce las características de expansión y agrietamientos.
- (2004, pág. 10).

#### **2.2.4.6. Influencia de la cal en las características de los suelos**

“La cal generalmente produce una disminución en la densidad de los suelos, modifica la plasticidad y aumenta la capacidad soporte y resistencia la corte del material y reduce su hinchamiento”. (Gomez Betancourt, 2002) La acción de la cal suele explicarse como efectuada por tres reacciones básicas:

“La primera es la alteración de la partícula de agua que rodea los

minerales de arcilla. El segundo proceso es el de coagulación o floculación de las partículas del suelo, dado que la cantidad de cal ordinariamente empleada en las construcciones viales, (del 4% al 10% en peso) resulta una concentración del ion de calcio mayor que la realmente necesaria.”(Gomez Betancourt, 2002)

“El tercer proceso a través del cual la cal afecta al suelo, es su reacción con los componentes del mismo para formar nuevos productos químicos, los dos principales componentes que reaccionan con la cal son la alúmina y la sílice. Esta reacción es prolongada en la acción del tiempo y se manifiesta en una mayor resistencia si las mezclas de suelo-cal son curadas durante determinados lapsos de tiempo” (Gomez Betancourt, 2002) .Este hecho es conocido como “acción Puzolánica”.

#### **A. Influencia de la cal sobre las constantes físicas del suelo**

- **Límite líquido - Límite plástico - Índice plástico**

“Una de las funciones más importantes de la cal es que modifica la plasticidad del suelo en forma bastante apreciable. Para suelos con índices plásticos inferiores a 15, la cal incrementa el límite líquido en forma que el índice plástico experimenta un ligero incremento. Para suelos más plásticos la cal generalmente reduce el límite líquido y aumenta el límite plástico, traduciéndose en una disminución apreciable del índice plástico.” (Gomez Betancourt, 2002)

- **Límite de contracción**

La adición de cal flocula las partículas arcillosas del suelo transformando su textura elemental. “La influencia sobre el límite de contracción que experimenta el suelo tratado”.

“Como corolario de este hecho se observa una marcada reducción de la contracción lineal y de la razón de contracción.” (Gomez Betancourt, 2002)

- **Influencia sobre la textura elemental**

“Como es natural, el floccular las partículas de arcilla por adición de cal, se produce una modificación de la textura elemental del suelo. Tal hecho es puesto en evidencia en el análisis mecánico por sedimentación, donde se observa una disminución de la fracción de arcilla, aumentando la proporción de partículas de limo y arena fina, esta última en menor medida. “ (Gomez Betancourt, 2002)

- **Influencia sobre la densidad seca**

“Si se compacta una mezcla de suelo-cal se obtiene por lo general una densidad seca menor que el correspondiente al suelo solo, para las mismas condiciones de compactación, esta disminución puede alcanzar hasta un 5%.” (Gomez Betancourt, 2002)

La reducción anotada en la densidad puede explicarse por el efecto de la cal sobre la textura del suelo.

“En efecto, el hecho que la adición de cal incrementa la resistencia de un suelo mientras reduce su densidad no debe extrañar. En el caso de un material específico la resistencia generalmente aumenta con la densidad. Sin embargo, cuando un agente químico, tal como la cal, es agregado a un suelo natural se forma un nuevo material, el cual puede tener propiedades físicas y químicas enteramente diferentes que el original, por lo tanto, su propia densidad máxima puede tener mayor resistencia que el suelo no tratado, aunque este se encuentre más densificado.” (Gomez Betancourt, 2002)

- **Influencia sobre la resistencia de los suelos**

“Si bien la cal disminuye la densidad de compactación del suelo, no ocurre lo mismo con la capacidad resistente del mismo. Por el contrario, la adición de cal produce un aumento de la resistencia del suelo. Medida por distintos ensayos como veremos a continuación. El inmediato

aumento de la resistencia del suelo es causado por los cambios en las partículas que rodean las partículas de arcilla también como una granulación de estas partículas.” (Gomez Betancourt, 2002)

“El efecto debido a la acción cementante de la cal, no aparece inmediatamente después de la compactación sino al cabo de cierto tiempo en que tiene lugar la iniciación del fraguado. Los ensayos de valor de soporte de California sobre suelos tratados con cal, muestran un pronunciado aumento de la estabilidad en relación con la del suelo.” (Gomez Betancourt, 2002)

#### **B. Propiedades de la estabilización de suelos con cal**

- Reducción del índice de plasticidad, debido a una reacción del límite líquido y a un incremento del límite plástico.
- Reducción considerable del ligante natural del suelo por aglomeración de partículas.
- Obtención de un material más trabajable y fiable como producto de la reducción del contenido de agua en los suelos.
- La cal ayuda a secar los suelos húmedos lo que acelera su compactación.
- Reducción importante del límite de contracción y el porcentaje de hinchamiento.
- Incremento de la resistencia a la compresión simple de la mezcla posterior al tiempo de curado.
- Incremento de la capacidad de soporte del suelo (CBR).
- Incremento de la resistencia a la tracción del suelo.
- Formación de barreras impermeables que impiden la penetración de aguas de lluvia o el ascenso capilar de aguas subterráneas. (Gomez Betancourt, 2002)

#### **2.2.5. Estiércol o boñiga**

El estiércol o boñiga de origen animal generalmente se utiliza con el criterio de mejorar las propiedades físicas del suelo o para incrementar el contenido de materia orgánica del mismo. No obstante, debe considerarse como un fertilizante orgánico, ya que contiene prácticamente todos los nutrientes esenciales para las plantas (Figueroa Viramontes, y otros, 2010)

**Figura 14**  
*Boñiga de res*



**Fuente:** Contexto ganadero-2019

El estiércol o boñiga regenera la materia orgánica y mejora las condiciones físicas del suelo. Cuando se maneja adecuadamente, el estiércol de animal juega un papel muy importante en el mantenimiento de la fertilidad del suelo. Sin embargo, si no se aplica bien y/o en exceso, el estiércol puede contaminar el aire, el agua y el suelo. El estiércol o boñiga contiene un buen número de nutrientes para las plantas. Casi la mitad del nitrógeno que contiene el estiércol está en forma amoniacal, si se maneja bien, es disponible casi inmediatamente para las plantas. (Figueroa Viramontes, y otros, 2010)

El resto se encuentra en diversos compuestos orgánicos y no está disponible para las plantas. La composición química de los estiércoles varía en función de la dieta del ganado. Sin embargo, el nitrógeno es de los nutrientes encontrados en mayor cantidad en la mayoría de los estiércoles. El estiércol y otros abonos orgánicos como las compostas representan una fuente de nutrimentos que pueden reducir el uso de fertilizantes inorgánicos y aumentar la productividad del suelo, con lo cual contribuyen a la sustentabilidad

de los sistemas agropecuarios. En la actualidad, con los altos costos de los fertilizantes es importante buscar alternativas que reduzcan los costos de producción y los riesgos de contaminación al ambiente (Figueroa Viramontes, y otros, 2010)

#### **A. Descomposición de estiércol o boñiga**

El primer año de la aplicación de un estiércol, solamente se libera por descomposición parte del contenido total de nutrimentos; la diferencia queda en forma residual para los siguientes años de cultivo. La descomposición de los estiércoles depende de las condiciones de temperatura y humedad en un lugar determinado; es gradual y continuo a través del tiempo desde el momento de su aplicación. Para fines prácticos la liberación de un elemento durante la descomposición del estiércol se estima por año como unidad de tiempo.

#### **B. Contenido de fósforo en el suelo con el uso de estiércol o boñiga**

En suelo agrícola es importante monitorear la concentración de P en el suelo para un adecuado manejo de la fertilización, sobre todo cuando se incorpora residuos orgánicos. La disponibilidad o mineralización del P en el estiércol se da en el porcentaje de 60, 20 y 10%, del primer al tercer año de aplicación. En climas áridos los porcentajes pueden aumentar a 75, 10 y 5%. (Figueroa Viramontes, y otros, 2010).

La aplicación de estiércol bovino como enmienda orgánica es una alternativa para la recuperación de estas áreas son frecuentes los reportes en los cuales se destacan los efectos positivos de esta enmienda sobre características químicas del suelo tales como: aumentos en el contenido de fósforo disponible de 1.7 y 2.7 veces mayor lo valores en los lotes no enmendados de estiércol. Se evaluó el efecto del estiércol sobre el contenido de fósforo disponible en el suelo, determinado por el método Olsen. Puede observarse

prácticamente la misma tendencia que en el caso de la materia orgánica. Un año después de la primera aplicación, el contenido de P se incrementó en función de la cantidad de estiércol aplicado. Lo anterior indica que el fósforo contenido en el estiércol es disponible inmediatamente a los cultivos y que además se acumula en el suelo. Debido a que ese elemento no se pierde por lixiviación, es de esperar que su acumulación en el suelo eventualmente permite suprimir por uno o varios ciclos la aplicación de fertilizante fosforado. (Figuroa Viramontes, y otros, 2010).

Los abonos orgánicos deben usarse racionalmente, pues contienen mucho más fósforo del que requieren los cultivos en relación con el nitrógeno. Por ello se deben usar sobre la base del nutrimento que se encuentra en mayor concentración y que es requerido en menor cantidad por el cultivo, que normalmente es el fósforo. (Figuroa Viramontes, y otros, 2010).

La pérdida más importante de P durante el manejo y uso de estiércol ocurre por escurrimiento superficial en sus resultados logran contabilizar en las salidas el 62% del P que entra en la unidad de producción, por lo que el 38% se consideran pérdidas en el sistema. (Figuroa Viramontes, y otros, 2010).

El P recuperado en estiércol próximo a ser incorporado (4,965 t año<sup>-1</sup> de P), corresponde a 11,420 t año<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, los cuales pudieran fertilizar 107,062 ha<sup>-1</sup>, considerando un 75% de Mineralización durante el año de aplicación y una dosis de, 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Por lo que el P recuperado en estiércol alcanzaría a fertilizar casi el 70% de toda la superficie agrícola de la región. Sin embargo, no es común mover estiércol fuera de las unidades de producción de forraje-leche, por lo que el P debe estarse acumulando en estos suelos. Una práctica



que ayuda a disminuir la acumulación de P es calcular las dosis de aplicación de estiércol en base al requerimiento de P de cada cultivo. (Figueroa Viramontes, y otros, 2010).

El estiércol o boñiga es fuente de nutrimentos, principalmente macro elementos. Cada tonelada de estiércol aporta 12.5, 6.4 y 27.5 kg de N-P-K, respectivamente. Los valores de macro elementos generalmente son menores en composta, mientras que los valores de micro elementos se concentran durante el proceso. (Figueroa Viramontes, y otros, 2010).

### **2.3. Definiciones de términos**

**a. CBR (California Bearing Ratio):**

Valor relativo de soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo (Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Perú), 2014)

**b. Pavimento:**

Estructura construida sobre la subrasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: subbase, base y capa de rodadura (Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Perú), 2014)

**c. Análisis granulométrico**

El análisis granulométrico tiene como objeto, que las partículas de agregado estén dentro de un cierto margen de tamaños y que cada tamaño de partículas esté presente en la mezcla de pavimentación en ciertos porcentajes. (Valdivia Sánchez, 2017, pág. 89).

**d. Densidad**

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de la mezcla). (Valdivia Sánchez, 2017, pág. 202).

**e. Resistencia**

Capacidad de un material de presentar oposición, en mayor o menor grado, frente a las fuerzas aplicadas sobre el mismo, sin sufrir deformaciones o

rotura” (Manual de Carreteras –Suelos y Pavimentos, 2014)

**f. Boñiga**

Presenta un origen en áreas lingüísticas del gallego y significa estiércol de vaca (Santano, 2014, pág. 257). Es el estiércol de vacuno el cual se encuentra en estado líquida o deshidratado en la intemperie, el cual toma meses para su deshidratación, de característica dura y a la vez liviana y ante presencia de fuego es de fácil encendido. (Quispe Rivero, 2020)

## **2.4. Hipótesis**

### **2.4.1 Hipótesis general**

La incorporación de cal hidratada con boñiga de res mejoraría la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante.

### **2.4.2 Hipótesis específica**

- a) El proctor con la incorporación de cal hidratada con boñiga de res aumentaría la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante.
- b) La máxima densidad seca aumentaría a la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante.
- c) La variación del CBR aumentaría a la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante.

## **2.5. Variables**

### **2.5.1. Definición conceptual de las Variables**

**a) Variable independiente (X)**

**Cal hidratada con boñiga de res**

Es el estiércol de vacuno o también llamado boñiga de res se encuentra en estado líquida o deshidratado en la intemperie, el cual toma meses para su deshidratación, de característica dura y a la vez liviana y ante presencia de fuego es de fácil encendido. (Quispe Rivero, 2020)

(Montejo Fonseca, 2002), son una mezcla de sustancias que permitirán mejorar un suelo siendo ello que la cal hidrata funciona como un cementante, y la boñiga de res funciona como una plastificante.

**b) Variable dependiente (Y)**

**Estabilización de suelos arcillosos**

(Montejo Fonseca, 2002), los suelos arcillosos son una mezcla de diferentes materiales que forman un material sumamente cohesivo e inestable.

**2.5.2. Definición operacional de la Variable**

$$y=F(x)$$

**a) Variable independiente (X)**

**Cal hidratada con boñiga de res**

La boñiga de res ofrece a la subrasante de material arcilloso un ligante y que a través de las propiedades de la cal hidratada permitirán una mejora en las propiedades de la subrasante como la resistencia y la estabilidad.

**b) Variable dependiente (Y)**

**Estabilización de suelos arcillosos**

Los suelos arcillosos tienen propiedades cohesivas como inestabilidad y en estos suelos las principales características es que sus fallas son muy abruptas en relación a otros suelos.

**2.5.3. Operacionalización de variables**

**Tabla 11.**

*Operacionalización de variables*

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO	ESCALA				
						1	2	3	4	5
1: Variable Independiente Cal hidratada con boñiga de res	Son una mezcla de sustancias que permitirán mejorar un suelo siendo ello que la cal hidrata funciona como un cementante, y la boñiga de res funciona como una plastificante.	La boñiga de res permitirá a la subrasante arcillosa un ligante que a través de las propiedades de la cal hidratada permitirán una mejora de las propiedades de la subrasante como la resistencia y la estabilidad.	Dosificación	Porcentaje de mezclado	Ensayo visual		X			
			Proporción	Porcentaje del cementante	Ensayo visual		X			
			Granulometría	Gradación	MTC E 107		X			
			Densidad	Masa entre el volumen	MTC E 106		X			
1: Variable Dependiente Estabilización de suelos arcillosos	Los suelos arcillosos son una mezcla de diferentes materiales que forman un material sumamente cohesivo e inestable.	Los suelos arcillosos son una mezcla de propiedades cohesivas de mucha inestabilidad y en estos suelos las principales características es que sus fallas son muy abruptas en relación a otros suelos.	Límites de Atterberg	Límites plásticos	MTC E 110		X			
			CBR	Resistencia a la carga	MTC E 132		X			
			Máxima densidad seca	Masa entre volumen seco	MTC E 115		X			
			Deflexión	Deflectometría	MTC E 1002		X			

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Método de investigación**

El método de investigación para la presente tesis es el método CIENTÍFICO la cual rechaza o elimina aquel procedimiento que trate de manipular la realidad en forma caprichosa, tratando de imponer prejuicios. (Ccanto Mallma & Ccanto Mallma, 2013)

#### **3.2. Tipo de investigación**

El tipo de investigación es APLICADA, pues se pretende resolver problemas prácticos constructivos con el propósito de cambio. (Cid Sandoval Mendez, 2007, pág. 83)

#### **3.3. Nivel de la investigación**

Según (Espinoza Montes, 2014, pág. 90), considera que el Nivel de Investigación Explicativo “tiene como propósito buscar las relaciones de causa y efecto entre las variables del objeto de estudio. En este estudio el investigador no manipula las variables”.

La investigación recae en un nivel de investigación EXPLICATIVO, puesto que, se asocia variables para predecir su comportamiento se ha pretendido establecer las causas de los fenómenos. (Hernandez Fernandez, 2007).

#### **3.4. Diseño de investigación**

El diseño de la investigación es EXPERIMENTAL, porque se ha manipulado intencionalmente la variable independiente es realizada la medición para la determinación de los objetivos. (Hernandez Fernandez, 2007).

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

La población está constituida por 24 moldes de material subrasante para luego ser incorporados con cal hidratada y boñiga de res en dosificaciones mixtas de 1%, 2% y 3%.

#### **3.5.2. Muestra**

La muestra tomada en la presente investigación corresponde a 6 moldes con un tramo de prueba  $3 \times 5 \text{ m}^2$  y su análisis a condiciones normales.

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

#### **3.6.1. Técnicas**

Según (Carrasco Diaz, S., 2006, pág. 283), la observación directa “Es un proceso intencional que nos permite recoger información precisa y objetiva sobre los rasgos y características de las unidades de análisis”. La observación a realizar será estructurada, deliberada y de campo.

##### **a) Observación directa**

Las técnicas de recolección se refieren a los distintos modos de conseguir la información, la técnica que se usará en la presente investigación será la observación, ya que, según (Licda. Mae. Quinteros, 2013), define como una técnica a aquel conjunto de reglas y procedimientos que permiten al investigador fijar la relación con el objeto o sujeto de la investigación.

##### **b) Análisis de documento**

Para realizar la parte teórica de la investigación se utilizaron documentos o investigaciones anteriores, para poder dar un sustento en cuanto al manejo de los conceptos existentes, entre ellos tenemos lo siguiente:

###### **- Revisión de bibliografía**

Se utiliza para lograr profundizar en cuanto al conocimiento adquirido como investigador, en este caso en referencia al problema de la investigación y de esta manera se tendrá un sustento en el tema que será investigado.

#### **3.6.2. Instrumentos**

La ficha de observación, que según (Carrasco Diaz, S., 2006, pág. 313) se

emplean “para registrar datos que se generan como resultado del contacto directo entre el observador y la realidad que se observa”

Según (Hernandez Sampieri, 2014, pág. 102) un instrumento de medición es adecuado cuando registra los datos observables que es la representación de los conceptos o las variables que el investigador tiene en su mente.

- **Pruebas estandarizadas**

La utilización de las pruebas estandarizadas nos ayudo a poder determinar las propiedades físicas y mecánicas de las muestras con incorporación de cal hidratada con boñiga de res para ello las pruebas se realizo en el laboratorio de mecánicas de suelo, con la ayuda de las normas técnicas.

- ✓ Método de Ensayo para el análisis granulométrico (Norma Técnica Peruana 339.128-1999)
- ✓ Límite líquido (Norma Técnica Peruana 339.129-1999)
- ✓ Limite plástico (Norma Técnica Peruana 339.129-1999)
- ✓ Contenido de Humedad (Norma Técnica Peruana 339.127-1998)
- ✓ Clasificación SUCS (Norma Técnica Peruana 339.134-1999)
- ✓ Clasificación AASHTO (Norma Técnica Peruana 339.135-1999)

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

La presente investigación tuvo una serie de pasos para el procesamiento de la información, empezando de la extracción de la muestra después una toma de muestra de los materiales que se añadirán para luego realizar los ensayos en el laboratorio.

### **3.8. Técnica y analisis de datos**

Para realizar el análisis de la investigación se empezó con la ayuda de revisión de información para realizar el marco teorico para poder realizar la hipótesis, después se paso a recolectar los datos de las muestras que fueron utilizados en los ensayos del laboratorio después de obtener los resultados se realizo tablas estadísticas en el Microsoft Excel para finalizar se respondió a la hipótesis y luego se describió cada uno de los resultados.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

Para este capítulo se realizó los diferentes ensayos para responder los problemas que se plantearon, para lo cual se realizó la clasificación del suelo, teniendo en cuenta para ello la granulometría de la muestra, y también se obtuvo las características del suelo dentro de las cuales se vio el índice de plasticidad, de estos dos ensayos se pudo clasificar el suelo mediante SUCS y AASHTO. Además, se analizaron los agentes estabilizantes que es la cal hidratada con boñiga de res en las dosificaciones de 1%, 2% y 3% mediante los ensayos de proctor modificado donde se obtuvo la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad y el ensayo de CBR. Luego de ello se realizó el análisis de PH del suelo, tanto del suelo natural como de los suelos con estabilizante, también se realizó un tramo de prueba para determinar la densidad de campo y la calidad de drenaje.

#### **4.1. Clasificación de suelos**

##### **4.1.1. Granulometría del suelo natural**

Con respecto a este ensayo se realizó el análisis granulométrico del suelo natural, el cual se trabajó con la NTP 339.128 (1999), ASTM D 422 y el MTC E 107, estas normas nos indican los parámetros que debe cumplir este ensayo.

En la siguiente tabla se muestra se ha resumido los datos obtenidos del ensayo, para lo cual el pasante acumulado para el tamiz de  $\frac{3}{4}$ " fue de 99.53%, para el tamiz de  $\frac{1}{2}$ " fue de 97.24%, para  $\frac{3}{8}$ " fue de 96.42%,



para el tamiz # 4 fue de 92.90%, para # 8 fue de 90.24%, para # 10 fue de 89.73%, para # 16 fue de 87.80%, para # 16 fue de 86.55%, para # 20 fue de 86.55%, para # 30 fue de 85.39%, para # 40 fue de 84.43%, para # 50 fue de 83.56%, para # 60 fue de 82.15%, para # 100 fue de 81.51% y por último para el tamiz # 200 se obtuvo un pasante acumulado de 77.59%. Con estos datos se puede indicar que el suelo presenta gran cantidad de partículas finas y que el tamaño máximo es de 1”.

**Tabla 12**

*Análisis Granulométrico del suelo natural*

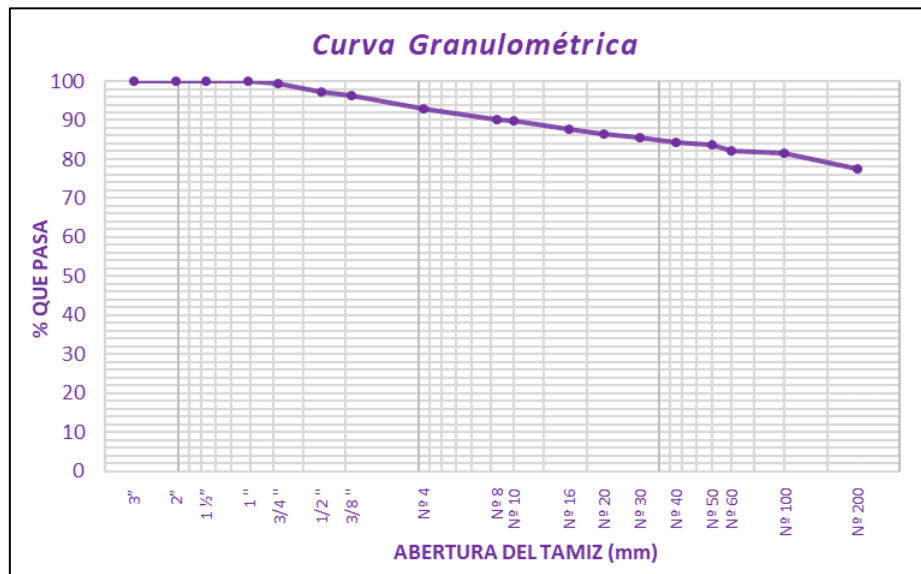
Tamiz	Abertura	Retenido	Pasante Acumulado
3/4”	19.05	0.47	99.53
1/2”	12.70	2.76	97.24
3/8”	9.53	3.58	96.42
# 4	4.76	7.10	92.90
# 8	2.36	9.76	90.24
# 10	2.00	10.27	89.73
# 16	1.18	12.20	87.80
# 20	0.85	13.45	86.55
# 30	0.60	14.61	85.39
# 40	0.43	15.57	84.43
# 50	0.30	16.44	83.56
# 60	0.25	17.85	82.15
# 100	0.15	18.49	81.51
# 200	0.08	22.41	77.59
FONDO	-	100.00	0.00

**Fuente:** Elaboración propia

De acuerdo al ensayo de análisis granulométrico se graficó la curva granulométrica teniendo en cuenta el porcentaje que pasa y la abertura del tamiz, como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 15**

Curva Granulométrica del suelo natural



Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2. Plasticidad del suelo natural

También se realizó un ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos el cual se trabajó con la NTP 339.129 (2014), ASTM D 4318 y el MTC E 110-111, del cual se obtuvo como resultados los datos mostrados en la siguiente tabla.

**Tabla 13**

*Plasticidad del suelo natural*

Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
28.35	18.71	9.64

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la plasticidad obtenida, es mayor a 7 y menor a 20 lo que nos indica que tiene una plasticidad media y esta es una característica de los suelos arcillosos.

Después de haber realizado el análisis granulométrico y el índice de plasticidad se puede determinar la clasificación de tipo de suelo, según SUCS es de grupo CL con nombre de grupo es arcilla ligera de plasticidad media con arena y para AASHTO se clasifica como A-4 (0).

## 4.2. Ensayo Proctor modificado

De igual forma se realizó el ensayo de Proctor modificado para determinar la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad de suelo el cual se trabajó con la NTP 339.141, ASTM D 1557 y el MTC E 115, los cuales establecen los parámetros que debe seguir, este ensayo se realizó por el método "A" ya que en la malla # 4 se ha retenido menos del 20% del peso de la muestra, además que el molde fue de 4 pulgadas para el cual se hizo en 5 capas y 25 golpes por capa.

### 4.2.1. Densidad máxima seca

De tal manera se realizó la siguiente tabla donde se ha resumido los datos obtenidos en el ensayo de Proctor modificado para la muestra de la subrasante natural y la subrasante estabilizada con cal hidratada y boñiga de res en las dosificaciones de 1%, 2% y 3%.

**Tabla 14**

*Máxima densidad seca*

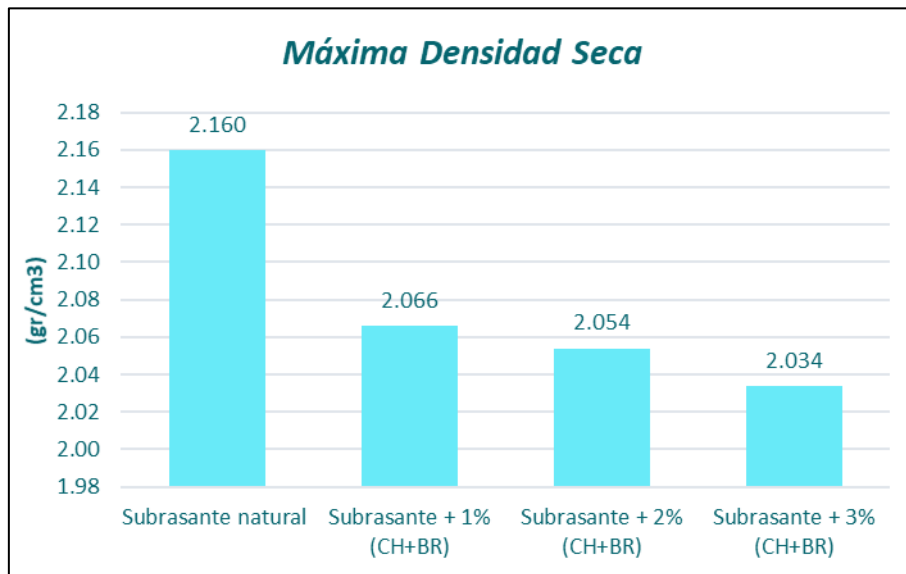
Máxima Densidad Seca		
Muestra	Resultado	Disminución
Subrasante natural	2.160 gr/cm <sup>3</sup>	-
Subrasante + 1% (CH+BR)	2.066 gr/cm <sup>3</sup>	4.35%
Subrasante + 2% (CH+BR)	2.054 gr/cm <sup>3</sup>	4.91%
Subrasante + 3% (CH+BR)	2.034 gr/cm <sup>3</sup>	5.83%

**Fuente:** Elaboración propia

Consecuentemente se realizó la figura N° 11 que muestra cada uno de los valores que se obtuvieron como la máxima densidad seca, teniendo así para la subrasante natural un 2.160 gr/cm<sup>3</sup>, para la subrasante con 1% de cal hidratada y boñiga de res fue de 2.066 gr/cm<sup>3</sup>, para la subrasante con 2% de cal hidratada y boñiga de res fue de 2.054 gr/cm<sup>3</sup> y para la subrasante con 3% de cal hidratada y boñiga de res fue de 2.034 gr/cm<sup>3</sup>.

**Figura 16**

Máxima densidad seca

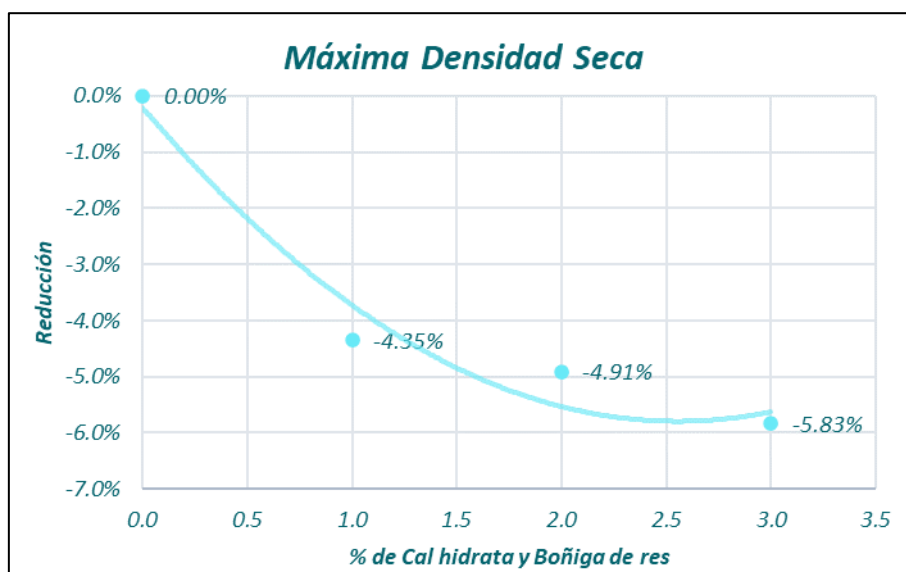


**Fuente:** Elaboración propia

Luego de ello se realizó la figura N°12 donde se muestra el comportamiento de la máxima densidad seca de las subrasantes estabilizadas con respecto a la subrasante natural, Observándose una disminución a medida que se le iba agregando la cal hidratada y boñiga de res, puesto que en la dosis de 1% fue de 4.35%, para la dosificación de 2% fue de 4.91% y para la dosificación de 3% fue de 5.83%.

**Figura 17**

Disminución de la máxima densidad seca



Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2. Óptimo contenido de humedad

Asimismo, se realizó la siguiente tabla N°15 donde se ha resumido los datos obtenidos para la muestra de la subrasante natural y la subrasante estabilizada con cal hidratada y boñiga de res.

**Tabla 15**

*Óptimo contenido de humedad*

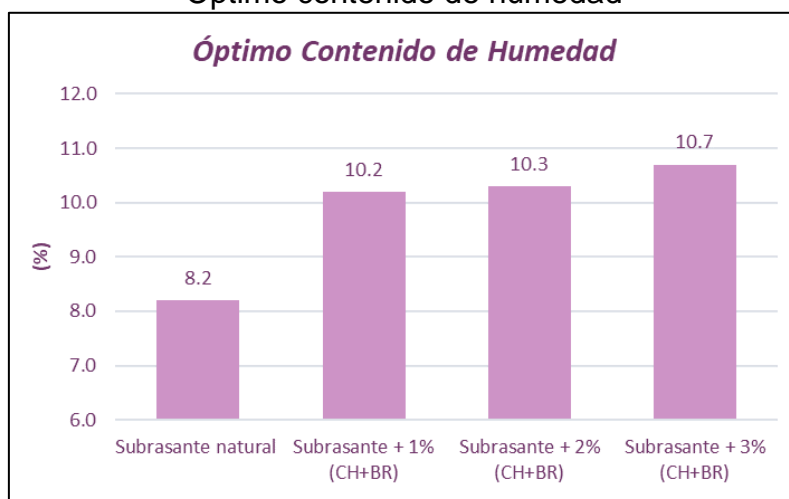
Óptimo Contenido de Humedad		
Muestra	Resultado	Incremento
Subrasante natural	8.2	0.00%
Subrasante + 1% (CH+BR)	10.2	24.39%
Subrasante + 2% (CH+BR)	10.3	25.61%
Subrasante + 3% (CH+BR)	10.7	30.49%

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente la figura N°13 muestra cada uno de los valores que se obtuvieron como óptimo contenido de humedad, teniendo así para la subrasante natural un 8.2%, para la subrasante con 1% de cal hidratada y boñiga de res fue de 10.2%, para la subrasante con 2% fue de 10.3% y para la subrasante con 3% fue de 10.7%.

**Figura 18**

Óptimo contenido de humedad

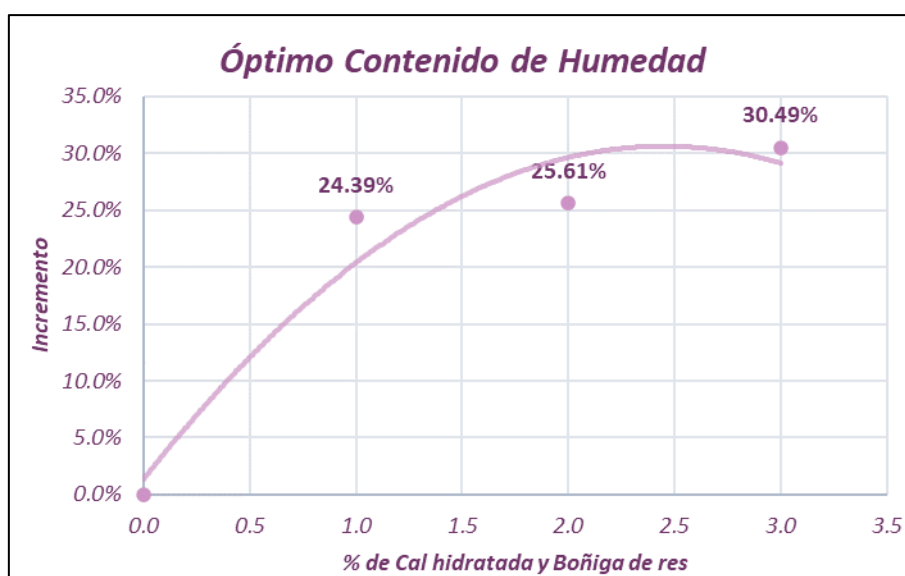


Fuente: Elaboración propia

Luego de ello se realizó la figura N°14 que muestra el comportamiento de la máxima densidad seca de la subrasante estabilizada con respecto a la subrasante natural, en el cual se ha visto un incremento a medida que se le iba agregando la cal hidratada y boñiga de res ya que para la dosificación de 1% fue de 24.39%, para la dosificación de 2% fue de 25.61% y para la dosificación de 3% fue de 30.49%. Se observa que la cal hidratada y boñiga de res provoca un aumento en el óptimo contenido de humedad.

**Figura 19**

Incremento del óptimo contenido de humedad



Fuente: Elaboración propia

#### 4.3. Ensayo C.B.R.

Asimismo, se realizó el ensayo de CBR el cual es una característica muy importante que se tiene en la estabilización de suelos, este ensayo se trabajó con la NTP 399.145, ASTM D 1883, el MTC E 132 y AASHTO T 193, estas normas establecen los requerimientos para realizar de la mejor forma el ensayo.

En la tabla N°16 se indica que la subrasante natural alcanzó los 4.4% como CBR al 95% de la M.D.S., al incorporarse 1% de cal hidratada y boñiga de res se alcanzó 19.0%, al 2% se alcanzó 28.8% y finalmente al 3% se alcanzó 31.6%. Mientras que, con respecto al CBR al 100% de la M.D.S., la subrasante natural

presento un CBR de 7.5%, al incorporar cal hidratada y boñiga de res al 1.0% se presenta un CBR de 27.0%, al incorporar 2.0% se presenta un CBR de 30.8%, al incorporar 3.0% se presenta un CBR de 31.6%.

**Tabla 16**

Valor relativo de Soporte (CBR)

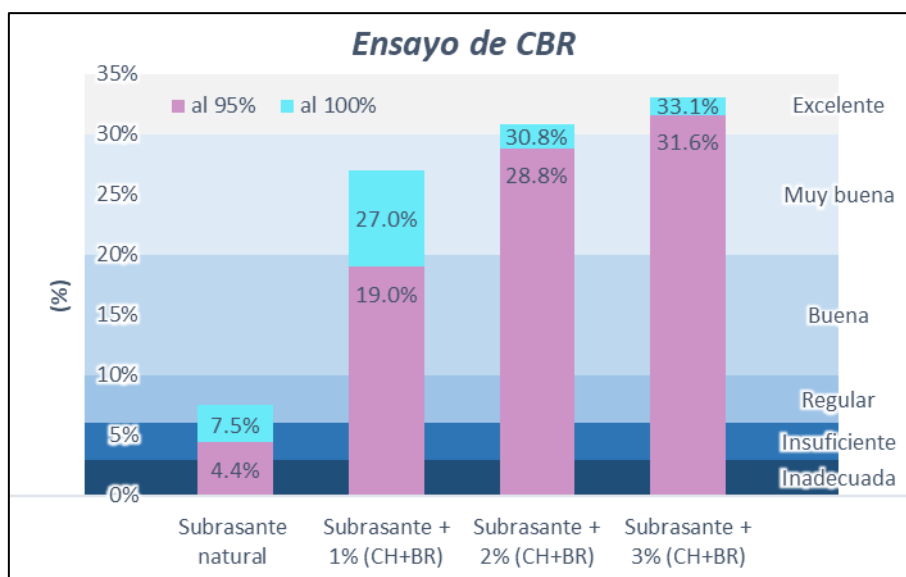
Ensayo de CBR (0.1")			
Muestra	al 100%	al 95%	Variación
Subrasante natural	7.5%	4.4%	0.00%
Subrasante + 1% (CH+BR)	27.0%	19.0%	331.82%
Subrasante + 2% (CH+BR)	30.8%	28.8%	554.55%
Subrasante + 3% (CH+BR)	33.1%	31.6%	618.18%

**Fuente:** Elaboración propia

Asimismo, estos valores se graficaron en la figura N°15 en forma de barras apiladas, con el fin de contrastarse con la clasificación de suelo según CBR. En ese sentido se nota claramente que el suelo natural se clasifica como una Subrasante Insuficiente. Mientras que, al agregarse la cal hidratada con la boñiga de res, se presenta mejora significativa, puesto que la dosis de 1.0% reclasifica la sub rasante como Buena, con la dosis de 2.0% se reclasifica como Muy buena y finalmente con la dosis de 3.0% se reclasifica como Excelente.

**Figura 20**

Valor relativo de soporte (CBR)

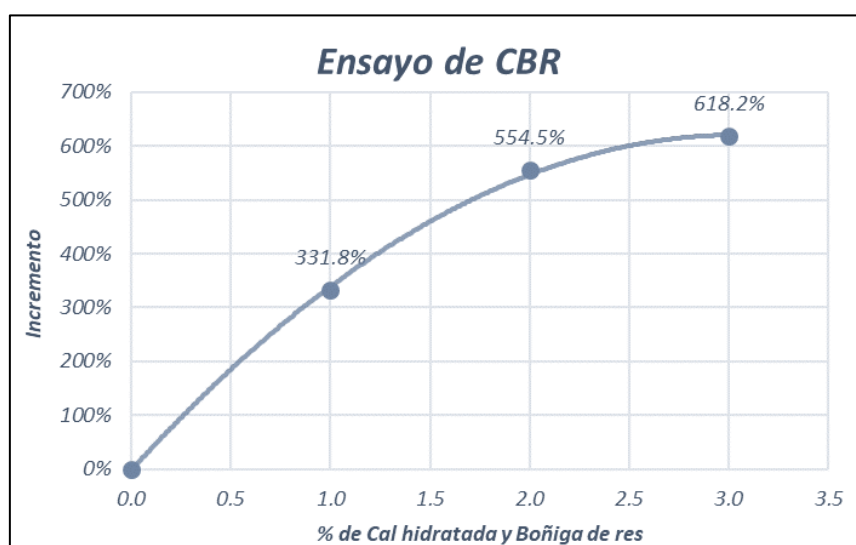


**Fuente:** Elaboración propia

Por último, en la figura N° 16 se representa el comportamiento que presenta el valor relativo al soporte al 95% de la M.D.S. al incorporarse cal hidratada y boñiga de res en las diferentes dosis. El CBR se incrementa en un 331.8% al usar la dosis del 1.0%, se incrementa en un 554.5% el usar la dosis del 2.0% y en ultimo lugar el CBR se incrementa en un 618.2% al usar la dosis del 3.0%.

**Figura 21**

Incremento del valor relativo de soporte



Fuente: Elaboración propia

#### 4.4. PH del suelo

Seguidamente, se realizó el ensayo de PH en el suelo para analizar así el contraste de la variación a causa de la incorporación de la cal hidratada y boñiga de res al suelo durante el proceso de estabilización.

**Tabla 17**

Ensayo de PH

Ensayo de PH				
Muestra	Lectura 1	Lectura 2	Promedio	Variación
Subrasante natural	6.9	7.0	7.0	0.00%
Subrasante + 1% (CH+BR)	11.3	11.3	11.3	41.78%
Subrasante + 2% (CH+BR)	11.3	11.4	11.4	45.56%
Subrasante + 3% (CH+BR)	11.4	11.6	11.5	46.82%

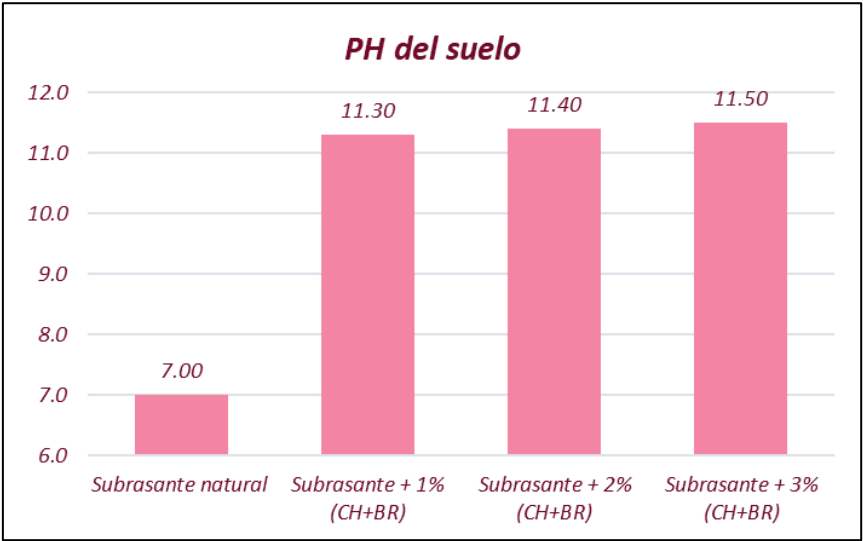
Fuente: Elaboración propia



En ese sentido, la tabla N° 15 presenta los resultados, siendo para la subrasante natural un ph neutro de 7.0, mientras que al usa cal hidratada y boñiga de res se presenta un ph fuertemente alcalino, específicamente al 1.0% un ph de 11.3, al 2.0% un ph de 11.4 y al 3.0% un ph de 11.5.

**Figura 22**

Ensayo de PH

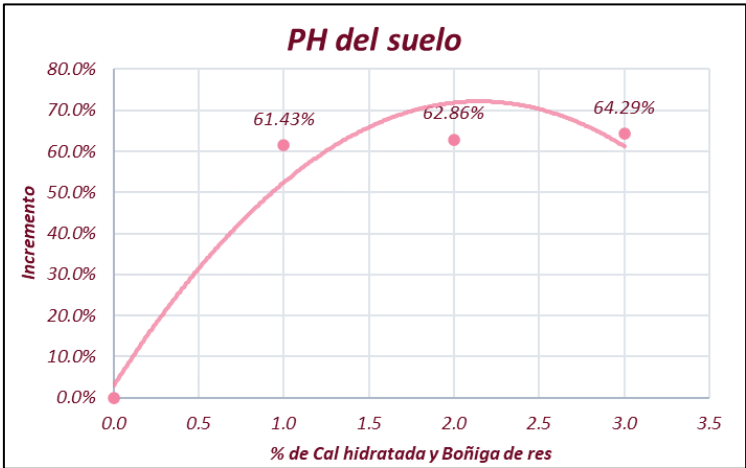


Fuente: Elaboración propia

De igual manera, la figura N° 17 grafica los valores obtenidos, estos denotan que el PH se eleva significativamente al estabilizar la subrasante natural, estos valores están por encima del suelo natural y son similares entre ellos.

**Figura 23**

Incremento del valor relativo de soporte



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, según el gráfico presentado en la figura N° 18 se puede afirmar que estabilizar una subrasante con cal hidratada y boñiga de res en 1.0% provoca que el hp se incremente en un 61.43%, en 2.0% se incremente en un 62.86% y por último en 3.0 se incremente en un 64.29%. Esto con respecto a los valores obtenidos de la subrasante natural. Por lo que podemos indicar que se mantiene una relación directamente proporcional.

#### 4.5. Grado de compactación

De igual forma, se analizó el grado de compactación que alcanzaron las muestras de los suelos, natural y con incorporación de la cal hidratada y boñiga de res en el tramo de prueba realizado, mostrándose para su correspondiente comparación.

**Tabla 18**

*Grado de compactación*

Muestra	Grado de compactación		Grado de Compactación
	Densidad seca máxima	Densidad seca en campo	
Subrasante natural	2.160	2.082	96.4%
Subrasante natural	2.160	2.039	94.4%
Subrasante + 3% (CH+BR)	2.034	2.077	100.2%

**Fuente:** Elaboración propia

Estos resultados obtenidos en el tramo de prueba se presentan en la siguiente tabla N° 18, observándose que el grado de compactación de la subrasante natural no llega al 100%, mientras que el de la subrasante estabilizada con 3% de cal hidratada y boñiga de res si presenta un valor por encima del 100%.

#### 4.6. Calidad de drenaje

Finalmente, también se verificó la calidad de drenaje que alcanzaron las muestras de los suelos, natural y con incorporación de la cal hidratada y boñiga

de res en las proporciones de 1.0%, 2.0% y 3.0% con la finalidad de realizar su análisis.

**Tabla 19**

*Grado de compactación*

Grado de compactación			
Muestra	Densidad seca máxima	Densidad seca en campo	Grado de Compactación
Subrasante natural	2.160	2.082	96.4%
Subrasante natural	2.160	2.039	94.4%
Subrasante + 3% (CH+BR)	2.034	2.077	100.2%

**Fuente:** Elaboración propia

Estos resultados obtenidos en el tramo de prueba se presentan en la siguiente tabla N° 18, observándose que el grado de compactación de la subrasante natural no llega al 100%, mientras que el de la subrasante estabilizada con 3% de cal hidratada y boñiga de res si presenta un valor por encima del 1.00%.

#### **4.7. Prueba de Hipótesis**

##### **4.7.1. Prueba de Hipótesis “a”**

De acuerdo al problema específico: ¿Cómo varía el óptimo contenido de humedad con la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante?

Se planteó las siguientes hipótesis:

Ho: El óptimo contenido de humedad con la incorporación de cal hidratada con boñiga de res aumentaría en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante.

Hi: El óptimo contenido de humedad con la incorporación de cal hidratada con boñiga de res no aumentaría en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante.

Consecuentemente, en la tabla siguiente se presenta la prueba estadística de Kruskal-Wallis para muestras independientes, que se obtuvo mediante el procesamiento de datos a través del programa SPSS, que nos muestra un nivel de significancia de 0.072 respecto al óptimo contenido de humedad, resultado que supera al valor de 0.050, lo que nos indica que se acepta la hipótesis nula. Es decir a pesar que el óptimo contenido de humedad aumentan a medida que se incorpora la cal hidratada y la boñiga de res, esta variación no es significativa estadísticamente.

**Tabla 20**

*Prueba de Kruskal Wallis para la Hipótesis específica “a”*

Hipótesis a Prueba	Prueba	Significancia	Decisión
Los valores de Óptimo Contenido de Humedad son el misma entre las Muestras de Suelo	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0.072	Aceptar la Hipótesis Nula

**Fuente:** Elaboración propia

#### **4.7.2. Prueba de Hipótesis “b”**

Con respecto al problema específico: ¿De qué manera varía la máxima densidad seca a la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante?

Se planteó las siguientes hipótesis:

Ho: La máxima densidad seca aumentaría a la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante.

Hi: La máxima densidad seca no aumentaría a la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante.

Consecuentemente, en la tabla siguiente se presenta la prueba estadística de Kruskal-Wallis para muestras independientes, que se obtuvo mediante el procesamiento de datos a través del programa SPSS,

que nos muestra un nivel de significancia de 0.072 en relación a la máxima densidad seca, resultado que no es inferior al valor de 0.050, lo que se traduce en que se acepta la hipótesis nula. En otros términos, que las variaciones que se presentan en la máxima densidad seca cuando se incorpora cal hidratada y boñiga de res no son estadísticamente significativas.

**Tabla 21**

*Prueba de Kruskal Wallis para la Hipótesis específica “a”*

Hipótesis a Prueba	Prueba	Significancia	Decisión
Los valores de Máxima Densidad Seca son la misma entre las Muestras de Suelo	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0.072	Aceptar la Hipótesis Nula

**Fuente:** Elaboración propia

#### **4.7.3. Prueba de Hipótesis “c”**

Acorde al problema específico: ¿En qué medida varía CBR a la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante?

Se planteó las siguientes hipótesis:

Ho: La variación del CBR aumentaría a la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante.

Hi: La variación del CBR no aumentaría a la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante.

De este modo, en la siguiente tabla se muestra la prueba estadística de Kruskal-Wallis, que se obtuvo en el programa SPSS mediante el procesamiento de datos, que nos muestra un nivel de significancia de 0.072, valor que no es menor a 0.050, lo que nos indica que se rechaza la hipótesis nula, respecto los valores de valor relativo al soporte CBR. En otras palabras, se indica que la variación, que se presenta por

incorporar cal hidratada y boñiga de res a la subrasante, en los valores de CBR si es significativa estadísticamente. Con lo que se aceptaría la hipótesis de investigación.

**Tabla 22**

*Prueba de Kruskal Wallis para la Hipótesis específica “b”*

Hipótesis a Prueba	Prueba	Significancia	Decisión
Los valores de CBR son el mismo entre las Muestras de Suelo	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0.050	Rechazar la Hipótesis Nula

**Fuente:** Elaboración propia

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Sobre los resultados obtenidos de las muestras elaboradas y ensayadas, en la tabla N° 15 se indica los valores de óptimo contenido de humedad, notándose claramente una tendencia ascendente, es decir que la subrasante a medida que se incorpora cal hidratada y boñiga de res necesitara mas volumen de agua para compactarse de manera correcta, esto es debido a la demanda de agua que requiere la cal y así como también la demanda que requiere la boñiga de res. No obstante, al ser la subrasante natural una arcilla ligera de plasticidad media con arena, esta requiere ya un óptimo contenido de humedad de 8.2%, que al agregarse la cal hidratada y boñiga de res en 3.0% resulta en un incremento de un 30.49%. Además, se puso a prueba estadística la hipótesis, siendo el resultado una significancia de 0.072 según la prueba estadística de Kruskal-Wallis para muestras independientes, valor que al ser mayor a 0.050 indica que la variación no es significativa estadísticamente. Estos resultados concuerdan con lo obtenido en la investigación de Hidalgo Benavides (2016), en la cual el autor se propuso estabilizar la subrasante con otro tipo de filler concluyendo que el uso de este tipo de materiales por su absorción genera un aumento claro en el óptimo contenido de humedad, lo que se demuestra de forma cuantitativa en los resultados presentados. Según lo expuesto se puede inferir que la cal hidratada y boñiga de res mejoran la plasticidad de la subrasante, disminuyéndola haciendo que se comporte de una manera mas rígida.

Seguidamente, en relación a la máxima densidad seca, los valores expuestos en la tabla N° 14 nos muestran como este valor disminuye ligeramente por la utilización de boñiga de res y cal hidratada, obteniéndose una densidad de 2.160 gr/cm<sup>3</sup> en la

subrasante natural mientras que al añadirse 3.0% de cal hidratada y boñiga de res esta decrece en un 5.83%, es decir 2.034 gr/cm<sup>3</sup>, además esta diferenciación es estadísticamente no significativa, puesto que según la prueba estadística de Kruskal Wallis para muestras independientes arroja una significancia igual a 0.072, valor que al estar por encima del 0.050 considera que las variaciones no son relevantes. No obstante, este comportamiento debe de ser causado por la estructura de la boñiga de res, este comportamiento también es beneficioso puesto que asegura que el grado de compactación si alcance el valor mínimo normado. Ya que según los ensayos realizados la muestra de subrasante natural en un tramo de prueba presento gran dificultad para alcanzar el grado de compactación esperado en sus diferentes muestras (presentaron valores menorse al 100.0%), mientras que la subrasante estabilizada alcanza con facilidad a un grado de compactación mayor al 100.0%.

Consecuentemente, de los datos desarrollados tambien se analizo el valor relativo al soporte CBR, que se exponen en la tabla N° 16. Siendo el CBR a considerar al 95% de la máxima densidad seca y al 0.1" de penetración, mostrándose un valor de 4.4% que según el Manual de carreteras Seccion de suelos y pavimentos se clasifica como una subrasante "insuficiente" (CBR mayor igual a 3.0% y menor a 6.0%), con lo cual se tendría a una subrasante que requiere una estabilización de suelos, de ahí la necesidad de la presenta investigación. En ese sentido al incorporar la cal hidratada y la boñiga de res en la proporción del 3.0%, se obtuvo un valor relativo al CBR de 31.6%, lo que se traduce en un aumento de 618.18% que reclasificaría al suelo como una subrasante "excelente" (CBR mayor igual a 30.0%). Con lo que podemos afirmar que la subrasante se comporta excelentemente cuando se incorpora cal hidratada y boñiga de res en un 3.0%, puesto que el CBR presenta una mejora muy relevante. Por lo que se puede apreciar una relación directamente proporcional entre estas 2 variables. Asimismo, la utilización de estos elementos representaría un menor costo en la estabilización en comparación con aditivos o tipos de filler, puesto que la boñiga de res tiene un costo menor al de esos insumos. Los resultados obtenidos en la presente tesis concuerdan con lo obtenido en la investigación de Quispe Rivero (2020), que concluyo que aplicar la ceniza de boñiga en un porcentaje promete resultados optimos en el proceso de estabilización de subrasantes plásticas. De igual forma en la investigación de Jara Anyaypoma (2016)



se concluyo que se alcanzaron excelentes resultados al incorporar 4% de cal al suelo subrasante obteniéndose el mayor valor CBR al 95%.

Asimismo, haciendo referencia al ensayo de ph, los valores obtenidos presentados en la tabla N° 17, la influencia de la cal hidratada y la boñiga de res sobre esta cualidad es elevar el valor de hp del suelo, siendo el de la subrasante natural igual a ph neutro de 7.0, y al incorporar los agentes protagonistas de esta investigación es igual a ph fuertemente alcalino de 11.5. Lo que es provocado por la cal hidratada que tiene un ph alcalino. Asimismo, en coincidencia a los resultados obtenidos en máxima densidad seca, los resultados de calidad de drenaje indican (en la tabla N° ) que la subrasante estabilizada presenta un drenaje mayor lo que la subrasante, puesto que su constitución es menos densa.

## CONCLUSIONES

Se concluye que la incorporación de cal hidratada y boñiga de res como agente estabilizante de suelos arcillosos a nivel de subrasante, genera óptimos resultados en la estabilización del suelo natural.

El óptimo contenido de humedad del suelo arcilloso presenta tendencia a incrementarse a medida que se incorpora de cal hidratada y boñiga de res, pues al 3.0% se incrementa en un 30.49% en comparación al suelo natural, sin embargo, esta variación no es estadísticamente significativa.

La máxima densidad seca del suelo arcilloso presenta ligera disminución al incorporar la cal hidratada y boñiga de res como agentes estabilizantes, pues en relación a la subrasante natural se presenta una disminución de 5.83% a la dosificación de 3.0%, además los valores obtenidos no difieren significativamente del suelo arcilloso natural.

El valor relativo al soporte CBR presenta una variación favorable y notable al incorporarse cal hidratada y boñiga de res, puesto que el suelo arcilloso natural presenta un CBR de 4.4% (sub rasante insuficiente) se incrementa en un 618.18% al dosificarse con un 3.0% con un CBR de 31.6% (sub rasante excelente), asimismo la variación en este valor sí es estadísticamente significativa.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar la proporción de 3.0% de cal hidratada y boñiga de res para la estabilización de suelos arcillosos, por sus óptimos resultados en sus cualidades de resistencia y en el costo de materiales insumos y aplicación.

En relación a los resultados obtenidos por la variación del contenido de humedad, se recomienda incrementar cal hidratada y boñiga de res en suelos con contenido de humedad relativamente bajo de 2% a 4% ya que al incorporar la cal hidratada el porcentaje de humedad se incrementará significativamente.

Se recomienda proporcionar y normalizar agentes estabilizantes nuevos e innovadores aptos para la estabilización de suelos críticos, puesto que en entidades públicas alejadas el tema presupuestal es delicado.

Se recomienda profundizar la investigación de la estabilización con cal hidratada y boñiga de res en investigaciones aplicadas a ejecución de proyectos viales para la región, para poder cuantificar la incidencia en costos presupuestales con a la finalidad de establecer nuevas herramientas y tendencias constructivas sostenibles y viables; que sean favorables ante resultados del CBR y la máxima densidad seca.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANFACAL. (2018). Estabilización de suelos con cal.
2. Angulo Roldan, M., & Zavaleta Pepa, C. N. (2020). Estabilizacion de suelos arcillosos con cal para el mejoramiento de las propiedades fisico-mecanicas como capa de rodadura en la prolongacion Navarro Cauper, Distrito San Juan - Maynas-Iquitos, 2019. Tesis de Pregrado, Universidad Cientifica del Perú, Facultad de Ingenieria, Loreto.
3. Arias F. (2012). El proyecto de investigacion.Introducción a la metodologia científica. Venezuela: Episteme.
4. Bauza Castello, J. D. (2003). Estabilizacion de suelo con cal. Mezclas con cemento en las infraestructuras del transporte, Madrid.
5. Bernal, C. (2010). Metodologia de la investigacion. En Administracion, economia, humanidades y ciencias socilaes. (3° ed. ed.). Colombia: Pearson.
6. Blanco, M., & Villalpando, P. (2012). El proyecto de investigacion. En Introduccion y metodologia científica. Dykinson.
7. Braja M Das. (2015). Fundamentos de ingeniería geotécnica. Mexico: CENGAGE Learning. ISBN: 9786075193731
8. Carrasco Diaz,S. (2006). Metodologia de la invesigacion científica. Perú: San Marcos. ISBN:9972-34-242-5
9. Ccanto Mallma, E., & Ccanto Mallma, R. (2013). Programa de enseñanza de habilidades cognitivas en la compresion de textos d los estudiantes del primer año del nivel secundario de la Institucion Educativa "Santa Isabel" de Huancayo en el año 2010. Universidad Nacional del Centro del Perú, Facutad de Pedagogia y Humanidades . Huancayo: Tesis de pregrado.
10. Cid Sandoval Mendez. (2007). Metodologia de la Investigacion. Universidad Privada, Tesis posgrado.
11. Crespo, C. (2004). Mecánica de Suelos y Cimentaciones (5° ed. ed.). Mexico: Limusa.ISBN: 9681864891
12. Direccion Regional de Agricultura. (mayo de 2001). Conociendo Junin. Obtenido de [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitaes/Est/Lib0428/Libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaes/Est/Lib0428/Libro.pdf)

13. Espinoza Montes, C. (2014). Metodología de investigación tecnológica. (H. e. Perú, Ed.) Perú: Soluciones Gráficas S.A.C. ISBN: 978-612-00-1667-1
14. Fernandez Ruiz, M. A. (2020). Determinación del Comportamiento Estructural del Pavimento Flexible de la carretera Cajamarca-Celendín-Balsa, Tramo Chaquilpampa-Santa Rosa de Chaquil, Mediante el Análisis Deflectómetro. Tesis Pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca, Escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil, Cajamarca.
15. Figueroa Viramontes, U., Cueto Wong, J. A., Delgado, J. A., Núñez Hernández, G., Reta Sánchez, D. G., Quiroga Garza, H. M., . . . Márquez Rojas, J. L. (2010). Estiércol de bovino lechero sobre el rendimiento y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero. Terra Latinoamericana, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C., Chapingo.
16. Fontalvo, O., Medrano, B., & Nadad, F. (2006). Estabilización con cal del suelo de la ciudad de Cartagena para ser utilizado como base. Trabajo de investigación en campo, Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena de Indias .
17. GEOTECNIA . (25 de junio de 2019). Ensayo Proctor Normal y modificado.
18. Gomez Betancourt, E. (2002). Ingeniería de Pavimento. Bogota.
19. Hernandez Dominguez, A. (2016). Analisis comparativo de un material estabilizado con cal y cemento. Tesis de Pregrado, Instituto Politecnico Nacional, Facultad de Ingeniería y arquitectura, Mexico.
20. Hernandez Fernandez, B. (2007). Metodología de la Investigación (4ª ed. ed.). (M. d. Mexicana, Ed.) Mexico: McGraw-Hill. ISBN: 978-607-15-0291-9
21. Hernandez Lara, J. A., Mejia Ramirez, D. R., & Zelaya Amaya, C. E. (2016). Propuesta de estabilización de suelos arcillosos para su aplicación en pavimentos rígidos en la facultad multidisciplinaria oriental de la Universidad de El Salvador. Tesis de pregrado, Universidad de el Salvador , Facultad Multidisciplinario Oriental, El Savador.
22. Hernandez Sampieri, R. (2014). Metodología de la investigación. Mexico D.F.: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. ISBN: 978-1-4562-2396-0
23. Hidalgo Benavides, D. I. (2016). Analisis comparativo de los procesos de estabilización de suelo con enzimas orgánicas y suelo-cemento, plicado a suelos arcillosos de sub-rasante. Tesis de Pregrado, Universidad Santo

- Tomás, Facultad de ingeniería civil y mecánica, Ecuador.
24. Huevo Maldonado, H. M., & Orellana Martínez, A. C. (2009). Guía básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en el Salvador. Trabajo para optar el título de Ingeniero civil, Universidad de el Salvador, Salvador.
  25. IGG. (2010). Pavimentos Urbanos. Instituto de la Construcción y Gerencia.
  26. Instituto Nacional de Estadística e Informática. (1997). Actividad Pecuaria Regional y Nacional. Obtenido de [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib0386/cap0410.htm](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0386/cap0410.htm)
  27. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (01 de diciembre de 2011). Resistencia mecánica del suelo en secuencias de cultivos agrícolas y mixtas bajo siembra directa.
  28. Jara Anyaypoma, R. (2016). Efectos de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ingeniería, Cajamarca.
  29. Loyola Justo, G., & Rodríguez Coronado, E. J. (2020). Influencia del almidón de la cáscara de papa para mejorar sus propiedades de la subrasante en suelo arcillosos provincia de Jaén - Cajamarca 2020. Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Lima.
  30. Métodos estabilización de suelos: Compactación-mecánica de suelos. (26 de Marzo de 2011). Obtenido de <https://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2011/03/metodos-estabilizacion-de-suelos.html>
  31. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Perú). (2014). Manual de Carreteras –Suelos y Pavimentos. Lima: RD N° 10-2014-MTC/14 (09.04.2014), Infraestructura vial.
  32. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Perú). (2016). Manual de Ensayo de materiales. Lima: D.S. N° 034-2008-MTC, Infraestructura vial.
  33. Moale Quispe, A. B., & Rivera Justo. (2019). Estabilización química de suelos arcillosos con cal para su uso como subrasante en vías terrestres de la localidad de Villa Rica. Tesis de Pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería, Lima.
  34. Montejo Fonseca, A. (2002). Ingeniería de pavimentos. Colombia: Universidad

Católica de Colombia .ISBN: 958-96036-2-9

35. Murray, A. (20 de noviembre de 2017). La diferencia entre la cal hidratada y la cal viva. Obtenido de [https://www.ehowenespanol.com/diferencia-cal-hidratada-cal-viva-info\\_548324/](https://www.ehowenespanol.com/diferencia-cal-hidratada-cal-viva-info_548324/)
36. Murthy, C., Raju, P., & Badrinath, K. (2003). Classification of wheat crop with multi-temporal images: performance of maximum likelihood and artificial neural networks. *International Journal of Remote Sensing*. doi:24:4871-4890.
37. Norma Técnica Peruana . (199). NTP 339.129. Lima-Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y comerciales .
38. Núñez Álvarez, J. (2014). Fallas presentadas en la construcción de carreteras asfaltadas. Tesis de pregrado , Universidad de Piura , Facultad de ingeniería , Piura.
39. Parra Gomez, M. G. (2018). Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante. Título para optar el grado de ingeniería civil, Universidad Católica Colombia , Bogotá D.C.
40. Quispe Rivero, A. G. (2020). Aplicación de ceniza de boñiga para la estabilización en subrasantes plásticas. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Peruana Los Andes, Huancayo-Perú.
41. Ramos Vasquez, J. D., & Lozano Gomez, J. P. (2019). Estabilización de suelo mediante aditivos alternativos. Tesis de pregrado , Universidad Católica de Colombia , Facultad de Ingeniería , Bogotá.
42. Santander Zambrano, M. E., & Yavar Rodríguez, J. C. (2018). Análisis comparativo entre métodos de estabilización de subrasante mediante el uso de enzimas orgánicas y mezclas con cal, en la urbanización Tanya Marlene ubicada en la ciudad de Milagro, provincia de Guayas. Tesis de Pregrado, Universidad de Guayaquil, Facultad de ciencias Matemáticas y Físicas, Guayaquil-Ecuador.
43. Terzaghi, K., & B. Peck, R. (1973). *Mecánica de suelos en la Ingeniería Práctica*. España: El Ateneo S.A. ISBN: 8470210203
44. Valdivia Sánchez, V. L. (2017). Análisis del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas en caliente incorporando polímeros SBS en la Av. Universitaria cuadra 53 al 57- Comas, Lima 2017. Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo, Lima, Lima.
45. Valle Areas, W. A. (2010). Estabilización de suelos arcillosos plásticos con

mineralizadores en ambientes sulfatados o yesíferos. Tesis para optar el grado de magister, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.



## **ANEXOS**

**Anexo N° 1: Matriz de consistencia.**

**Tabla 23. Matriz de consistencia**

EFECTO DE LA INCORPORACION DE CAL HIDRATADA CON BOÑIGA DE RES EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE						
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
<p><b>Problema general:</b></p> <p>¿Cómo interviene la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante?</p>	<p><b>Objetivo general:</b></p> <p>Analizar la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante.</p>	<p><b>Hipótesis general:</b></p> <p>La incorporación de cal hidratada con boñiga de res mejoraría la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante.</p>	<p><b>Variable Independiente:</b></p> <p>Cal hidratada con boñiga de res</p>	<p>Dosificación</p> <p>Proporción</p> <p>Granulometría</p> <p>Densidad</p>	<p>Porcentaje de mezclado</p> <p>Porcentaje del cementante</p> <p>Gradación</p> <p>Masa entre el volumen</p>	<p><b>Método de investigación:</b> Cuantitativo.</p> <p><b>Tipo de investigación:</b> Aplicado.</p> <p><b>Nivel de investigación:</b> Explicativo</p> <p><b>Diseño de investigación:</b> El diseño de investigación utilizará un esquema Experimental, considerando que el análisis a realizar es teórico, bajo el siguiente esquema.</p> <p style="text-align: center;">OE → SA → XP → CE → RE</p> <p><b>Cuando:</b> 2020.</p> <p><b>Población y muestra:</b></p> <p><b>Población.</b> La población está constituida por 24 moldes de material subrasante para luego ser incorporados con cal hidratada y boñiga de res en dosificaciones mixtas de 1%, 2% y 3%.</p> <p><b>Muestra:</b> La muestra corresponde a 6 moldes con un tramo de prueba 3x5 m<sup>2</sup> y su análisis a condiciones normales.</p> <p><b>Técnicas e instrumentos:</b> Recolección de datos</p> <p><b>Técnicas de procesamiento de datos:</b> Estadístico y probalístico.</p>
<p><b>Problemas específicos:</b></p> <p>a) ¿Cómo varía el óptimo contenido de humedad con la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante?</p> <p>b) ¿De qué manera varía la máxima densidad seca a la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante?</p> <p>c) ¿En qué medida varía CBR a la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante?</p>	<p><b>Objetivos específicos:</b></p> <p>a) Calcular el óptimo contenido de humedad con la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante.</p> <p>b) Determinar la variación de la máxima densidad seca a la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante.</p> <p>c) Evaluar la variación del CBR a la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante.</p>	<p><b>Hipótesis específicas</b></p> <p>a) El óptimo contenido de humedad con la incorporación de cal hidratada con boñiga de res aumentaría la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante.</p> <p>b) La máxima densidad seca aumentaría a la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante.</p> <p>c) La variación del CBR aumentaría a la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante.</p>	<p><b>Variable dependiente:</b></p> <p>Estabilización de suelos arcillosos</p>	<p>Límites de Atterberg</p> <p>CBR</p> <p>Máxima densidad seca</p> <p>Deflexión</p>	<p>Límites plásticos</p> <p>Resistencia a la carga</p> <p>Masa entre volumen seco</p> <p>Deflectometría</p>	

**Anexo N° 2: Panel Fotografico.**

**Fotografía 1: Determinación del contenido de Humedad de suelos NTP:**  
339.127



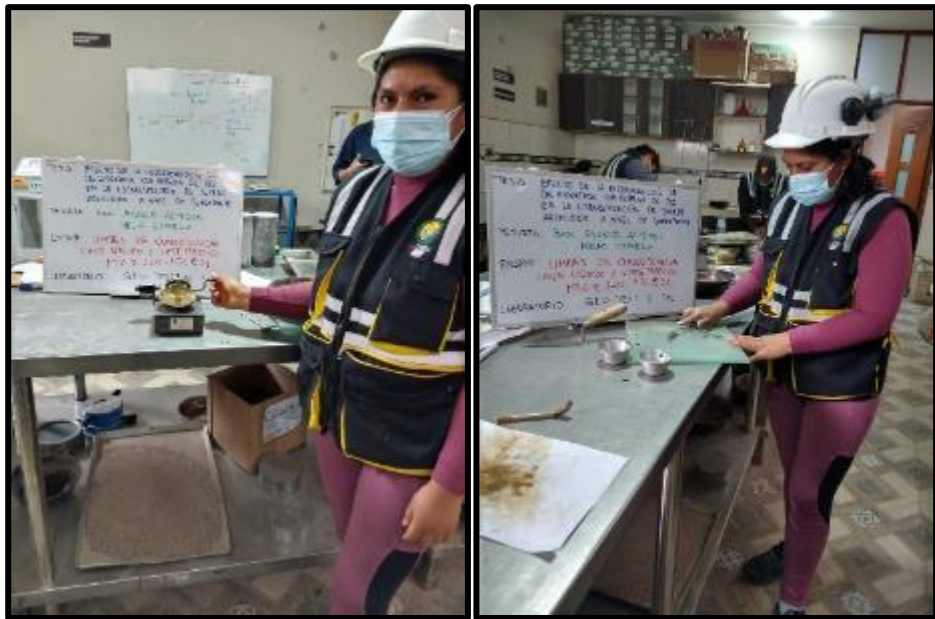
**Fuente:** Elaboración propia

**Fotografía 2, Fotografía 3. Análisis granulométrico de suelos según NTP:**  
339.128



**Fuente:** Elaboración propia

**Fotografía 4, Fotografía 5.** Límites de consistencia (Límite Líquido y Límite Plástico) NTP 339.129



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía 6, Fotografía 7.** Determinación del Óptimo contenido de Humedad Y Máxima Densidad Seca mediante el ensayo de Proctor Modificado para 0% de adición, 1%,2%,3% de adición de cal + boñiga de res- NTP 339.175:2002



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía 8, Fotografía 9.** Determinación del valor de la relación de soporte, para las combinaciones de adición: 0%,1%, 2%, 3%- NTP

339.175:2002



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía 10, Fotografía 11.** Determinación del Potencial de hidrógeno de suelos (pH)



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía 12, Fotografía 13.** Tramo de prueba, suelo compactado sin estabilizar.



**Fuente:** Elaboración propia

**Fotografía 14, Fotografía 15.** Tramo de prueba, suelo compactado estabilizado.



**Fuente:** Elaboración propia



### **Anexo N° 3: Certificados de ensayos**

2021

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Bach. AYUQUE ALMIDON NELFA ESTRELLA

NORMA  
NTP – ASTM - AASHTO



**“TESIS- “EFECTO DE LA INCORPORACION DE CAL  
HIDRATADA CON BOÑIGA DE RES EN LA  
ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS A  
NIVEL DE SUBRASANTE”**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE  
SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E  
HIDRÁULICA

Geo TEST S.A.C.

DIRECCIÓN : JR. BRAD N° 211 - CHILCA  
 (REF. A UNA CUADRA FRENTE AL PARQUE PUZO AV. FERROVIARIA CRUCE CON  
 AV. LEONCIO PRADO)  
 CELULAR : 952525151 972831911 991875092

E-MAIL : LABRRETESTV122@GMAIL.COM  
 GEOTEST.V@GMAIL.COM  
 FACEBOOK : GEO TEST V. S. A. C.  
 RUC : 20406529229



## PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL SUELO

**PROYECTO:** : TESIS- "EFECTO DE LA INCORPORACION DE CAL HIDRATADA CON BOÑIGA DE RES EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE"  
**SOLICITA:** : AYUQUE ALMIDON NELFA ESTRELLA  
**TRAMO:** : -  
**UBICACIÓN:** : -  
**MATERIAL:** : Calicata -N° 01

**TÉCNICO:** A.Y.G  
**FECHA:** Noviembre 2021

EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO						
PROFUNDIDAD (cm)	SUCS	ALTURAS	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	ESTRATOS	DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL	SIMBOLOGÍA DE ESTRATOS
0.00						
-0.10						
-0.20						
-0.30						
-0.40						
-0.50						
-0.60						
-0.70						
-0.80						
-0.90						
-1.00						
-1.10						
-1.20						
-1.30						
-1.40						
-1.50						
-1.60	CL	2.5 m	17.27%	MI	Arcilla ligera de plasticidad media con arena, coloracion amarillenta	
-1.70						
-1.80						
-1.90						
-2.00						
-2.10						
-2.20						
-2.30						
-2.40						
-2.50						

**Observaciones:** El punto de investigacion estuvo a cargo del solicitante



GEO TEST V. SAC  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

*(Firma)*

ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY  
 CIP N° 247312  
 JEFE DE LABORATORIO



DIRECCIÓN : JR. BRAD N° 211 CHILCA E-MAIL : LABGEO@TESTVSDR@HOTMAIL.COM  
 TREV. A UNA CUADRA FRENTE AL PARQUE PUTO AV. FERROCARRIL CRUCE CON AV. LEONARDO PRADO WEBTEST.V@GMAIL.COM  
 CELULAR : 952925151 972831911 981339292 FACEBOOK : Geo Test V S.A.C.  
 RUC : 20006529229

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

Proyecto : TESIS- "EFECTO DE LA INCORPORACION DE CAL HIDRATADA CON BOÑIGA DE RES EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE"  
 Expediente N° : EXP-21-GEO-TEST-V-2021 Cantera : Calicata 01  
 Código de formato : PCA-EX-01/ REV.01/FECHA 2021-06 N° de muestra : M-1  
 Peticionario : AYUQUE ALMIDON NELFA ESTRELLA Clase de material : ARCILLA  
 Ubicación : - Norma : NTP-ASTM-MTC  
 Estructura : - - Ensayado por : A.Y.G.  
 Fecha de recepción : Julio 2021 Fecha de emisión : Noviembre 2021

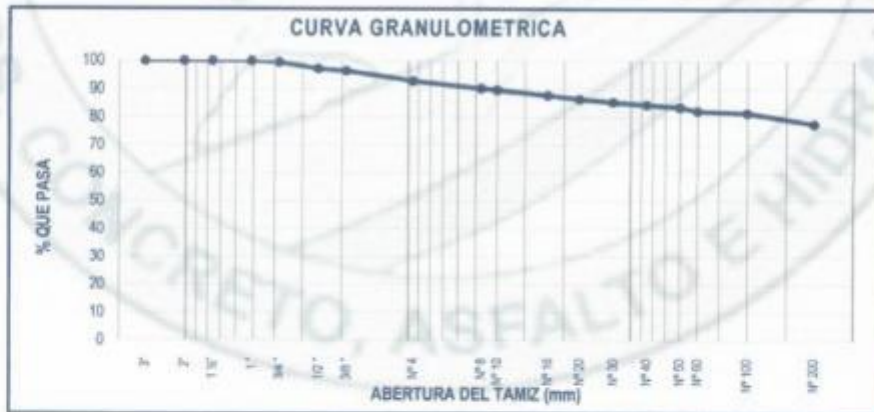
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO  
NTP 339.128 (1999)-ASTM D 422-MTC E 107

Hoja: 01 de 02

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASANTE (%)
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	29.30	0.47	0.47	99.53
1/2"	12.70	142.90	2.29	2.76	97.24
3/8"	9.53	51.10	0.82	3.58	96.42
N° 4	4.76	219.00	3.51	7.10	92.90
N° 8	2.36	166.06	2.66	9.76	90.24
N° 10	2.00	32.01	0.51	10.27	89.73
N° 16	1.18	120.04	1.93	12.20	87.80
N° 20	0.85	78.03	1.25	13.45	86.55
N° 30	0.60	72.03	1.16	14.61	85.39
N° 40	0.43	60.02	0.96	15.57	84.43
N° 50	0.30	54.02	0.87	16.44	83.56
N° 60	0.25	88.03	1.41	17.85	82.15
N° 100	0.15	40.01	0.64	18.49	81.51
N° 200	0.075	244.09	3.92	22.41	77.59
FONDO		4835.75	77.59	100.00	0.00
TOTAL		6232.4	100.00 %		

GRUPOS SEGÚN EL SISTEMA UNIFICADO CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)	
GRAVA	7.10 %
ARENA	15.31 %
FINO	77.59 %
TOTAL	100.00 %

CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO (NTP 339.127)	
Código de recipiente	P-07
Masa de recipiente (g)	46.20 g
Masa de recipiente + suelo húmedo (g)	360.05 g
Masa de recipiente + suelo seco (g)	325.75 g
Masa de agua (g)	34.30 g
Masa de suelo seco (g)	279.55 g
Contenido de humedad %	12.27 %



Simbolo del grupo (SUCS) = CL  
 Nombre del grupo (SUCS) = ARCILLA LIGERA DE PLASTICIDAD MEDIA CON ARENA  
 AASHTO = A-4 (0)



GEO TEST V S.A.C.  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA  
ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY  
CIP N° 247312  
JEFE DE LABORATORIO



DIRECCIÓN : JR. GRAU N° 211 CHILCA C. MAIL : LABORATORIOGEO@GMAIL.COM  
 100P X UNA QUADRA FRENTE AL PARQUE PUZZO AV. FERROVIARIA BRUCE CON AV. LEONORI PARKER GEOTEST.V@GMAIL.COM  
 DELICAR : 995525151 - 992831911 - 991375063 FAX: 0038 : GEO TEST V. S.A.S  
 RUC : 20609529329

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

Proyecto : TESIS- "EFECTO DE LA INCORPORACION DE CAL HIDRATADA CON BOÑIGA DE RES EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE "

Expediente N° : EXP-21-GEO-TEST-V-2021 Cantera : Calicata 01

Codigo de formato : PCA-EX-01/ REV.01/FECHA 2021-06 N° de muestra : M-1

Peticionario : AYUQUE ALMIDON NELFA ESTRELLA Clase de material : ARCILLA

Ubicación : - Norma : NTP-ASTM-MTC

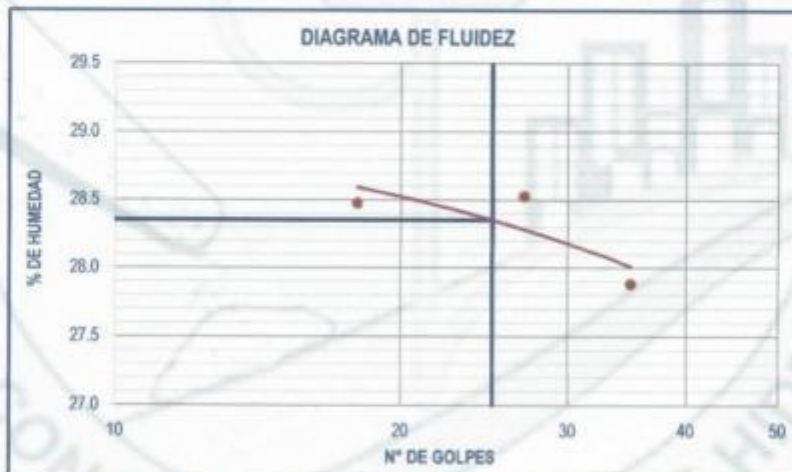
Estructura : - - Ensayado por : A.Y.G.

Fecha de recepción : Julio 2021 Fecha de emisión : Noviembre 2021

Hoja: 02 de 02

MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS  
NTP 339.129 (2014)-ASTM D 4318-MTC E 110-111

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	T-123	T-58	T-34	T-194	T-193
Masa cápsula + Suelo húmedo (g)	73.20	53.00	46.70	22.50	23.80
Masa cápsula + Suelo seco (g)	60.50	43.90	39.20	21.80	22.80
Masa cápsula (g)	15.90	12.00	12.30	17.00	17.20
Masa del agua (g)	12.70	9.10	7.50	0.90	1.00
Masa del suelo seco (g)	44.60	31.90	26.90	4.60	5.60
Contenido de humedad %	28.48 %	28.53 %	27.88 %	19.57 %	17.86 %
Nro. De golpes	18	27	35	I	II



LÍMITE LÍQUIDO  
LL : 28.35

LÍMITE PLÁSTICO  
LP : 18.71

ÍNDICE PLÁSTICO  
IP : 9.64

NOTAS:

- 1) Muestreo e identificación realizados por el peticionario
- 2) El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad
- 3) Resolución N°002-98-INDECOPI-CRT-ART.6.- Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



GEO TEST V. S.A.S  
ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY  
CIP N° 247312  
JEFE DE LABORATORIO



DIRECCIÓN : JF. ORAZ N° 311 CHILCA

E-MAIL : LABGEOTESTV2@GMAIL.COM

TRETA UNA CUADRA FRENTE AL PARQUE PUZO AV.  
FERROCARRIL CRUCE CON AV. LEONOR PRADO

GEO TEST V@GMAIL.COM

FACEBOOK : GEO TEST V S.A.C

CELULAR : 952529151 - 972821911 - 991375093

RUC : 20606529229

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

Proyecto : TESIS- "EFECTO DE LA INCORPORACION DE CAL HIDRATADA CON BOÑIGA DE RES EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE "

Expediente N° : EXP-21-GEO-TEST-V-2021

Codigo de formato : PM-EX-01/ REV.01/FECHA 2021-02-11

Peticionario : Bach. AYUQUE ALMIDON NELFA ESTRELLA

Ubicación : -

Estructura : Subrasante

Fecha de recepción : Julio 2021

Cantera : Material de calicata

N° de muestra : M-1

Clase de material : ARCILLA

Norma : NTP-ASTM-MTC

Ensayado por : A.Y.G.

Fecha de emisión : Noviembre 2021

PROCTOR MODIFICADO

NTP 338.141-ASTM D 1557-MTC E 115

Hoja : 01 DE 01

COMPACTACION				
N° Capas	5	5	5	5
N° Golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5,848.0	5,987.0	5,912.0	5,854.0
Peso molde (gr.)	3,764.0	3,764.0	3,764.0	3,764.0
Peso suelo compactado (gr.)	2,084.0	2,223.0	2,148.0	2,090.0
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	947.9	947.9	947.9	947.9
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	2.199	2.345	2.266	2.205

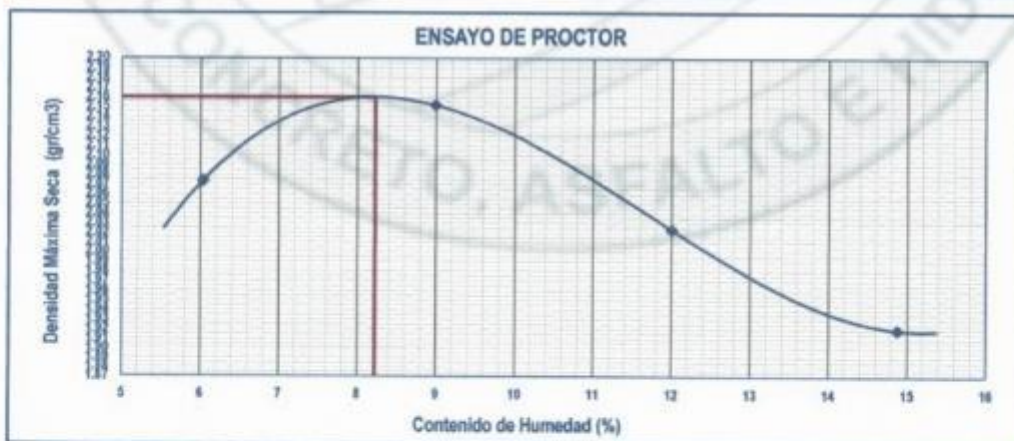
HUMEDAD (%)				
Tara N°	1	2	3	4
Tara + suelo húmedo (gr.)	89.5	100.7	86.5	99.6
Tara + suelo seco (gr.)	85.4	93.8	78.9	88.1
Peso de agua (gr.)	4.1	6.9	7.6	11.5
Peso de tara (gr.)	17.5	17.1	15.6	10.8
Peso de suelo seco (gr.)	67.9	76.7	63.3	77.3
Humedad (%)	6.0	9.0	12.0	14.9
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.073	2.152	2.023	1.919

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO			
METODO	A	B	C
TIPO DE MOLDE	4"	6"	6"

CARACTERÍSTICAS DEL MOLDE	
PESO (g)	3,764.0
VOLUMEN (CM <sup>3</sup> )	947.9

RESULTADOS DE PROCTOR	
Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.160
Óptimo Contenido de Humedad (%)	8.2

RESULTADOS DE PROCTOR CORREGIDO	
Máxima Densidad Seca Corregido (gr/cm <sup>3</sup> )	-
Óptimo Contenido de Humedad Corregido(%)	-



NOTAS:

- Muestreo e identificación realizados por el peticionario
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad
- Resolución N°002-98-INDECOPI-CRT-ART.6.- Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificación del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



GEO TEST V. SAC  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

*(Firma manuscrita)*

ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY  
CIP N° 247312  
JEFE DE LABORATORIO



DIRECCIÓN : JR. DRAG N° 211 - CHILCA T. MAIL : LABORTESTV@GMAIL.COM  
 (SET) A UNA CUADRA FRENTE AL PARQUE PUEBLO AV. FERROVIARIA, ESQUELON CON AV. LEONCIO PRADO GEO TEST V@GMAIL.COM  
 CELULAR : 952323151 - 972831911 - 991375093 FACEBOOK : GEO TEST V S.A.C. RUC : 20606529629

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

Proyecto : TESIS- "EFECTO DE LA INCORPORACION DE CAL HIDRATADA CON BOÑIGA DE RES EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE "

Expediente N° : EXP-21-GEO-TEST-V-2021 Cantera : Material de calicata  
 Código de formato : CBR-EX-01/ REV.01/FECHA 2021-02-11 N° de muestra : M-1  
 Peticionario : Bach. AYUQUE ALMIDON NELFA ESTRELLA Clase de material : ARCILLA  
 Ubicación : - Norma : NTP-ASTM-MTC  
 Estructura : Subrasante Ensayado por : A.Y.G.  
 Fecha de recepción : Julio 2021 Fecha de emisión : Noviembre 2021

ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)  
NTP 399.145-ASTM D 1883-MTC E 132-AASHTO T-193

Hoja : 01 de 02

COMPACTACION

	1		2		3	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	13089.0	13254.0	12758.0	12830.0	12699.0	12838.0
Peso de molde (g)	7570.0	7570.0	7544.0	7544.0	7725.0	7725.0
Peso del suelo húmedo (g)	5519.0	5684.0	5214.0	5286.0	4974.0	5113.0
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2322.7	2322.7	2322.7	2322.7	2322.7	2322.7
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.378	2.447	2.245	2.278	2.142	2.200
Tara (N°)	--	--	--	--	--	--
Peso suelo húmedo + tara (g)	101.2	81.2	182.4	107.3	186.0	106.2
Peso suelo seco + tara (g)	94.2	75.0	168.9	98.0	171.7	97.0
Peso de tara (g)	15.5	11.3	13.7	17.9	11.8	17.4
Peso de agua (g)	7.0	6.2	13.9	8.3	14.3	9.2
Peso de suelo seco (g)	78.7	63.7	154.8	81.1	159.9	79.6
Contenido de humedad (%)	8.89	9.74	8.98	10.25	8.94	11.55
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.182	2.230	2.060	2.064	1.968	1.973

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	LECTURA DEL DIAL MOLDE N°1	EXPANSION		LECTURA DEL DIAL MOLDE N°2	EXPANSION		LECTURA DEL DIAL MOLDE N°3	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
2/11/2021	1.15pm	0	3.060	3.060	2.55	1.050	1.050	0.88	2.370	2.370	1.96
3/11/2021	1.15pm	24	3.060	3.060	2.55	1.060	1.060	0.88	2.360	2.360	1.98
4/11/2021	1.15pm	48	3.070	3.070	2.56	1.070	1.070	0.89	2.360	2.360	1.99
5/11/2021	1.15pm	72	3.080	3.080	2.57	1.090	1.090	0.91	2.390	2.390	1.99
6/11/2021	1.15pm	96	3.080	3.080	2.57	1.090	1.090	0.91	2.390	2.390	1.99

PENETRACION

PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°1				MOLDE N°2				MOLDE N°3			
		CARGA	CORRECCION			CARGA	CORRECCION			CARGA	CORRECCION		
Profundidad	kg/cm <sup>2</sup>	Dial	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%	Dial	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%	Dial	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%
0.000		0.000	0.00			0.000	0.00			0.000	0.00		
0.025		0.035	5.68			0.012	2.67			0.005	2.01		
0.050		0.049	7.39			0.017	3.48			0.007	2.25		
0.075		0.061	8.86			0.020	3.85			0.008	2.37		
0.100	70.31	0.066	9.47	10.1	14.4	0.023	4.21	3.2	4.6	0.010	2.62	1.9	2.7
0.150		0.105	14.24			0.029	4.95			0.013	2.99		
0.200	105.46	0.150	19.72	17.2	16.3	0.033	5.44	5.4	5.1	0.016	3.36	3.2	3.0
0.250		0.157	20.57			0.038	6.05			0.018	3.60		
0.300		0.166	21.54			0.042	6.54			0.020	3.85		
0.400		0.175	23.25			0.051	7.84			0.025	4.46		
0.500		0.198	25.56			0.059	8.62			0.028	4.82		



GEO TEST V S.A.C.  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY  
CIP N° 247312  
JEFE DE LABORATORIO



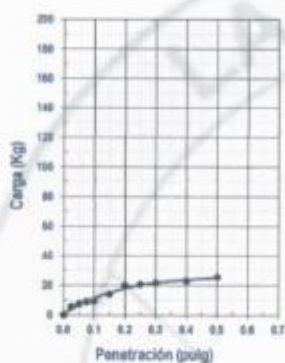
DIRECCIÓN : JR. GRAU N° 811 - CHILCA  
 E-MAIL : LABORATORIO@GEOTESTV.COM  
 TEL. A UNA CUADRA FREYTES 46 PARQUE PUEBLO DE FERRUCARAY, PUNTO CON. Nº. ALONSO PRADO  
 TELEFONO : 011 222 21911 - 99 1270093  
 FAX : 011 222 21911 - 99 1270093  
 PÁGINA WEB : WWW.GEOTESTV.COM  
 RUC : 20040029224

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

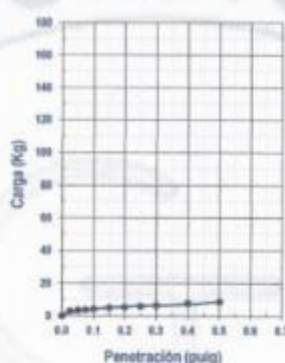
**Proyecto** : TESIS- "EFECTO DE LA INCORPORACION DE CAL HIDRATADA CON BOÑIGA DE RES EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE"  
**Expediente N°** : EXP-21-GEO-TEST-V-2021  
**Código de formato** : CBR-EX-01/ REV.01/FECHA 2021-02-11  
**Peticionario** : Bach. AYUQUE ALMIDON NELFA ESTRELLA  
**Ubicación** : -  
**Estructura** : Subrasante  
**Fecha de recepción** : Julio 2021  
**Cantera** : Material de calicata  
**N° de muestra** : M-1  
**Clase de material** : ARCILLA  
**Norma** : NTP-ASTM-MTC  
**Ensayado por** : A.Y.G.  
**Fecha de emisión** : Noviembre 2021

ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)  
NTP 399.145-ASTM D 1883-MTC E 132-AASHTO T-193

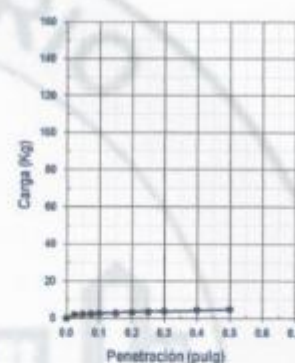
Hoja : 02 de 02



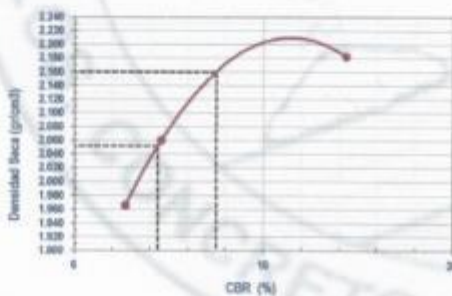
MOLDE N°1	
CBR (0.1")	14.4 %
CBR (0.2")	16.3 %
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.182



MOLDE N°2	
CBR (0.1")	4.6 %
CBR (0.2")	5.1 %
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.060



MOLDE N°3	
CBR (0.1")	2.7 %
CBR (0.2")	3.0 %
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.966



Método de compactación : ASTM D1557  
 Máxima densidad seca (g/cm<sup>3</sup>) : 2.180  
 Óptimo contenido de humedad (%) : 8.2  
 95% máxima densidad seca (g/cm<sup>3</sup>) : 2.052

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	7.5	0.2"	8.1
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	4.4	0.2"	4.9

RESULTADOS:

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 7.5 (%)  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 4.4 (%)

NOTAS:

- 1) Muestreo e identificación realizados por el peticionario
- 2) El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad
- 3) Resolución N°002-06-INDECOPI-CRIT. ART. 6.- Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



GEO TEST V. SAC  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

  
 ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY  
 CIP N° 247312  
 JEFE DE LABORATORIO





DIRECCIÓN : JR. BRAU N° 211 CHILCA

E-MAIL : LABORTESTVQ2@GMAIL.COM

(REC. A UNA QUADRA FRENTE AL PARQUE PUZO AV.  
FERROVIARIA, CRUCE CON AV. LEONDO PRADO)

TESTEST.V@GMAIL.COM

FACEBOOK : GEO TEST V S.A.C

CELULAR : 982525151 - 972831911 - 991376093

RUC : 20606529239

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

Proyecto : TESIS- "EFECTO DE LA INCORPORACION DE CAL HIDRATADA CON BOÑIGA DE RES EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE "

Expediente N° : EXP-21-GEO-TEST-V-2021

Codigo de formato : PM-EX-01/ REV.01/FECHA 2021-02-11

Peticionario : Bach. AYUQUE ALMIDON NELFA ESTRELLA

Ubicación : -

Estructura : Subrasante

Fecha de recepción : Julio 2021

Cantera : Material de calcata

N° de muestra : M-1

Clase de material : ARCILLA + 1% (cal hidratada + botiga de res)

Norma : NTP-ASTM-MTC

Ensayado por : A.Y.G.

Fecha de emisión : Noviembre 2021

PROCTOR MODIFICADO  
NTP 338.141-ASTM D 1557-MTC E 118

Hoja : 01 DE 01

COMPACTACION				
N° Capas	5	5	5	5
N° Golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5,753.0	5,856.0	5,924.0	5,817.0
Peso molde (gr.)	3,764.0	3,764.0	3,764.0	3,764.0
Peso suelo compactado (gr.)	1,989.0	2,094.0	2,160.0	2,053.0
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	947.9	947.9	947.9	947.9
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	2.098	2.209	2.279	2.166

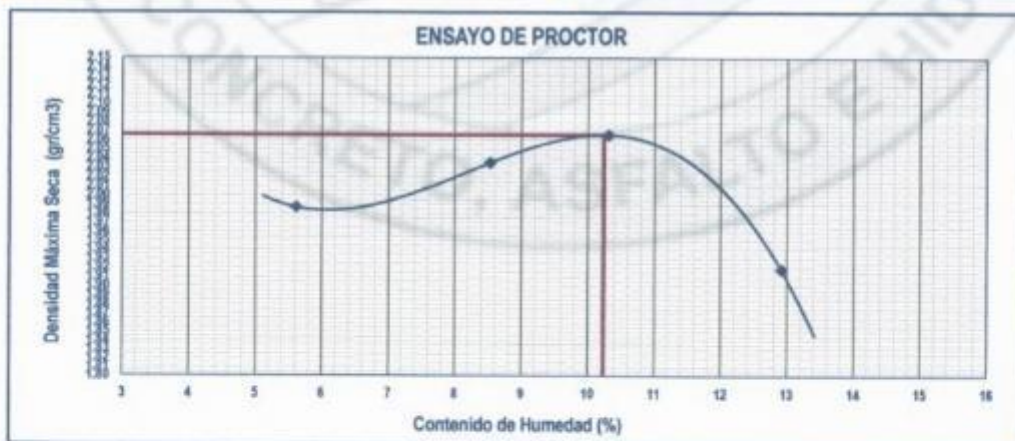
HUMEDAD (%)				
Tara N°	1	2	3	4
Tara + suelo húmedo (gr.)	96.8	101.2	81.1	96.9
Tara + suelo seco (gr.)	92.5	94.4	74.8	87.6
Peso de agua (gr.)	4.3	6.8	6.3	9.3
Peso de tara (gr.)	16.0	14.7	13.7	15.6
Peso de suelo seco (gr.)	76.5	79.7	61.1	72.0
Humedad (%)	5.6	8.5	10.3	12.9
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.987	2.035	2.066	1.918

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO			
MÉTODO	A	B	C
TIPO DE MOLDE	4"	6"	6"

CARACTERÍSTICAS DEL MOLDE	
PESO (g)	3,764.0
VOLUMEN (CM <sup>3</sup> )	947.9

RESULTADOS DE PROCTOR	
Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.066
Óptimo Contenido de Humedad (%)	10.2

RESULTADOS DE PROCTOR CORREGIDO	
Máxima Densidad Seca Corregido (gr/cm <sup>3</sup> )	-
Óptimo Contenido de Humedad Corregido(%)	-



NOTAS:

- Muestreo e identificación realizados por el peticionario
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad
- Resolución N°002-98-INDECOPI-CRT-ART.6.- Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY  
CIP N° 247312  
JEFE DE LABORATORIO



DIRECCIÓN : JR. GRAN N° 1111 CHILCA  
C. MAIL : LABORTESTV@GMAIL.COM  
TEL. A UNA LÍNEA DIRECTA PRECISAMENTE AL CENTRO DE CHILCA  
PERUOCCORP. SUCURSALES AL CENTRO DE CHILCA  
FACEBOOK : GEO TEST V S.A.C.  
CELULAR : 980021111 / 980021111 / 980021111  
WEB : WWW.LABORTESTV.COM

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

Proyecto : TESIS- \*EFECTO DE LA INCORPORACION DE CAL HIDRATADA CON BOÑIGA DE RES EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE

Expediente N° : EXP-21-GEO-TEST-V-2021  
Codigo de formato : CBR-EX-01/ REV.01/FECHA 2021-02-11  
Peticionario : AYUQUE ALMIDON NELFA ESTRELLA  
Ubicación : +  
Estructura : Subrasante  
Fecha de recepción : Julio 2021

Cantara : Material de calicata  
N° de muestra : M-1  
Clase de material : ARCILLA + 1% (cal hidratada + botiga de res)  
Norma : NTP-ASTM-MTC  
Ensayado por : A.Y.G.  
Fecha de emisión : Noviembre 2021

ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)  
NTP 399.145-ASTM D 1883-MTC E 132-AASHTO T-193

Hoja : 01 de 02

COMPACTACION						
Molde N°	1		2		3	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12625.0	13067.0	12620.0	12660.0	12600.0	12620.0
Peso de molde (g)	7570.0	7570.0	7544.0	7544.0	7725.0	7725.0
Peso del suelo húmedo (g)	5255.0	5487.0	5076.0	5306.0	4875.0	5095.0
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2308.2	2308.2	2308.2	2308.2	2308.2	2308.2
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.277	2.377	2.199	2.299	2.112	2.207
Tara (N°)	**	**	**	**	**	**
Peso suelo húmedo + tara (g)	101.2	81.7	82.4	106.0	86.9	103.5
Peso suelo seco + tara (g)	93.3	74.4	76.0	96.0	79.9	93.0
Peso de tara (g)	15.5	11.3	13.6	17.9	11.6	17.4
Peso de agua (g)	8.0	7.3	6.4	10.0	7.0	10.5
Peso de suelo seco (g)	77.8	63.1	62.4	76.1	68.3	75.6
Contenido de humedad (%)	10.23	11.57	10.26	12.81	10.25	13.88
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.066	2.131	1.996	2.038	1.916	1.938

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO	LECTURA DEL DIAL MOLDE N°1	EXPANSION		LECTURA DEL DIAL MOLDE N°2	EXPANSION		LECTURA DEL DIAL MOLDE N°3	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
2/11/2021	2:22pm	0	2.820	2.820	2.35	1.260	1.260	1.05	2.400	2.400	2.00
3/11/2021	2:22pm	24	2.830	2.830	2.36	1.270	1.270	1.06	2.400	2.400	2.00
4/11/2021	2:22pm	48	2.840	2.840	2.37	1.270	1.270	1.06	2.500	2.500	2.08
5/11/2021	2:22pm	72	2.880	2.880	2.40	1.270	1.270	1.06	2.600	2.600	2.17
6/11/2021	2:22pm	96	2.880	2.880	2.40	1.270	1.270	1.06	3.600	2.600	2.17

PENETRACION													
PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°1				MOLDE N°2				MOLDE N°3			
		CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION		
Pulgadas	kg/cm <sup>2</sup>	Dial	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%	Dial	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%	Dial	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%
0.000		0.000	0.00			0.000	0.00			0.000	0.00		
0.025		0.060	8.74			0.046	7.03			0.021	3.97		
0.050		0.151	19.84			0.074	10.45			0.034	5.56		
0.075		0.169	22.03			0.068	13.38			0.044	6.78		
0.100	70.31	0.178	23.13	18.9	26.9	0.119	15.94	15.4	21.9	0.060	8.74	8.8	12.5
0.150		0.186	24.10			0.145	19.11			0.075	10.57		
0.200	105.46	0.198	25.56	28.7	27.3	0.175	22.76	24.4	23.1	0.108	14.60	15.5	14.7
0.250		0.220	28.23			0.216	27.98			0.155	20.33		
0.300		0.298	37.67			0.235	30.05			0.165	21.54		
0.400		0.312	39.36			0.285	33.68			0.170	22.15		
0.500		0.340	42.74			0.270	34.29			0.198	25.56		

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA  
GEO TEST V. SAC  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA  
ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY  
CIP N° 247312  
JEFE DE LABORATORIO



DIRECCIÓN : JR. URUGUAY N° 311 - CHIMBOTE E-MAIL : LABORATORIO@GEOTESTV.COM  
 DPTO. A UNA CUADRA FRENTE AL PARQUE BOSTON AV. ESTADUENSE, CHIMBOTE TEL. 051 51 4200000 GEOTEST@GEOTESTV.COM  
 CELULAR : 982257611 982257611 982257612 FAX : 051 51 4200000 GEO TEST V. S.A.C.  
 WWW : WWW.GEOTESTV.COM

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

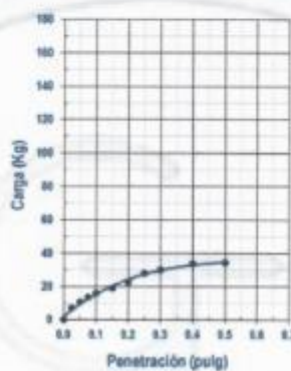
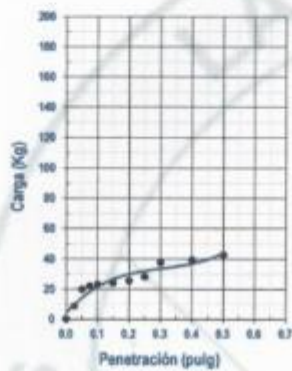
Proyecto : TESIS- "EFECTO DE LA INCORPORACION DE CAL HIDRATADA CON BOÑIGA DE RES EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE

Expediente N° : EXP-21-GEO-TEST-V-2021  
 Código de formato : CBR-EX-01/ REV.01/FECHA 2021-02-11  
 Peticionario : AYUQUE ALMIDON NELFA ESTRELLA  
 Ubicación : -  
 Estructura : Subrasante  
 Fecha de recepción : Julio 2021

Cantera : Material de calcata  
 N° de muestra : M-1  
 Clase de material : ARCILLA + 1% (cal hidratada + boñiga de res)  
 Norma : NTP-ASTM-MTC  
 Ensayado por : A.Y.G.  
 Fecha de emisión : Noviembre 2021

ENSAYO DE RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)  
NTP 399.145-ASTM D 1883-MTC E 132-AASHTO T-193

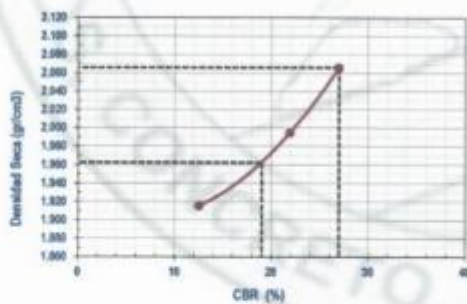
Hoja : 02 de 02



MOLDE N°1	
CBR (0.1")	26.9 %
CBR (0.2")	27.3 %
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.066

MOLDE N°2	
CBR (0.1")	21.9 %
CBR (0.2")	23.1 %
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.995

MOLDE N°3	
CBR (0.1")	12.5 %
CBR (0.2")	14.7 %
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.916



Método de compactación : ASTM D1557  
 Máxima densidad seca (g/cm<sup>3</sup>) : 2.066  
 Óptimo contenido de humedad (%) : 18.2  
 95% máxima densidad seca (g/cm<sup>3</sup>) : 1.963

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%) 0.1" 27.0 0.2" 27.3  
 C.B.R. al 95% de M.D.S. (%) 0.1" 19.0 0.2" 20.6

RESULTADOS:

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 27.0 (%)  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 19.0 (%)

NOTAS:

- Muestreo e identificación realizados por el peticionario
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad
- Resolución N°002-98-INDECOPI-CRT-ART.6.- Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



GEO TEST V S.A.C.  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY  
CIP. N° 247312  
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA  
GEO TEST V. SAC



DIRECCIÓN : JR. BRAU N° 211-CHILCA

E-MAIL : LABGEOESTV02@GMAIL.COM

TRAY. A UNA CUADRA FRENTE AL PARQUE PUZO AV.  
FERROVIARIA, ENDE. DON AV. LEONDO PRADO

GEO TEST V. SAC

FACEBOOK : GEO TEST V S.A.C

CELULAR : 982925151 - 978031911 - 991375093

RUC : 20606529229

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

Proyecto : TESIS- "EFECTO DE LA INCORPORACION DE CAL HIDRATADA CON BOÑIGA DE RES EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS A"  
Expediente N° : EXP-21-GEO-TEST-V-2021  
Codigo de formato : PM-EX-01/ REV.01/FECHA 2021-02-11  
Peticionario : Bach. AYUQUE ALMIDON NELFA ESTRELLA  
Ubicación : +  
Estructura : Subrasante  
Fecha de recepción : Julio 2021  
Cartera : Material de calicata  
N° de muestra : M-1  
Clase de material : ARCILLA + 2% (cal hidratada + boñiga de res)  
Norma : NTP-ASTM-MTC  
Ensayado por : A.Y.G.  
Fecha de emisión : Noviembre 2021

PROCTOR MODIFICADO  
NTP 338.141-ASTM D 1557-MTC E 115

Hoja : 01 DE 01

COMPACTACION				
N° Capes	5	5	5	5
N° Golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5,620.0	5,767.0	5,905.0	5,830.0
Peso molde (gr.)	3,764.0	3,764.0	3,764.0	3,764.0
Peso suelo compactado (gr.)	1,856.0	2,003.0	2,141.0	2,066.0
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	947.9	947.9	947.9	947.9
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.958	2.113	2.259	2.180

HUMEDAD (%)				
Tara N°	1	2	3	4
Tara + suelo húmedo (gr.)	78.5	97.1	89.3	87.4
Tara + suelo seco (gr.)	74.9	91.3	82.7	79.6
Peso de agua (gr.)	3.6	5.8	6.6	7.8
Peso de tara (gr.)	11.3	16.6	17.0	16.9
Peso de suelo seco (gr.)	63.6	74.7	65.7	62.7
Humedad (%)	5.7	7.8	10.0	12.5
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.853	1.961	2.052	1.938

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO			
MÉTODO	A	B	C
TIPO DE MOLDE	4"	6"	6"

CARACTERÍSTICAS DEL MOLDE	
PESO (g)	3,764.0
VOLUMEN (CM <sup>3</sup> )	947.9

RESULTADOS DE PROCTOR	
Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ):	2.054
Óptimo Contenido de Humedad (%):	10.3

RESULTADOS DE PROCTOR CORREGIDO	
Máxima Densidad Seca Corregido (gr/cm <sup>3</sup> ):	-
Óptimo Contenido de Humedad Corregido(%):	-



NOTAS:

- Muestreo e identificación realizados por el peticionario
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad
- Resolución N°002-98-INDECOPI-CRT-ART.6.- Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificación del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



GEO TEST V. SAC  
ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY  
CIP: N° 247312  
JEFE DE LABORATORIO



DIRECCIÓN : J. M. GRAU N° 211 - CHILCA E-MAIL : LABORTEST@GMAIL.COM  
 TEL. A. DÍA CUADRA FRENTE AL PARQUE PUEBLO FERRUCARRA, EDIFICIO CON A2, LEONIDAS PRADO SACRETIEMPO : 060787570000000000  
 CELULAR : 975205111 - 975021911 - 991375993 BUC : 200005520000

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

Proyecto : TESIS- "EFECTO DE LA INCORPORACION DE CAL HIDRATADA CON BOÑIGA DE RES EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE"  
 Expediente N° : EXP-21-GEO-TEST-V-2021 Cantera : Material de calicata  
 Código de formato : CBR-EX-01/ REV.01/FECHA 2021-02-11 N° de muestra : M-1  
 Peticionario : Bach. AYUQUE ALMIDON NELFA ESTRELLA Clase de material : ARCILLA + 2% (cal hidratada + boñiga de res)  
 Ubicación : - Norma : NTP-ASTM-MTC  
 Estructura : Subrasante Ensayado por : A.Y.G.  
 Fecha de recepción : Julio 2021 Fecha de emisión : Noviembre 2021

ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)  
NTP 399.145-ASTM D 1883-MTC E 132-AASHTO T-193

Hoja : 01 de 02

COMPACTACION

Molde N°	7		5		3	
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	13182.0	13280.0	12690.0	12820.0	12428.0	12636.0
Peso de molde (g)	7955.0	7955.0	7585.0	7585.0	7829.0	7829.0
Peso del suelo húmedo (g)	5227.0	5325.0	5065.0	5235.0	4599.0	4806.0
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2308.2	2308.2	2308.2	2308.2	2308.2	2308.2
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.265	2.307	2.194	2.268	1.993	2.062
Tara (N°)	--	--	--	--	--	--
Peso suelo húmedo + tara (g)	103.5	354.0	154.4	107.0	86.9	236.0
Peso suelo seco + tara (g)	96.3	319.5	141.3	97.1	79.9	209.0
Peso de tara (g)	15.5	11.3	13.7	17.8	11.8	17.4
Peso de agua (g)	8.2	34.5	13.1	9.9	7.0	26.0
Peso de suelo seco (g)	79.8	308.2	127.6	79.3	68.1	191.6
Contenido de humedad (%)	10.26	11.19	10.27	12.48	10.26	13.57
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.054	2.075	1.990	2.016	1.807	1.833

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	LECTURA DEL DIAL MOLDE N°1	EXPANSION		LECTURA DEL DIAL MOLDE N°2	EXPANSION		LECTURA DEL DIAL MOLDE N°3	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
2/11/2021	12.25pm	0	1.730	1.730	1.44	0.160	0.160	1.200	1.200	1.00	
3/11/2021	12.25pm	24	1.740	1.740	1.45	0.170	0.170	1.300	1.300	1.08	
4/11/2021	12.25pm	48	1.750	1.750	1.46	0.170	0.170	1.400	1.400	1.17	
5/11/2021	12.25pm	72	1.750	1.750	1.46	0.180	0.180	1.400	1.400	1.17	
6/11/2021	12.25pm	96	1.750	1.750	1.46	1.180	0.180	1.400	1.400	1.17	

PENETRACION

PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°1				MOLDE N°2				MOLDE N°3			
		CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION				
Pulgadas	kg/cm <sup>2</sup>	Dial	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%	Dial	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%	Dial	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%
0.000		0.000	0.00			0.000	0.00			0.000	0.00		
0.025		0.125	16.67			0.024	12.69			0.050	7.52		
0.050		0.182	21.18			0.125	16.67			0.075	10.57		
0.075		0.184	23.85			0.168	21.91			0.100	13.63		
0.100	70.31	0.200	25.80	21.7	30.8	0.187	24.22	20.8	29.0	0.124	16.55	16.5	23.4
0.150		0.235	30.05			0.215	27.62			0.155	20.33		
0.200	105.46	0.270	34.29	36.0	33.2	0.267	33.92	33.6	31.9	0.186	24.10	25.0	23.7
0.250		0.305	38.52			0.300	37.91			0.217	27.86		
0.300		0.375	46.96			0.332	41.78			0.235	30.05		
0.400		0.389	48.65			0.380	45.16			0.240	30.65		
0.500		0.402	50.21			0.382	45.40			0.256	32.59		



GEO TEST V. SAC  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA  
 ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY  
CIP N° 247312  
JEFE DE LABORATORIO





DIRECCIÓN : JN. BRAU N° 211 - CHILDA

E-MAIL : LABDETESTVQ2@GMAIL.COM

(REF. A UNA CUADRA FRENTE AL PARQUE PUZO AV.  
FERROVARIIL CRUCE CON AV. LEONCIO PRADO)

GEDTEST.V@GMAIL.COM

CELULAR : 952525151 - 972831911 - 991375093

FACEBOOK : GEO TEST V S.A.C

RUC : 20606529329

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

Proyecto : TESIS- "EFECTO DE LA INCORPORACION DE CAL HIDRATADA CON BOÑIGA DE RES EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE "

Expediente N° : EXP-21-GEO-TEST-V-2021

Código de formato : PM-EX-01/ REV.01/FECHA 2021-02-11

Peticionario : Bach. AYUQUE ALMIDON NELFA ESTRELLA

Ubicación : -

Estructura : Subrasante

Fecha de recepción : Julio 2021

Cartera : Material de calicata

N° de muestra : M-1

Clase de material : ARCILLA + 3% (cal hidratada + boñiga de res)

Norma : NTP-ASTM-MTC

Ensayado por : A.Y.O.

Fecha de emisión : Noviembre 2021

PROCTOR MODIFICADO  
NTP 339.141-ASTM D 1557-MTC E 118

Hoja : 01 DE 01

COMPACTACION				
N° Capas	5	5	5	5
N° Golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5,713.0	5,795.0	5,885.0	5,822.0
Peso molde (gr.)	3,764.0	3,764.0	3,764.0	3,764.0
Peso suelo compactado (gr.)	1,949.0	2,031.0	2,121.0	2,058.0
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	947.9	947.9	947.9	947.9
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	2.056	2.143	2.238	2.171

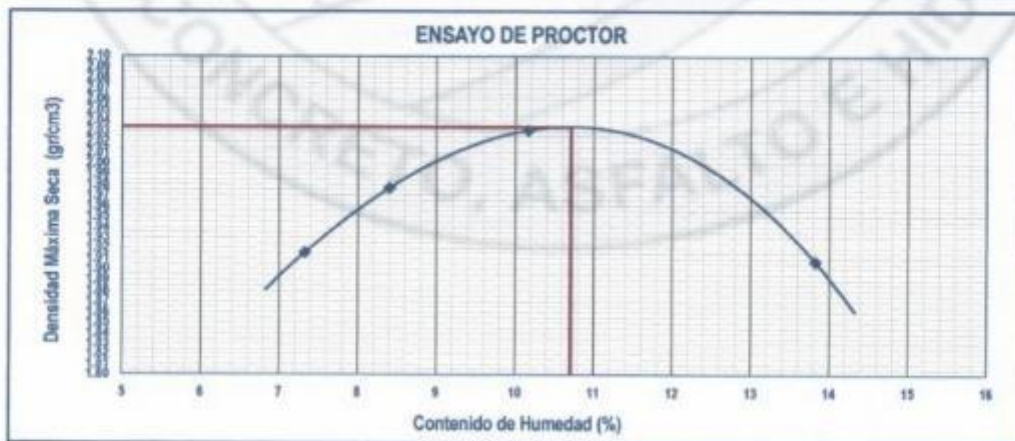
HUMEDAD (%)				
Tara N°	1	2	3	4
Tara + suelo húmedo (gr.)	90.5	111.1	94.9	93.7
Tara + suelo seco (gr.)	85.5	103.8	87.7	84.2
Peso de agua (gr.)	5.0	7.3	7.2	9.5
Peso de tara (gr.)	17.3	16.9	16.9	15.5
Peso de suelo seco (gr.)	68.2	86.9	70.8	68.7
Humedad (%)	7.3	8.4	10.2	13.8
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.916	1.977	2.031	1.907

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO			
METODO	A	B	C
TIPO DE MOLDE	e"	6"	6"

CARACTERÍSTICAS DEL MOLDE	
PESO (g)	3,764.0
VOLUMEN (CM3)	947.9

RESULTADOS DE PROCTOR	
Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.034
Óptimo Contenido de Humedad (%)	10.7

RESULTADOS DE PROCTOR CORREGIDO	
Máxima Densidad Seca Corregido (gr/cm <sup>3</sup> )	-
Óptimo Contenido de Humedad Corregido(%)	-



NOTAS:

- 1) Muestreo e identificación realizados por el peticionario
- 2) El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad
- 3) Resolución N°002-98-INDECOPI-CRT-ART.6.- Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



GEO TEST V. SAC  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY  
CIP N° 247312  
JEFE DE LABORATORIO

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA  
GEO TEST V. SAC**



DIRECCIÓN: JARDÍN N° 211 CHILCA      E-MAIL: LABORATORIO@GEOTESTV.COM  
 BOCA DE CALLE CENTRO PROPIA AL PARQUE PUEBLO DE  
 FARMACIA ENFOQUE SUR N° 20000 PUNTO      TELEFONO: 0011 247312  
 CARRERA      FAX: 0011 247312      GEO TEST V. S.A.C.  
 QUITO      010201101 - 072021911 - 0011270000      PUNTO      0000000000

**LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA**

**Proyecto** : TESIS- "EFECTO DE LA INCORPORACION DE CAL HIDRATADA CON BOÑIGA DE RES EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE "

**Expediente N°** : EXP-21-GEO-TEST-V-2021      **Cantera** : Material de calicata

**Codigo de formato** : CBR-EX-01/ REV.01/FECHA 2021-02-11      **N° de muestras** : -M-1

**Peticionario** : Bach. AYUQUE ALMIDON NELFA ESTRELLA      **Clase de material** : ARCILLA + 2% (cal hidratada + boñiga de res)

**Ubicación** : -      **Norma** : NTP-ASTM-MTC

**Estructura** : Subrasante      **Ensayado por** : A.Y.G.

**Fecha de recepción** : Julio 2021      **Fecha de emisión** : Noviembre 2021

**ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)  
NTP 399.145-ASTM D 1883-MTC E 132-AASHTO T-193**

Hoja : 01 de 02

COMPACTACION						
Molde N°	1		2		3	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12922.0	12510.0	12120.0	12260.0	12002.0	12241.0
Peso de molde (g)	7570.0	7570.0	7544.0	7544.0	7725.0	7725.0
Peso del suelo húmedo (g)	4822.0	4940.0	4576.0	4716.0	4277.0	4516.0
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2141.2	2141.2	2141.2	2141.2	2141.2	2141.2
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.252	2.297	2.137	2.202	1.997	2.109
Tara (N°)	..	..	..	..	..	..
Peso suelo húmedo + tara (g)	111.0	121.0	185.0	117.0	235.0	109.0
Peso suelo seco + tara (g)	101.7	109.8	168.5	105.6	213.4	97.6
Peso de tara (g)	15.0	11.3	14.8	16.5	11.8	15.2
Peso de agua (g)	9.3	11.2	16.5	11.4	21.6	11.4
Peso de suelo seco (g)	86.7	98.5	153.7	89.1	201.8	82.4
Contenido de humedad (%)	10.73	11.37	10.74	12.79	10.71	13.83
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.034	2.072	1.930	1.953	1.804	1.853

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO	LECTURA DEL DIAL MOLDE N°1	EXPANSION		LECTURA DEL DIAL MOLDE N°2	EXPANSION		LECTURA DEL DIAL MOLDE N°3	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
2/11/2021	3:07pm	0	1.100	1.100	0.92	1.200	1.200	1.00	2.100	2.100	1.75
3/11/2021	3:07pm	24	1.200	1.200	1.00	1.300	1.300	1.08	2.200	2.200	1.83
4/11/2021	3:07pm	48	1.300	1.300	1.08	1.300	1.300	1.08	2.300	2.300	1.92
5/11/2021	3:07pm	72	1.300	1.300	1.08	1.400	1.400	1.17	2.400	2.400	2.00
6/11/2021	3:07pm	96	1.300	1.300	1.08	1.400	1.400	1.17	2.400	2.400	2.00

PENETRACION													
PENETRACION	CARGA STAND	MOLDE N°1				MOLDE N°2				MOLDE N°3			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
Pulgadas	kg/cm <sup>2</sup>	Dial	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%	Dial	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%	Dial	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%
0.000		0.000	0.00			0.000	0.00			0.000	0.00		
0.025		0.160	20.94			0.152	19.96			0.110	14.85		
0.050		0.185	23.98			0.203	26.16			0.134	17.77		
0.075		0.209	26.89			0.230	29.44			0.167	24.22		
0.100	70.31	0.238	30.41	23.3	33.1	0.242	30.89	22.2	31.5	0.193	24.95	19.9	26.2
0.150		0.262	33.32			0.266	33.80			0.206	26.53		
0.200	105.46	0.292	36.95	37.4	35.5	0.321	40.45	38.6	36.6	0.219	28.10	30.7	29.1
0.250		0.339	42.62			0.359	45.03			0.264	33.56		
0.300		0.378	47.32			0.381	47.68			0.295	37.31		
0.400		0.508	62.93			0.424	52.66			0.329	41.30		
0.500		0.547	67.59			0.454	56.46			0.339	42.62		

  
**GEO TEST V. SAC**  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA  
**ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY**  
 CIP N° 247312  
 JEFE DE LABORATORIO





DIRECCIÓN: DR. GREGO NÚÑEZ ESTRELLA  
 E-MAIL: LABORTESTV@GMAIL.COM  
 DR. A. DINA CARRERA FRENTE AL PARQUE BALBO AV.  
 FARMACARIA BRUNO SAN AN. LEONOR PRADO  
 TELEFONO: 002 25251571 - 002 25251911 - 002 2740023  
 FAX: 002 25251571  
 LABORTESTV@GMAIL.COM  
 GEO TEST V. S. A. C.  
 002 006 000 000

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

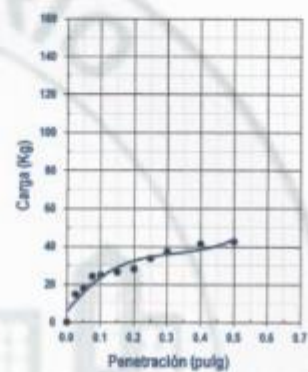
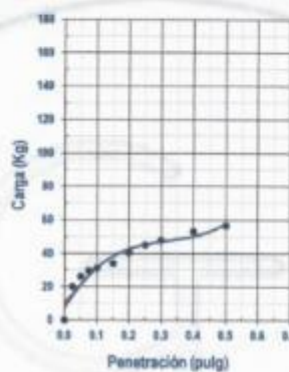
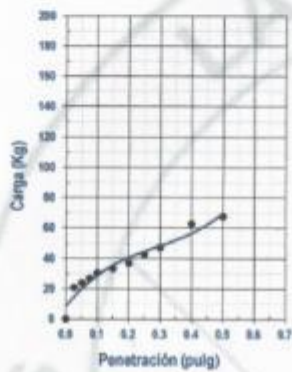
Proyecto : TESIS- "EFECTO DE LA INCORPORACION DE CAL HIDRATADA CON BOÑIGA DE RES EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE "

Expediente N° : EXP-21-GEO-TEST-V-2021  
 Código de formato : CBR-EX-01/ REV.01/FECHA 2021-02-11  
 Peticionario : Bach. AYUQUE ALMIDON NELFA ESTRELLA  
 Ubicación : -  
 Estructura : Subrasante  
 Fecha de recepción : Julio 2021

Cantera : Material de calicata  
 N° de muestra : M-1  
 Clase de material : ARCILLA + 2% (cal hidratada + boñiga de res)  
 Norma : NTP-ASTM-MTC  
 Ensayado por : A.Y.G.  
 Fecha de emisión : Noviembre 2021

ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)  
NTP 399.146-ASTM D 1883-MTC E 132-AASHTO T-193

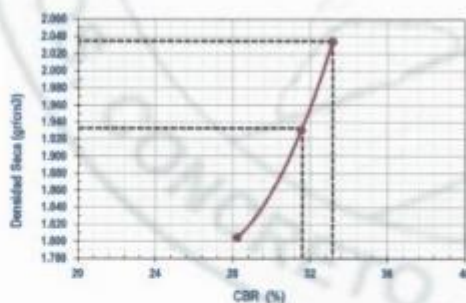
Hoja : 02 de 02



MOLDE N°1	
CBR (0.1")	33.1 %
CBR (0.2")	35.5 %
Densidad seca (g/cm3)	2.034

MOLDE N°2	
CBR (0.1")	31.5 %
CBR (0.2")	36.6 %
Densidad seca (g/cm3)	1.930

MOLDE N°3	
CBR (0.1")	28.2 %
CBR (0.2")	29.1 %
Densidad seca (g/cm3)	1.804



Método de compactación : ASTM D1557  
 Máxima densidad seca (g/cm3) : 2.034  
 Óptimo contenido de humedad (%) : 10.7  
 95% máxima densidad seca (g/cm3) : 1.933

CBR, al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	33.1	0.2"	35.5
CBR, al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	31.6	0.2"	36.6

RESULTADOS:

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 33.1 (%)  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 31.6 (%)

NOTAS:

- 1) Muestreo e identificación realizados por el peticionario
- 2) El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad
- 3) Resolución N°02-98-INDECOPI-CRT-ART.6.-Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



GEO TEST V. SAC  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

*(Signature)*  
 ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY  
 CIP N° 247312  
 JEFE DE LABORATORIO

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA GEO TEST V. SAC**

<b>DIRECCIÓN</b>	JR. GRAL N° 211 - CHILCA	<b>E-MAIL</b>	LABORATORIO@GEO-TEST.V.SAC
	(REF. A UNA CUADRA FRENTE AL PARQUE PUEB AV. FERROCARRIL CRUCE CON AV. LEONCIO PRADO)	<b>FACEBOOK</b>	GEO-TEST-V.S.A.C
<b>TELÉFONO</b>	952525151 - 972231911-991375093	<b>RUC</b>	20606529227

**ANÁLISIS DE PH DEL SUELO**

ASTM D 4972 – 95a, NTP 339.176, MTC E 129



**PROYECTO** : TESIS- "EFECTO DE LA INCORPORACION DE CAL HIDRATADA CON BOÑIGA DE RES EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE"

**SOLICITA** : Bach. AYUQUE ALMIDON NELFA ESTRELLA

**TRAMO** :-

**UBICACIÓN** :-

**MATERIAL** SUELO NATURAL, SUELO NATURAL + ADICION (CAL + BOÑIGA DE RES)

Muestra :	VALOR		
	Lectura 1	Lectura 2	Promedio
SUELO NATURAL	6.9	7	7

**Interpretación:** El pH del SUELO NATURAL tiene como grado de acidez: **Neutro**

Muestra :	VALOR		
	Lectura 1	Lectura 2	Promedio
SUELO NATURAL + 1% (CAL HIDRATADA + BOÑIGA DE RES)	11.3	11.3	11.3

**Interpretación:** El pH del SUELO NATURAL + 1% (CAL HIDRATADA + BOÑIGA DE RES) tiene como grado de acidez: **Muy Fuertemente Alcalino**

Muestra :	VALOR		
	Lectura 1	Lectura 2	Promedio
SUELO NATURAL + 2% (CAL HIDRATADA + BOÑIGA DE RES)	11.3	11.4	11.4

**Interpretación:** El pH del Suelo SUELO NATURAL + 2% (CAL HIDRATADA + BOÑIGA DE RES) tiene como grado de acidez: **Muy Fuertemente Alcalino**

Muestra :	VALOR		
	Lectura 1	Lectura 2	Promedio
SUELO NATURAL + 3% (CAL HIDRATADA + BOÑIGA DE RES)	11.4	11.6	11.5

**Interpretación:** El pH del Suelo SUELO NATURAL + 3% (CAL HIDRATADA + BOÑIGA DE RES) tiene como grado de acidez: **Muy Fuertemente Alcalino**



GEO TEST V. SAC  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

ING. YANISBERTH VELIZ SULCARAY  
CIP N° 247312  
JEFE DE LABORATORIO

DIRECCIÓN : JN. BRAU N° 211 CHILCA E-MAIL : LABGTESTV02@GMAIL.COM  
 (REF. A UNA CUADRA FRENTE AL PARQUE PUZO AV. FERROCARRIL CRUCE CON AV. LEONCIO PRADO) GCOTEST.V@GMAIL.COM  
 CELULAR : 952525151 - 972831911-991375093 FACEBOOK : GEO TEST V S.A.C RUC : 20606529229



**LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA**



Proyecto : TESIS- "EFECTO DE LA INCORPORACION DE CAL HIDRATADA CON BOÑIGA DE RES EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE"

Expediente N°	: EXP-10-GEO-TEST-V-2021	Cantera	: Material de subrasante
Codigo de formato	: PCA-EX-01/ REV.01/FECHA 2021-02-11	N° de muestra	: TRAMO DE PRUEBA
Peticionario	: AYUQUE ALMIDON NELFA ESTRELLA	Clase de material	: ARCILLA + 3% (cal hidratada + botiga de res)
Ubicación	: PERENE-CHANCHAMAYO-JUNIN	Norma	: ---
Estructura	: -	Ensayado por	: A.Y.G
Fecha de recepción	: Julio 2021	Fecha de emisión	: Noviembre 2021

**CALIDAD DE DRENAJE**

Densidad del agua 1.00 gr/cm<sup>3</sup>

PUNTO	ALTURA DE HOYO (mm)	PESO DE AGUA EMPLEADA (ml)	TIEMPO DE EVACUACIÓN ( min y seg)	ml/min	L/h
Convencional	125.0	1500	370 min 2 seg	4.05	0.24
Estabilizado	120.0	1500	128 min 7 seg	11.66	0.70

  
 GEO TEST V S.A.C  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA  
  
 ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY  
 CIP N° 247312  
 JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA  
**GEO TEST V. S.A.C.**



DIRECCION : P'sj. GRAU N°211 - CHILCA  
 Ref. a una cuadra frente al parque Puzo Av.  
 Ferrocarril cruce con Av. Leoncio Prado)  
 CELULAR : 952525151 - 972831911 - 991375093

RUC : 20606529229  
 E-MAIL : labgeotestv02@gmail.com  
 geotest.v@gmail.com.  
 FACEBOOK : Geo Test V S.A.C.

**ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO**  
 (NORMA AASHTO T-191, T-238, T-217)

PROYECTO	: TESIS- "EFECTO DE LA INCORPORACION DE CAL HIDRATADA CON BOÑIGA DE RES EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE"		
TRAMO	: ---	CARRIL	: TRAMO DE PRUEBA
ESTRUCTURA	: SUBRASANTE	CANTERA	: Material de subrasante
UBICACION	: PERENE- CHANCHAMAYO - JUNIN	FECHA	: Octubre 2021

**DENSIDAD HUMEDA**

LADO		CONVENCIONAL	CONVENCIONAL	SUELO ESTABILIZADO
UBICACIÓN DEL ENSAYO	Km.	-	-	-
CAPA		1°	1°	1°
ESPESOR DE CAPA (m)		0.17	0.17	0.15
FECHA		01/10/21	01/10/21	01/10/21
1	Peso del frasco + arena	5584	5569	5559
2	Peso del frasco + arena que queda	1798	1765	1738
3	Peso de arena empleada	3786	3804	3821
4	Peso de arena en el cono	1540	1540	1540
5	Peso de arena en la excavación	2246	2264	2281
6	Densidad de la arena	1.46	1.46	1.46
7	Volumen del material extraído	1538	1551	1562
8	Peso del recipiente + suelo + grava	3465	3425	3520
9	Peso del recipiente	0	0	0
10	Peso del suelo + grava	3465	3425	3520
11	Peso de Material > 3/4"	0	0	0
12	% de Material > 3/4" (Grava)	0.0	0.0	0.0
13	% de Material < 3/4" (Arena)	100.0	100.0	100.0
14	Densidad Húmeda	2.252	2.209	2.253
15	Densidad Seca	2.082	2.039	2.077

**DENSIDAD EN SITIO - HUMEDAD AASHTO T - 217**

16	Lectura de Densidad Humeda (WD)			
17	Lectura de Densidad Seca (DD)			
18	Humedad Peso Material Humedo			
19	Humedad Peso Material Seco			
20	Humedad Peso Agua	0.00	0.00	0.00
21	Contenido de humedad	8.20	8.30	8.50

**CORRECCION POR GRAVA ASTM D- 4718**

22	Máxima densidad seca	2.160	2.160	2.034
23	Óptimo contenido de humedad	8.20	8.20	10.70
24	Peso Especifico Grava	2.64	2.64	2.64
25	Contenido de Humedad Grava	8.2	8.3	8.5
26	Máx. Densidad Corregida	2.160	2.160	2.034
27	Opt.Humedad Corregida	8.2	8.2	10.7
28	Grado de compactación	96.4	94.4	102.1

**Observaciones:**

Se realizó una comparativa de una zona convencional y una zona estabilizada, teniendo la misma cantidad de ciclos de compactación.

  
 GEO TEST V S.A.C.  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA  
 ING. MAX JERDY VELIZ SULCARAY  
 C.P. N° 247312  
 JEFE DE LABORATORIO