

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

---

Influencia de la adición de cal hidratada sobre la plasticidad, densidad máxima y valor de relación de soporte de california (cbr) en la carretera Mostazas-Chocán, provincia de Ayabaca-Piura-2022

---

**Línea de Investigación:** Ingeniería de Transportes

**Sub Línea de Investigación:** Transportes

**Autor:**

García Castillo, Edinson Manuel

**Jurado evaluador:**

**Presidente:** Velásquez Díaz, Gilberto Anaximandro

**Secretario:** Henríquez Ulloa, Juan Paul Edward

**Vocal:** Panduro Alvarado, Elka

**Asesor:**

Burgos Sarmiento, Tito Alfredo

**Código ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2143-1566>

**Trujillo–Perú**

**2023**

**Fecha de Sustentación: 2023 / 07 / 26**



**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

---

Influencia de la adición de cal hidratada sobre la plasticidad, densidad máxima y valor de relación de soporte de california (cbr) en la carretera Mostazas-Chocán, provincia de Ayabaca-Piura-2022

---

**Línea de Investigación:** Ingeniería de Transportes

**Sub Línea de Investigación:** Transportes

**Autor:**

García Castillo, Edinson Manuel

**Jurado evaluador:**

**Presidente:** Velásquez Díaz, Gilberto Anaximandro

**Secretario:** Henríquez Ulloa, Juan Paul Edward

**Vocal:** Panduro Alvarado, Elka

**Asesor:**

Burgos Sarmiento, Tito Alfredo

**Código ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2143-1566>

**Trujillo–Perú**

**2023**

**Fecha de Sustentación: 2023 / 07 / 26**

# "INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CAL HIDRATADA SOBRE LA PLASTICIDAD, DENSIDAD MÁXIMA Y VALOR DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) EN LA CARRETERA MOSTAZAS-CHOCÁN, PROVINCIA DE AYABACA-PIURA-2022"

## INFORME DE ORIGINALIDAD

2%

INDICE DE SIMILITUD

2%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

1%

2

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo



### Declaración de originalidad

Yo, TITO ALFREDO BURGOS SARMIENTO, docente del Programa de Estudio de Ingeniería Civil de la Universidad Privada Antenor Orrego, asesor de la tesis de investigación titulada " INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CAL HIDRATADA SOBRE LA PLASTICIDAD, DENSIDAD MÁXIMA Y VALOR DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) EN LA CARRETERA MOSTAZAS-CHOCÁN, PROVINCIA DE AYABACA-PIURA-2022", autores

..... EDINSON MANUEL GARCIA CASTILLO, de

constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de...0.2...%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el (día, mes y año).
- He revisado con detalle dicho reporte y la tesis, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las normas establecidas por la Universidad.

Lugar y fecha : Tuzillio 19 de Julio del 2023



EDINSON MANUEL GARCIA CASTILLO  
DNI: 71107509



TITO ALFREDO BURGOS SARMIENTO  
DNI: 42141206  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2143-1566>

**“INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CAL HIDRATADA SOBRE LA PLASTICIDAD,  
DENSIDAD MÁXIMA Y VALOR DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) EN  
LA CARRETERA MOSTAZAS – CHOCÁN, PROVINCIA DE AYABACA – PIURA - 2022”**

**JURADO CALIFICADOR**

---

**ING. Velasquez Diaz Anaximandro  
CIP: 29040  
PRESIDENTE**

---

**ING. Henriquez Ulloa Paul  
CIP: 118101  
SECRETARIO**

---

**ING. Panduro Alvarado Elka  
CIP: 70198  
VOCAL**

---

**ING. Burgos Sarmiento Tito Alfredo  
CIP: 82596  
ASESOR**

## **DEDICATORIA**

A Dios por brindarme salud, sabiduría, constancia, por ser mi guía en el camino correcto para dar este primer paso importante en mi vida profesional, cumpliendo uno de mis primeros sueños más anhelado.

A mis padres, Manuel y Carmen, por haberme criado con buenos valores, por su paciencia y su apoyo incondicional desde el primer día, por brindarle seguridad y creer siempre en mí.

A mi hermana Maryleydi por ser un ejemplo de admiración, por su valentía, perseverancia, grandeza y amor propio, gracias a ella pude lograr mi primera meta.

A mis abuelos por estar presentes en cada etapa de mi vida, por sus sabios consejos , enseñanzas y por ser mi ejemplo de superación, que me alientan para seguir creciendo.

**Br. GARCIA CASTILLO, EDINSON MANUEL**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco en primer lugar a Dios, por cuidar de mí y de mi familia, por guiarme e iluminarme en mi caminar diario, porque es el quien me conduce por el camino correcto, quien me brinda la sabiduría necesaria para poder lograr las metas trazadas en mi vida personal y profesional.

En segundo lugar, agradezco a mis padres , Manuel Garcia Palacios y Carmen Catillo Lalupu, a mi hermana, Maryleydi de los Milagros Garcia Castillo, para una persona muy especial que me acompañó durante estos últimos 6 años, a todos ellos, por su apoyo incondicional, por la educación que me brindaron, por su esfuerzo y sacrificio, por ser ejemplo de superación, son ellos el motor y motivo de seguir adelante.

En tercer lugar, agradezco a mi asesor de tesis Ing. Tito Alfredo Burgos Sarmiento, por compartirme su conocimiento, por su tan valioso tiempo dedicado a mí para el desarrollo de mi tesis .

Finalmente agradezco a esta prestigiosa universidad por haberme permitido formarme en un profesional, a los docentes por haber compartido sus conocimientos durante mi época universitaria.



## RESUMEN

La presente investigación tiene por finalidad describir la incidencia de la adición de cal hidratada en la carretera Mostazas – Chocán. El tipo de investigación resultó aplicativo – cuantitativo. El diseño fue cuasi-experimental. La población del estudio fue la cantera Sole II – Higuerón, ubicada en el distrito de Paimas, provincia de Ayabaca, el material de cantera fue la muestra como patrón y su adición de 2%, 5% y 10% de cal hidratada en peso. El muestreo para fines de la investigación, resultó no probabilístico. Esta investigación durante su desarrollo ha tenido en cuenta estudios previos, realización de relleno con afirmado, las pruebas de laboratorio y el trabajo administrativo. Según la granulometría los principales resultados obtenidos son A-1-a (0) sin el contenido de cal hidratada y A-2-4 (0), A-1-b (0) y A-1-b (b) por el método AASHTO, cada uno contiene 2%, 5% y 10% respectivamente. En relación al proctor modificado, muestran densidades de 2.19 g/cm<sup>3</sup>, 2.22 g/cm<sup>3</sup> y 2.24 g/cm<sup>3</sup> y humedades óptimas de 7.8%, 6.2% y 5%. En pruebas CBR, las mejoras con respecto al 100% de DSM fueron del 48%, 60% y 38%. En cuanto a la densidad de compactación, se utilizaron pruebas de campo mediante el método del cono de arena para determinar el grado de compactación, dando valores de 88.5%, 91.8% y 97.0% respectivamente, corregidos para un contenido de humedad óptimo de 6.45%, 7.87% y 6.03%.

En conclusión, para la adición del 5% en peso de cal hidratada en muestras, mejora las propiedades físicas y mecánicas del afirmado, lo cual influye como factor de unión y mejora el BCR del afirmado y su calidad de compactación.

### **Palabras clave:**

Cal hidratada, Compactación de suelos, Afirmado, CBR, Humedad, Densidad de campo.

## ABSTRACT

The purpose of this research is to describe the incidence of the addition of hydrated lime on the Mostazas - Chocán road. The type of research was applied-quantitative. The design was quasi-experimental. The study population was the quarry Sole II - Higuerón, located in the district of Paimas, province of Ayabaca, the quarry material was the sample as a pattern and its addition of 2%, 5% and 10% of hydrated lime by weight. The sampling for research purposes was non-probabilistic. During its development, this research has taken into account "previous studies, the performance of backfilling with affirmation, the laboratory tests and the administrative work". According to the granulometry the main results obtained are "A-1-a (0) without the content of hydrated lime and A-2-4 (0), A-1-b (0) and A-I-b (b) by the AASHTO method", each containing "2%, 5% and 10 % respectively. Relative to the modified p r o c t o r, they show densities of 2.19 g / c m 3, 2.22 g / c m 3 and 2.24 g / c m 3 and optimum moistures of 7.8%, 6.2% and 5%. In CBR tests, the improvements" with respect to 100% DSM were 48%, 60% and 38%. As for compaction density, "field tests using the sand cone method were used to determine the degree of compaction, giving values of 88.5%, 91.8% and 97.0% respectively, corrected for an optimum moisture content of" 6.45%, 7.87% and 6.03%.

In conclusion, for the addition of 5% by weight of hydrated lime in samples, it improves the "physical and mechanical" properties of the pavement, which influences as a binding factor and improves the BCR of the pavement and its compaction quality.

### **Keywords:**

Hydrated lime, Soil compaction , Affirmed, CBR, Humidity, Field density.

## PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado:

Cumplimiento con los requisitos estipulados en el reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego, pongo a su disposición mi tesis titulada : **“INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CAL HIDRATADA SOBRE LA PLASTICIDAD, DENSIDAD MÁXIMA Y VALOR DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) EN LA CARRETERA MOSTAZAS – CHOCÁN, PROVINCIA DE AYABACA – PIURA - 2022”**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil.

# Contenido

DEDICATORIA.....	VII
AGRADECIMIENTO.....	VIII
RESUMEN .....	IX
ABSTRACT .....	X
PRESENTACIÓN.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XVI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XVIII
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Problema de Investigación .....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos .....	2
1.3. Justificación del Estudio .....	3
II. MARCO DE REFERENCIA .....	5
2.1. Antecedente del estudio .....	5
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	5
2.1.2. Antecedentes Nacionales .....	6
2.2. Marco Teórico .....	7
2.2.1. Obtención de la cal .....	7
2.2.2. Composición de la cal.....	7
2.2.3. Propiedades físicas y químicas de la cal .....	7
2.2.4. Clasificación de carreteras de acuerdo la demanda .....	7
2.2.5. Trochas carrozables.....	9
2.2.6. Afirmados.....	9
2.2.7. Limitación de aplicación .....	10
2.3. “Marco Conceptual” .....	11
2.3.1. Propiedades Físicas y Mecánicas del Suelo.....	11
2.3.2. Estabilización de suelos.....	11
2.3.3. “Tipos de Estabilización de Suelos” .....	12

2.3.4. “Estabilización Mecánica de suelos” .....	12
2.3.5. Estabilización física de suelos .....	12
2.3.6. Estabilización química de suelos .....	12
2.3.7. “Estabilización con cal” .....	13
2.3.8. “Influencia de la cal en las características de los suelos” .....	13
2.3.9. “Influencia de la cal sobre las constantes físicas del suelo” .....	13
2.3.10. Influencia de la cal “sobre la resistencia de los suelos” .....	14
2.3.11. Influencia de la cal sobre la densidad seca de los suelos .....	14
2.3.12. “Determinación del porcentaje óptimo de cal” .....	14
2.3.13. Ensayos a aplicar, según NTP E.050.....	14
2.4. Ensayos a realizar .....	15
2.4.1. “Análisis granulométrico de suelos por tamizado” .....	15
2.4.2. “Determinación del límite líquido del suelo” .....	16
2.4.3. “Determinación de límites de Atterberg” .....	18
2.4.4. “Cálculos de Índice de Plasticidad” .....	18
2.4.5. “Clasificación SUCS ASTM D 2487 – 93” .....	19
2.4.6. “Clasificación AASHTO” .....	20
2.4.7. “Abrasión los Ángeles al desgaste de los agregados” .....	21
2.4.8. CBR “de suelos (laboratorio) MTC E 132” .....	21
2.4.9. “CBR in situ método - penetrómetro dinámico de cono” .....	23
2.4.10. “Compactación de suelos (proctor modificado)” .....	25
2.4.11. “Ensayo de compresión simple / ASTM D2166.06” .....	27
2.4.12. Densidad del suelo in situ y peso unitario -cono de arena” .....	28
2.5. Terminología Complementaria .....	29
2.5.1. Aglomerante.....	29
2.5.2. Valor de soporte.....	29
2.5.3. “Afirmado” .....	29
2.5.4. Procedo de colocación del afirmado: .....	30
2.5.5. Cohesión .....	30
2.5.6. “Colocación y” Extendido .....	30
2.5.7. “Mezcla de materiales” .....	31
2.5.8. Compactación del terreno: .....	31

2.5.9. Agregado Fino .....	32
2.5.10. Agregado grueso:.....	32
2.5.11. Trocha Carrozable .....	32
2.5.12. Compactación .....	32
2.6. Sistema de Hipótesis.....	34
2.6.1. Hipótesis General.....	34
2.6.2. Hipótesis Específicas .....	34
2.7. Variables e Indicadores .....	34
2.7.1. Variable Independiente .....	34
2.7.2. Variable Dependiente.....	35
2.7.3. Operacionalización de Variables.....	36
III. METODOLOGÍA EMPLEADA .....	37
3.1. Tipo y Nivel de investigación .....	37
3.1.1. Métodos y Alcances de la Investigación .....	37
3.1.2. Tipo de Investigación .....	37
3.1.3. Nivel de Investigación .....	37
3.2. Población y Muestra de estudio .....	37
3.2.1. Población .....	37
3.2.2. Muestra .....	37
3.3. Diseño de Investigación .....	38
3.4. Técnicas e Instrumentos de Investigación.....	38
3.4.1. Técnica de Recolección de Datos.....	38
3.4.2. Instrumento de Recolección de Datos .....	38
3.5. Procesamiento y análisis de datos .....	39
IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	42
4.1. Propuesta de Investigación .....	42
4.2. Análisis e Interpretación de Resultados .....	42
4.2.1. Ensayos de laboratorio .....	42
4.2.2. “Análisis granulométrico muestra patrón cantera” Sole II - Higuérón.....	45
4.2.3. “Resultados del análisis granulométrico con” cal hidratada .....	46
4.2.4. “Resultados para límites de Atterberg cantera Sole II - Higuérón .....	49
4.2.5. “Resultados para límites de Atterberg con adición de” cal hidratada .....	50

4.2.6. “Resumen de Límites de Atterberg .....	52
4.2.7. “Proctor modificado muestra patrón sin” cal hidratada.....	53
4.2.8. “Proctor modificado con adición de” cal hidratada .....	54
4.2.9. “Resumen de resultados de Proctor Modificado” .....	56
4.2.10. Resumen de resultados humedad óptima.....	56
4.2.11. “Resultados de CBR – Muestra patrón” .....	57
4.2.12. “Resultados de CBR con adición de” cal hidratada.....	59
4.2.13. Resumen comparativo – Ensayo CBR.....	66
4.2.14. “Ensayo de CBR in situ (PDC) ASTM D695” .....	68
4.2.15. “Ensayo de Compresión Simple para determinación de Cohesión” .....	69
4.2.16. “Densidad de campo - cono de arena MTC E 117” .....	70
4.2.17. “Datos Abrasión los Ángeles (% de desgaste de los materiales)” .....	71
4.3. Docimasia de hipótesis.....	72
4.3.1. “(CBR %, California Bearing Ratio), Afirmado con cal hidratada” .....	72
4.3.2. “CBR % in situ (PDC Afirmado con cal hidratada” .....	77
4.3.3. “Ensayo de compresión simple / cohesión Afirmado con” cal hidratada” .....	80
4.3.4. Grado de compactación, Afirmado con cal hidratada” .....	85
4.3.5. “Verificación Hipótesis General” .....	89
4.3.6. “Verificación Hipótesis Específicas” .....	90
4.4. “Discusión de Resultados” .....	91
CONCLUSIONES.....	93
“RECOMENDACIONES” .....	95
Referencias bibliográficas .....	96
ANEXOS .....	101
ANEXO A: MAPA DE UBICACIÓN .....	101
ANEXO B: PLANO DE LOCALIZACIÓN .....	102
ANEXO B. Instrumento de Recolección de Datos con muestra de cantera. ....	103
ANEXO C. Evidencias de la Ejecución de la Propuesta.....	108

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Evaluaciones de terrenos.....	10
<b>Tabla 2</b>	Ensayos Mínimos de caracterización de suelos .....	15
<b>Tabla 3</b>	Ensayos Especiales y adiciones según ASTM .....	15
<b>Tabla 4</b>	Tamaño de mallas y tamices .....	16
<b>Tabla 5</b>	Factor k para los límites líquidos.....	17
<b>Tabla 6</b>	Clasificación de los suelos por método AASHTO .....	20
<b>Tabla 7</b>	Especificaciones para Proctor modificado –ASTM D-1557 .....	25
<b>Tabla 8</b>	Volúmenes Mínimos del Ensayo según Tamaño Máximo de Partícula. ....	28
<b>Tabla 9</b>	“Cuadro de Operacionalización de Variables” .....	36
<b>Tabla 10</b>	Estudio de Mecánica de Suelos – Normativas a aplicar .....	39
<b>Tabla 11</b>	Resultados de laboratorio muestra patrón .....	43
<b>Tabla 12</b>	“Resultados de ensayos incorporando 2%, 5% y 10% Cal Hidratada.” .....	44
<b>Tabla 13</b>	“Resultados de análisis granulométrico de muestra patrón en laboratorio” ...	45
<b>Tabla 14</b>	“Resultados de análisis granulométrico de cantera + 2% cal hidratada” .....	46
<b>Tabla 15</b>	“Resultados de análisis granulométrico + 5 % cal hidratada.....	47
<b>Tabla 16</b>	“Resultados de análisis granulométrico cantera +10 %” cal hidratada.....	48
<b>Tabla 17</b>	“Resultados CBR, muestra patrón sin” cal hidratada .....	58
<b>Tabla 18</b>	“Resultados CBR, muestra patrón +2% cal hidratada.....	60
<b>Tabla 19</b>	“Resultados CBR, muestra patrón +5% cal hidratada.....	62
<b>Tabla 20</b>	“Resultados CBR, muestra patrón +10%” cal hidratada .....	64
<b>Tabla 21</b>	“Resultados de laboratorio CBR. In situ” .....	68
<b>Tabla 22</b>	“Resultados de ensayo de compresión simple para Determinar la” cohesión	69



<b>Tabla 23</b> Resumen de resultados de densidad de campo .....	71
<b>Tabla 24</b> “Resultado de abrasión de los Ángeles” .....	72
<b>Tabla 25</b> “Descriptivos - CBR % (ensayo de laboratorio)” .....	72
<b>Tabla 26</b> “Prueba de normalidad - CBR % (ensayo de laboratorio)” .....	74
<b>Tabla 27</b> “Correlaciones - CBR % (ensayo de laboratorio)” .....	76
<b>Tabla 28</b> “Descriptivos - CBR % (ensayo In situ)” .....	77
<b>Tabla 29</b> “Prueba de normalidad - CBR % (ensayo In situ)” .....	78
<b>Tabla 30</b> “Correlaciones - CBR % (ensayo In situ)” .....	79
<b>Tabla 31</b> “Descriptivos – Compresión simple kg/cm <sup>2</sup> ” .....	81
<b>Tabla 32</b> “Prueba de normalidad - Compresión simple kg/cm <sup>2</sup> ” .....	82
<b>Tabla 33</b> Correlaciones - Compresión simple kg/cm <sup>2</sup> .....	84
<b>Tabla 34</b> “Descriptivos” - Grado de compactación cono de arena. % .....	85
<b>Tabla 35</b> “Prueba de normalidad” - Grado de compactación cono de arena. % .....	86
<b>Tabla 36</b> Correlaciones - Grado de compactación por cono de arena. % .....	87
<b>Tabla 37</b> “Resultados de CBR muestra patrón y Cal hidratada al 2%, 5% y 10%”. .....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Prueba de límite líquido y plástico. Fuente MTC (2008).....	17
<b>Figura 2</b> Carta de plasticidad. “Fuente: LMS-FIC-UNI, 2006.” .....	20
<b>Figura 3</b> “Molde para ensayo de CBR. Fuente: MTC (2008)” .....	22
<b>Figura 4</b> “Ensayo de CBR. Fuente MTC (2008).” .....	23
<b>Figura 5</b> “Fuente: ASTM D 6951 – 03, (2003, paginación 1 – 2).” .....	24
<b>Figura 6</b> Curva para la humedad óptima. Fuente MTC 2005.....	27
<b>Figura 7</b> “Extendido y compactación de material - Mejoramiento de la carretera” .....	30
<b>Figura 8</b> “Extendido de material- Mejoramiento de la carretera” .....	31
<b>Figura 9</b> “Rodillo Vibratorio, mejoramiento de la carretera” Exigencias de Espesor:....	31
<b>Figura 10</b> “Agregado grueso” - sitio de acopio.....	32
<b>Figura 11</b> Trocha Carrozable.....	32
<b>Figura 12</b> Tipos de compactadores. Fuente: dynapac.blog.....	33
<b>Figura 13</b> “Aparato de densidad de campo cono de arena” .....	33
<b>Figura 14</b> <i>Esquema de trabajo de tesis</i> .....	41
<b>Figura 15</b> “Curva granulométrica para suelo A-1- a (0) de muestra patrón” .....	45
<b>Figura 16</b> “ <i>Curva granulométrica suelo A- 2- 4 (0) + 2% cal hidratada.</i> ”.....	47
<b>Figura 17</b> “ <i>Curva granulométrica suelo A- 2- 4 (0) + 5% cal hidratada.</i> .....	48
<b>Figura 18</b> “Curva granulométrica suelo A-I-b (0) + 10% cal hidratada.”.....	49
<b>Figura 19</b> “Límite líquido con muestra patrón sin cal hidratada” .....	49
<b>Figura 20</b> “Límite líquido con muestra patrón +2 % cal hidratada.” .....	50
<b>Figura 21</b> “Límite líquido con muestra patrón +5% cal hidratada.” .....	51
<b>Figura 22</b> “Límite líquido con muestra patrón +10% cal hidratada.” .....	51

<b>Figura 23</b> Sinopsis “resultados experimento Limite Liquido” .....	52
<b>Figura 24</b> Sinopsis “resultados Limite Plástico.” .....	52
<b>Figura 25</b> Sinopsis “resultados Índice de plasticidad.” .....	53
<b>Figura 26</b> “Curva de compacidad de muestra patrón sin cal hidratada” .....	53
<b>Figura 27</b> “Curva de compacidad de muestra patrón +2% cal hidratada.” .....	54
<b>Figura 28</b> “Curva de compactación de muestra patrón +5% cal hidratada” .....	55
<b>Figura 29</b> “Curva de compactación de muestra patrón +10% cal hidratada” .....	55
<b>Figura 30</b> Sinopsis “de resultados ensayo de Proctor Modificado.” .....	56
<b>Figura 31</b> Sinopsis “de resultados de Humedad óptima.” .....	56
<b>Figura 32</b> “Densidad máxima seca – CBR 100%,95% Y 90%.” .....	57
<b>Figura 33</b> “Curva esfuerzo – penetración, muestra patrón sin cal hidratada.” .....	59
<b>Figura 34</b> “Densidad máxima seca – CBR 100%,95% Y 90%.” .....	60
<b>Figura 35</b> “Curva esfuerzo – penetración, muestra patrón +2% de cal hidratada.” .....	61
<b>Figura 36</b> “Densidad máxima seca – CBR 100%,95% Y 90%.” .....	62
<b>Figura 37</b> “Curva esfuerzo – penetración, muestra patrón +5% cal hidratada.” .....	63
<b>Figura 38</b> “Densidad máxima seca – CBR 100%,95% Y 90%.” .....	64
<b>Figura 39</b> “curva esfuerzo – penetración, muestra patrón +10% de cal hidratada.” .....	65
<b>Figura 40</b> “Resumen de CBR al 100% de M.D.S 0.1”- 0.2”.” .....	66
<b>Figura 41</b> “Resumen de CBR al 95% de M.D.S 0.1”- 0.2”.” .....	66
<b>Figura 42</b> “Resumen de CBR al 90% de M.D.S 0.1”- 0.2”.” .....	67
<b>Figura 43</b> “Curva esfuerzo – penetración, muestra patrón, 2%,5%,10% cal hidratada”	67
<b>Figura 44</b> “Curva de CBR. In situ. Fuente: Elaboración Propia” .....	68
<b>Figura 45</b> Sinopsis “de ensayo CBR. In situ. Fuente: Elaboración Propia” .....	69
<b>Figura 46</b> Sinopsis “de ensayo de compresión simple para determinar la cohesión.” ..	70

<b>Figura 47</b>	“Curva cohesión – adición cal hidratada muestra patrón, 2%,5%,10%.”	70
<b>Figura 48</b>	Sinopsis “de resultados ensayo de Densidad de campo”	71
<b>Figura 49</b>	“Diagrama de bigotes - CBR % (ensayo de laboratorio).”	75
<b>Figura 50</b>	Diagrama de dispersión - CBR % (ensayo de laboratorio).	76
<b>Figura 51</b>	“Diagrama de bigotes - CBR % (ensayo In situ).”	79
<b>Figura 52</b>	“Diagrama de dispersión - CBR % (ensayo In situ).”	80
<b>Figura 53</b>	“Diagrama de bigotes - Compresión simple kg/cm <sup>2</sup> ”	83
<b>Figura 54</b>	“Diagrama de dispersión - Compresión simple kg/cm <sup>2</sup> .”	84
<b>Figura 55</b>	“Diagrama de bigotes” - Grado de compactación por cono de arena. %	87
<b>Figura 56</b>	“Diagrama de dispersión” - Grado de compactación %”	89

# I. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Problema de Investigación

Debido a la variabilidad de suelos en donde se ejecutan proyectos viales a nivel mundial, han surgido diversas metodologías de estabilización de los suelos nativos encontrados en los sectores de aplicación de los mismos. Entre las más comunes son: Estabilización física, mecánica y químicas. Siendo estas tres dependientes al aditivo o material adicional a emplear para asegurar propiedades óptimas del suelo de fundación para proyectos a detalle final de infraestructura vial.

En tal sentido, debido a la amplia presencia de suelos arcillosos en Latinoamérica, por la presencia de sectores con densa vegetación y en contacto directo con cuerpos de agua como ríos o lagos, es que estas aplicaciones han sido desarrolladas de manera diversificada a nivel de Sudamérica. Siendo en nuestro país, aplicado en sectores como la parte selva y parte norte por su afección con el fenómeno del niño. Además del desarrollo de actividades económicas cercanas a puertos y/o vías de acceso costeros peruanos.

Esto da como resultado un alto porcentaje de pavimentos deteriorados a nivel nacional que presentan poca durabilidad en el transcurso de su vida útil (Angulo R. & Zavaleta P., 2019). Junto con las áreas ya pavimentadas que contienen capara que contiene rodadura (como ladrillos, limo ladrillos y arenas con un alto contenido de ladrillos), esto requiere investigar las características físicas y mecánicas del suelo. Las áreas tratadas son las que se ubican a lo largo de la carretera Mostazas-Chocán en el distrito y provincia de Ayabaca, Departamento de Piura.

Por otro lado, se ha establecido a través de numerosos estudios que la estabilización del suelo mediante el uso de calcio hidratado da como resultado una proporción del mismo, dependiendo del peso del suelo. reduciendo el IP (Indicador de Plasticidad) del suelo de estudio natural en el proceso. Además, la humedad disminuye a medida que la CBR (California Bearing Ratio, también conocida como California Support Value, que mide la resistencia al corte del suelo en condiciones de humedad y densidad controladas) se compacta y

aumenta de valor. Adicionalmente, la disminución en el costo de la estabilización por combinación de estabilización del suelo fue reemplazada por estabilización química del suelo mediante la aplicación de calcio hidratado (Suricachi A., 2017).

El tramo de carretera Mostazas – Chocán conecta localidades aledañas a la vía; por lo cual, se permite un intercambio comercial entre las mismas. Sin embargo, debido al mal estado de la vía, ésta se vuelve intransitable. Es por ello que, se pretende mejorar la calidad a nivel de afirmado de la vía, mediante el uso de cal viva e hidratada, como material estabilizador para la conformación del afirmado de la mencionada carretera.

Por otro lado, el acceso a la zona es mediante la carretera Piura – Sullana Ruta Nacional PE – 1N, continuando con la vía Nacional 1NL, desde Sullana Hasta Cruce Macara, Continuando por la red Vial PE – 1 NT, desde el cruce Sajinos (Suyo) Pasando por el distrito de Paimas hasta la llegada a la ciudad de Ayabaca, para continuar desde la plaza de armas de la ciudad de Ayabaca y continuando por la vía asfáltica PE -1 NT, hasta llegar a El Coco, continuando por el camino de la izquierda, continuando por la misma vía hasta llegar a Chocán (Gómez G., 2021).

En la presente investigación, se pretende identificar la variabilidad en las propiedades físicas y mecánicas (las cuales son: Plasticidad, Densidad Máxima, Contenido de Arcillas y Valor de Relación de Soporte de California CBR ) del afirmado de la carretera Mostazas Chocán, aplicando cal hidratada en dosis 2%, 5% y 10% con respecto al peso. Además, el muestreo resulta no probabilístico por fines de financiación propia del proyecto .

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar la influencia de la adición de cal hidratada sobre la plasticidad, densidad máxima, contenido de arcillas y valor de relación de soporte de California (CBR) en la carretera Mostazas – Chocán, ubicado en el distrito y provincia de Ayabaca, departamento de Piura, 2022.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- a) Determinar los límites plásticos y líquidos a partir de ensayos de caracterización de suelos, clasificación SUCS, clasificación AASHTO,

contenido de humedad y peso unitario del afirmado de la vía Mostazas Chocán.

- b) Determinar el CBR en campo y laboratorio A partir de ensayos especiales, utilizando el molde para ensayo CBR.
- c) Determinar el grado de compactación en laboratorio y campo utilizando Proctor modificado y ensayo de cono de arena, respectivamente.
- d) Determinar propiedades de caracterización de suelos, ensayos especiales y grado de compactación adicionando dosis de cal hidratada de 2%, 5% y 10%.
- e) Realizar evaluación comparativa entre resultados del afirmado sin adición y con adición de cal hidratada.

### **1.3. Justificación del Estudio**

Ambientalmente, se reducirá notablemente los costos por mantenimiento del afirmado del tramo de carretera Mostazas – Chocán, a pesar del período de lluvias y los daños ocasionados por el fenómeno del niño, el cual es muy variado en diversas temporadas. Por otro lado, la contaminación del aire será mitigada, gracias a la estabilización del afirmado mediante la cal hidratada. Evitando de esta manera la polución por partículas finas en suspensión durante el desarrollo del tránsito en la carretera en estudio. Por otro lado, el impacto del agua del lugar, no será de suma importancia, debido a que los trabajos de estabilización de afirmado con cal se realizarán en épocas de ausencia de lluvias.

Económicamente, logrará una mayor perpetuabilidad de la carretera Mostazas – Chocán, logrando consolidar un flujo constante de dinamismo económico del sector agrícola. Así mismo, se brindará mayores facilidades para la implementación de tecnologías, y la generación de mercados competitivos para las localidades Mostazas – Chocán.

Teóricamente, es factible realizar un estudio que determine la influencia de la cal aplicada en proporciones en peso variables, al material nativo donde se pretenda ejecutar un proyecto vial. Para ello, se plantea el uso de la normativa NTP que establece los ensayos básicos para caracterización de suelos los cuales son: Peso Unitario, humedad, gravedad específica y granulometría. Por otro lado, existen investigaciones que indican la manera correcta para adicionar el material estabilizador de suelos a las muestras para su análisis.

Académicamente, la estabilización del suelo donde se asienta el proyecto vial Mostazas – Chocán, comprende varias definiciones desde el desarrollo económico entre estos sectores rurales ubicados en el distrito de Ayabaca, departamento de Piura . Por ello, resulta complejo analizar y justificar un estudio de estabilización de afirmado de vía.

Tecnológicamente, la aplicación de una metodología para mejorar las condiciones de transitabilidad vehicular en el tramo de carretera afirmada entre las Localidades de Mostazas – Chocán permitirá la replicación de esta ingeniería en otras vías a nivel de afirmado ubicadas en zonas aledañas al presente estudio.



## **II. MARCO DE REFERENCIA**

### **2.1. Antecedente del estudio**

#### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

En la tesis de Maestría de Porrtaluppi L. (2019) titulado “Estudio del comportamiento mecánico mediante ensayos cíclicos de suelos arcillosos del Bajo Chato estabilizados con cal”, planteó como objetivo principal estudiar el comportamiento mecánico de suelos arcillosos del bajo chaco estabilizados con cal a partir de ensayos cíclicos para su aplicación en obras viales. La metodología fue experimental. Las variables de la presente investigación fueron: Suelo, cal y ensayos cíclicos. En los resultados, menciona el autor que, en la adición de cal, se observaron que a medida que aumentan los contenidos de cal se obtienen valores de resistencias a compresión simple mayores. Este aumento es más notorio entre los contenidos de cal de 5% y 8%, mientras que para contenidos de cal entre 8% y 11% los aumentos que se presentan son menos significativos. La investigación concluye que, a medida que aumentan los contenidos de cal se obtienen valores de pérdida de masa menores. Esta diferencia es mayor con contenidos de cal de 5% y 8%, mientras que para contenidos de cal entre 8% y 11% las diferencias son menos significativas.

En la tesis de pregrado de Garzón & Lugo (2019) titulado “Análisis geomecánico de un material granular estabilizado con ceniza vegetal y cal; para su uso en las vías terciarias del corregimiento de caño chiquito en Paz de Ariporo, Casanare” Planteó como objetivo principal Analizar la durabilidad, resistencia y estabilidad de un suelo estabilizado con ceniza vegetal y cal, en el corregimiento de Caño Chiquito en el municipio Paz de Ariporo – Casanare. Este estudio considera un enfoque cuantitativo y una metodología a nivel experimental. La investigación contempla como variables, ceniza vegetal y cal, junto a las vías terciarias de la unidad de estudio. Como resultado de la investigación, se pudo determinar que el suelo es una grava bien graduada, no posee límite líquido ni plástico y las características geomecánicas como la densidad seca es de 2.1 gr/cm<sup>3</sup> , humedad óptima del 7.7%, materia orgánica del 0.29% y un CBR del 78%. Esto quiere decir que el material es aceptable para

usar como material de subbase según el Invías. Finalmente , los autores señalan que El suelo estabilizado con ceniza vegetal y cal mejora las características mecánicas del suelo, debido a la reacción puzolánica de los aditivos y a la disminución de la relación de los vacíos puesto que la cal y la ceniza volante llena gran parte de los poros del suelo. Esto permite que las vías realizadas con el suelo estabilizado sean más estables y duradera.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

En la tesis de pregrado de Tantaquilla & Valdivia “(2019), titulado “Comparación entre las influencias de cal hidratada y aditivo Quim KD-40 para estabilización de suelos arcillosos como capa subrasante en pavimentos flexibles, Huamachuco – Cajabamba 2019” se establece como objetivo principal Comparar la influencia entre los aditivos cal hidratada y QUIM KD-40 para la estabilización de suelos arcillosos como capa subrasante en pavimentos flexibles, Huamachuco-Cajabamba 2019. La investigación contempla como variables cal hidratada, QUIM KD-40, capa subrasante y pavimentos flexibles. Se concluyó “que Se determinó que al adicionar cal en un 2% mejora significativamente las propiedades físicas del suelo, mediante el ensayo CBR realizado para las C1 pasando de un CBR=3.70% (Subrasante Insuficiente) a un CBR=16.91% (Subrasante buena), para la C3 pasando de un CBR=3.86% (Subrasante Insuficiente) a un CBR=16.41% (Subrasante Buena), para la C5 CBR=4.03% (Subrasante Insuficiente) a un CBR=15.90% (Subrasante Buena), y para la C7 CBR=1.83% (Subrasante Inadecuada) a un CBR=14.21% (Subrasante Buena), y al adicionar 2% de Quim kd-40 también mejora significativamente las propiedades físicas del suelo mediante el ensayo CBR realizado para las C1 pasando de un CBR=3.70% (Subrasante Insuficiente) a un CBR=18.27% (Subrasante buena), para la C3 pasando de un CBR=3.86% (Subrasante Insuficiente) a un CBR=17.25% (Subrasante Buena), para la C5 CBR=4.03% (Subrasante Insuficiente) a un CBR=21.48% (Subrasante Buena), y para la C7 CBR=1.83% (Subrasante Inadecuada) a un CBR=13.53% (Subrasante Buena). Y se concluye que las mejores mejoras en una adición de 2% se obtienen con el aditivo Quim kd-40.

Moale Q. (2019), "en su tesis de pregrado" "Estabilización química de suelos arcillosos con cal para su uso como subrasante en vas terrestres de la localidad de Villa Rica", indica, al agregar 15% de carbonato de calcio al suelo, establece un incremento del 95% en el valor natural de CBR del 78,8%. La investigación contempla como variables las siguientes: Suelos arcillosos de la localidad de Villa Rica y la cal. En los resultados, se establece que la densidad seca máxima aumenta al aumentar los porcentajes de cal. Esto se debe a que la cal era más terrible que el suelo. Sin embargo, al construir sobre un suelo estabilizado con calcio, se reduce el espesor de una futura estructura de pavimento. Y como valor adicional, el costo en movimiento de tierras disminuye al aplicar la técnica de estabilización con cal.

## **2.2. Marco Teórico**

### **2.2.1. Obtención de la cal**

Se crea calentando roca de caliza a temperaturas muy altas (alrededor de 900 grados centígrados) en hornos especializados diseñados y operados para ese propósito (normalmente hornos de tipo vertical o rotativo).

### **2.2.2. Composición de la cal**

El cal es una sustancia aglomerante de alta alcalinidad, similar al cemento y al yeso. Se origina a partir de carbonato de calcio o roca de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), que se somete a calcinación para producir óxido de calcio o calcio vivo ( $\text{CaO}$ ), un subproducto químicamente inestable.

### **2.2.3. Propiedades físicas y químicas de la cal**

Cristales, granos blandos o polvo blanco; inodoro e incoloro. Su punto de fusión es de 580° C grados centígrados, tiene una densidad de 2,24 gramos por centímetro cúbico. Tiene un nivel de pH de 12.4.

### **2.2.4. Clasificación de carreteras de acuerdo la demanda**

Se llevará a cabo un estudio de tráfico adecuado utilizando como base un diseño o afirmación de alfombra asfáltica adecuada y, utilizando esa

información, se realizarán proyecciones basadas en la demanda. Manual de carreteras: División Geométrica (2018 pág. 12).

### ***Autopistas de primera clase***

Las rutas certificadas por el IMDA (Índice Medio Diario Anual) incluyen cruces que están divididos por un separador central que divide la ruta en segmentos de menos de 6 metros de longitud. Los cruces cuentan con dos o más carriles de al menos 3,60 metros de altura, y la entrada y salida de vehículos está controlada en todo el recorrido por pasos a desnivel vehicular. No hay nivel ni pasos elevados, aunque hay puentes de turberas en áreas metropolitanas. Manual de carreteras: Diseño Geométrico 2018 (pág. 12).

### ***Autopistas de segunda clase***

Rutas con IMDA entre 6000 y 4001 ve h/día, de seis carriles a un carril, se realizan con la ayuda de un sistema de parador estacionario. Para ello, se utiliza un sistema de cerramiento de vehículos estacionarios. Cada carril está formado por dos o más carriles de al menos 3,60 metros de altura, y además cuenta con un sistema de control de acceso primario (en forma de portones que permiten el paso de vehículos de lujo). A diferencia de los anteriores, estos son capaces de soportar tanto el tránsito peatonal como vehicular, así como las farolas de turba en áreas metropolitanas. Manual de carreteras: Diseño Geométrico 2018 (p. 12).

### ***Carreteras de 1ra. Clase***

Estas carreteras se clasifican según su IMDA, el cual va de 4000 a 2001 vehículos al día. Estas vías cuentan con dos carriles y alzadas, cada una con una altura mínima de 3,60 metros. Es aceptable que tengan pasos a nivel, y en las zonas zonificadas se recomienda instalar barreras peatonales o, en su defecto, utilizar señales de semáforo y otros medios de seguridad vehicular. Esto se hace para garantizar que la velocidad de viaje esté dentro de los límites legalmente permitidos. Estos caminos cuentan con la calidad suprema de calzada de hormigón pavimentado. Manual de carreteras: Diseño Geométrico 2018 (p. 12).

### **Carreteras de 2da. Clase**

Estas carreteras se clasifican según si tienen un IMDA de 200 a 400 vehículos por día. La altura mínima de los dos carriles será de 3,30 m vestidos. Está bien que tengan puentes que sean extremadamente angostos. Se aconseja la instalación de peatonales o, en su defecto, la utilización de semáforos y otras medidas de seguridad perimetral. Estas vías cuentan con la suprema calidad del pavimento de hormigón. Manual de carreteras. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018.

### **Carreteras de 3ra. Clase**

Estas carreteras también se clasifican según su IMDA, si es inferior a 400 vehículos por día. La altura mínima de los dos carriles será de 3,00 metros, como mínimo en la prenda. Excepcionalmente, se permite que las vías de tercera clase tengan bordillos de 2,50 metros de altura, pero dichas vías deben tener una base técnica sólida. Manual de carreteras: Diseño Geométrico 2018 (p. 12).

#### **2.2.5. Trochas carrozables**

Las rutas de tránsito menos complejas carecen de las características geométricas que posee un carretero, lo que hace que las trochas carrozables sean sencillas. Suelen tener un IMDA de 20 Veh/día o menos. Puede que no sea necesario hacer valer el tope medible. Manual de carreteras: Diseño Geométrico (2018) (pág. 13).

#### **2.2.6. Afirmados**

El artículo reclamado es una capa compactada de material procesado, granular o natural con el propósito de soportar peso y soportar esfuerzos de transporte. Esta capa debe estar lo suficientemente reforzada con material cohesivo fino para evitar que las partículas individuales del material se aglutinen (MTC, 2013 pág. 23) (MTC, 2013).

Existen diversas investigaciones que detallan el proceso de mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de un suelo con propósitos ingenieriles, mediante su interacción con otros elementos. Así mismo, resulta conveniente establecer que, la estabilización de suelo es un proceso constructivo que

permite mejorar la condición de trabajabilidad del suelo con relación a su estabilidad y resistencia, lo cual resulta importante para el desarrollo de asentamiento de obras civiles estructurales, viales e hidráulicas.

Por otro lado, el proceso de estabilización de suelo es definido como la capacidad de soporte de cargas bajo condiciones externas como el cambio de temperatura, altas condiciones de saturación por presencia de nivel freático. Siendo el suelo capaz de resistir bajo estas condiciones, deformaciones con ausencia de desgaste inmediato. Un suelo expuesto a clima desfavorable y a un grado de saturación por presencia de capa freática a nivel de subsuelo, es seleccionado para aplicar metodologías como sustitución de suelos, combinación de suelos o modificación de sus propiedades mediante técnicas de estabilización (Angulo R. & Zavaleta P., 2020).

Así mismo, resulta importante mencionar que, la cal hidratada influye de manera significativa sobre las propiedades de caracterización de suelos como: contenido de arcillas, plasticidad del suelo, y peso unitario del suelo. Por otro lado, resulta evidente que las propiedades de compactación también varían al adicionar cal al suelo, siendo un actuante rápido para alcanzar grados de compactación óptimos en el suelo. Así mismo, influye en los valores de CBR y otras condiciones especiales como expansión de suelos (Angulo R. & Zavaleta P., 2019).

### 2.2.7. Limitación de aplicación

El estudio aplica al suelo de la vía Mostazas – Chocán a nivel de afirmado, ubicado en el distrito y provincia de Ayabaca, departamento de Piura.

La capacidad de soporte del suelo es comparada mediante el siguiente cuadro:

**Tabla 1** *Evaluaciones de terrenos*

"CBR	CLASIFICACION
<3%	Subrasante inadecuada
≥3% a <6%	Subrasante insuficiente
≥6% a <10%	Subrasante regular
≥10% a <20%	Subrasante buena
≥20% a <30%	Subrasante muy buena
≥30%	Subrasante excelente

\*Se establece los límites de CBR, según el MTC y Project Management Peru S.A.C.

Fuente: Provias Nacional – Diseño de Pavimentos 2015

## **2.3. Marco Conceptual**

### **2.3.1. Propiedades Físicas y Mecánicas del Suelo**

Es imperativo definir que Las características físicas del suelo son las que se utilizan para definirlo. Los más importantes y de amplia aplicación son la humedad y la concentración de polvo. Una clasificación de arenas (basada en AASHTO y SUCS) y gravedad específica de sólidos (SENCICO, 2020).

En contraste, la cohesión del suelo y el ángulo de fricción interna caracterizan las propiedades mecánicas del suelo, según E.050 (SENCICO, 2020).

### **2.3.2. Estabilización de suelos**

Es posible lograr mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo con propósitos ingenieriles, mediante la aplicación de diversos materiales como: cal, cemento , asfalto, entre otros.

Por otro lado, es posible establecer que, la estabilización de suelos resulta una técnica de construcción para mejorar las propiedades en general del suelo, su trabajabilidad, estabilidad y resistencia al corte, lo cual resulta de suma importancia para el asentamiento de estructuras como carpetas asfálticas, edificaciones y diversas obras civiles. Adicionalmente, resulta importante identificar que estabilización de suelos se conoce como la capacidad de soportar cargas bajo condiciones como cambios repentinos de temperatura, altas condiciones de saturación por presencia de nivel freático. Siendo bajo estas condiciones el suelo, capaz para resistir deformaciones con ausencia de un desgaste instantáneo. Un suelo que reúna las características desfavorables como el clima y saturación a nivel de subsuelo, es un candidato idóneo para aplicar las metodologías de: Sustitución de suelos, combinación de suelos y modificación de las propiedades del suelo mediante técnicas de estabilización (Angulo R. & Zavaleta P., 2020).

### **2.3.3. Tipos de Estabilización de Suelos**

Existe la estabilización mecánica con metodologías como Amasado, Impactos de carga, presión estática, vibración. También, se tiene la estabilización física con metodologías como combinación o mezcla de suelos, sustitución de suelos y geo sintéticos. Luego está la estabilización química, que incluye técnicas como la estabilización con calcio, la estabilización con cemento, la estabilización con sílice amorfa, la estabilización con cloruro de sodio, la estabilización con cloruro de magnesio y la estabilización con lodos. (Angulo R. & Zavaleta P., 2020).

### **2.3.4. Estabilización Mecánica de suelos**

consiste en utilizar la compactación para mejorar la sustancia del suelo existente sin alterar su estructura o composición. Esto da como resultado la reducción del contenido de vacíos del suelo, el aumento de la resistencia al corte del suelo y el aumento de la densidad del suelo. Logrando de esta manera, mejorar y equiparar la distribución de fuerzas actuantes en el suelo. De esta manera, se evitan asentamientos pronunciados y puntuales sobre la estructura del suelo.

Es importante considerar: tipo de suelo, espesor de capa, número de pasadas de compactación.

Las técnicas comunes son: Amasado, Impactos de carga, presión estática y vibración.

### **2.3.5. Estabilización física de suelos**

Como su nombre indica, se busca estabilizar un suelo modificando sus propiedades físicas. Las metodologías utilizadas son: Combinación o mezcla de suelos, sustitución de suelos y uso de geo sintéticos.

### **2.3.6. Estabilización química de suelos**

Se utilizan estabilizadores químicos como cemento Portland, asfalto, cal, cenizas, escorias, entre otros. Al hacer esto, será posible cambiar las características y propiedades del suelo y mejorar su capacidad de carga para el crecimiento de su vida útil. Las técnicas más populares son: Los ejemplos de



técnicas de estabilización incluyen el uso de calor, cemento, hormigón secado al aire, cal, calcio, magnesio y agua congelada.

### **2.3.7. Estabilización con cal**

El suelo, la cal y el agua se combinan para producir estabilización. El calcio se puede usar en sus muchas formas, incluyendo cal viva (óxido de calcio), cal hidratada (hidróxido de calcio) y lechada de cal. Es importante mencionar que, la cal hidratada reacciona con las arcillas, logrando formar una mezcla cementante óptima para mejorar la resistencia del suelo.

Al obtener este material cementante por la adición de cal hidratada, se logra disminuir el índice de plasticidad (IP) del suelo, pérdida de humedad del suelo logrando mejorar la productividad de la compactación del suelo en obra, permite alcanzar una estabilidad de suelos cohesivos, e incremento de las resistencias del suelo (corte, compresión y CBR) (Angulo R. & Zavaleta P., 2020).

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

Se ha registrado las siguientes modificaciones en los suelos mezclados con cal (Angulo R. & Zavaleta P., 2020):

- Modificación de película de agua que rodea minerales de arcilla.
- Mejora la floculación de partículas del suelo.
- Modifica los componentes químicos del suelo, para conformar otros competentes para su uso en obras civiles.

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

Se registran las siguientes influencias que otorga la cal a los suelos (Angulo R. & Zavaleta P., 2020):

Modificación de la plasticidad del suelo (para suelos con  $I_p < 15$ , la cal logra incrementar el límite líquido del suelo. Por otro lado, para suelos con  $I_p > 15$ , logra reducir este índice e incrementa su Índice Plástico).

Debido a que la cal mejora la condición de floculación del suelo arcilloso, es que se reduce el índice de contracción y de razón de contracción del suelo.

Al compactar una muestra de suelo mezclado con sal, se logra obtener una menor densidad seca (hasta 5%).

### **2.3.10. Influencia de la cal sobre la resistencia de los suelos**

Es bien sabido que la cal logra disminuir el grado de compactación de suelos. Sin embargo, esto no ocurre con la capacidad resistente del suelo. Por lo tanto, al adicionar cal al suelo, se produce un incremento en la resistencia del suelo.

### **2.3.11. Influencia de la cal sobre la densidad seca de los suelos**

Al compactar un suelo con cal, la densidad seca se reduce hasta alcanzar valores de hasta en 5%.

### **2.3.12. Determinación del porcentaje óptimo de cal**

De manera evidente, la cantidad de cal deberá ser menor para lograr modificar las propiedades de un suelo. Por ello, la cantidad de cal que interactúe con un suelo, dependerá de la demanda del proyecto en estudio.

Considere que el objetivo de agregar calcio al suelo es hacerlo más resistente a las fuerzas normales y tangenciales y menos propenso a agrietarse al compactar el suelo.

Para cuantificar la resistencia del suelo a las cargas normales y tangenciales, se pueden utilizar varias pruebas, incluida la prueba de relación de carga de California (CBR), la prueba de compresión no confinada y la prueba de compresión triaxial, entre otros. Se debe comparar los valores de resistencia versus las cantidades de cal adicionadas al suelo.

Finalmente, la cantidad recomendable de cal para un tipo de suelo, será aquella que considere una menor cantidad porcentual de cal. Adicionalmente, considerar aumentar a este porcentaje, una cantidad porcentual de 0.5, 1 o hasta 2% por concepto de desperdicios durante procesos constructivos (Angulo R. & Zavaleta P., 2020).

### **2.3.13. Ensayos a aplicar, según NTP E.050.**

La NTP E.050 Suelos y Cimentaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones especifica las pruebas que se deben realizar para un estudio de Mecánica de Suelos. Además, se establecen más ejemplos en el Manual de

Diseño de Puentes y Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

**Tabla 2** *Ensayos Mínimos de caracterización de suelos*

Ensayos de Caracterización de Suelos	
Procedimiento de prueba para análisis granulométrico	NTP 339.128
Método para probar el sebo para determinar su índice de líquido, plástico y plasticidad.	NTP 339.129
SUELOS. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo a las partículas sólidas de un suelo.	NTP 339.131
El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUELO) es una metodología para clasificar suelos con fines de ingeniería.	NTP 339.134

Fuente: E.050 Suelos y Cimentaciones

**Tabla 3** *Ensayos Especiales y adiciones según ASTM*

Ensayos Especiales	
ASTM D-1883	California Bearing Ratio (CBR)
ASTM D-1557	Ensayo Proctor Modificado
ASTM D-1556-07	Ensayo de Cono de Arena
ASTM D-3282	Clasificación AASHTO

Fuente: Elaboración Propia.

## 2.4. Ensayos a realizar

### 2.4.1. Análisis granulométrico de suelos por tamizado

De acuerdo con el Manual de Ingeniería de Materiales (2016), el objetivo del análisis granulométrico es determinar de manera cuantitativa cómo la distribución de los componentes del sistema se ve afectada por su temperatura. Esto se logra a través de pasos metódicos donde se calcula el porcentaje de suelo que pasa por varios tamices. Esto nos permitirá clasificar el suelo con mayor precisión y utilizar plenamente sus muchas características. El método consiste en obtener una muestra y utilizar varios tamices para guiarla a una selección; los resultados se muestran en un gráfico que muestra la relación entre el tamaño de la muestra y el porcentaje de transferencia acumulada, donde podemos ver la curva granulométrica. La clasificación que resulta de este estudio nos proporciona unas suelas con diversas características para su mejor aprovechamiento , Pérez A.(2018).

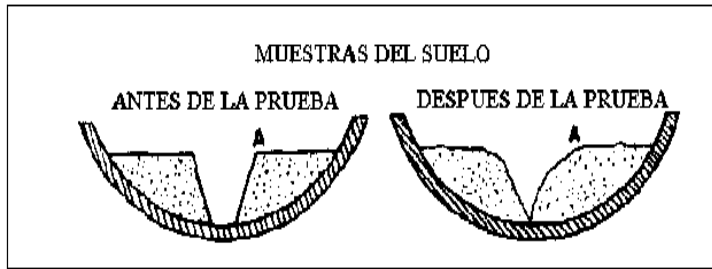
**Tabla 4** *Tamaño de mallas y tamices*

<i>Tamices</i>	<i>Abertura (mm)</i>
3"	b75,000
2"	b 50,800
1 ½ "	b38,100
1 "	b25,400
¾ "	b19,000
3/8	b9,500
N° 4	b4,760
N° 10	b2,000
N° 20	b0,840
N° 40	b0,425
N° 60	b0,260
N° 140	b0,106
N° 200	b0,075

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales (P.44)

#### **2.4.2. Determinación del límite líquido del suelo**

Según el M Anuario de Ingeniería Eléctrica y Mecánica (2016), el límite líquido sería la cantidad de humedad expresada en porcentaje , lo que situaría a la sustancia en estudio entre un estado líquido y un estado sólido (sólido altamente deformable). Al mismo tiempo, este límite líquido puede alcanzarse utilizando una cuchara o bandeja Casagrande, que está diseñada para ejercer 0,01 KN/m<sup>2</sup> de fuerza en cada golpe si se deja caer desde una altura de 1 cm . Después de 25 tiros, si el suelo se rompe, el jugador ha llegado a su límite de fluidez. Este método es muy utilizado en ingeniería para clasificar y caracterizar fracturas granulométricas de acuerdo con las recomendaciones del manual (SUCS Y ASHTO). Las especificaciones para las distribuciones granulométricas de los materiales de construcción (A S T M D'1241). Los profesionales suelen utilizar los términos "límite líquido", "límite plástico" e "índice de plasticidad de Suel" junto con otros parámetros de suelo para relacionar el suelo con la permeabilidad, la compatibilidad y la contracción-expansión.



**Figura 1** Prueba de límite líquido y plástico. Fuente MTC (2008)

Se determinará el límite líquido de cada una de las muestras para cada contenido de humedad haciendo uso de una de las siguientes dos ecuaciones:

$$LL = W^n \left( \frac{N}{25} \right)^{0.121} \quad \text{ó} \quad Ll = kW^n$$

*Fórmula 1. Límite Líquido*

Donde:

N = Número de golpes requeridos de la cuchara o copa de Casagrande para romper el suelo

W n = Contenido de humedad del suelo.

K = factor dependiente del número de golpes, está dado en la tabla

A.1.

**Tabla 5** Factor k para los límites líquidos.

N (Numero de golpes)	K (Factor paraa limite liquido)
20 a	0.974 a
21 a	0.979 a
22 a	0.985 a
23 a	0.990 a
24 a	0.995 a
25 a	1. 000 a
26 a	1. 005 a
27 a	1. 009 a
28 a	1. 014 a
29 a	1. 018 a
30 a	1. 022 a

Fuente: Manual Ensayo de Materiales Tabla A-1, p.71.

### 2.4.3. Determinación de límites de Atterberg

El objetivo principal de este estudio es determinar cuantitativamente el límite del piso plástico del laboratorio de acuerdo con el Manual de Procedimientos para Ensayos de Materiales (2016) y calcular el índice plástico, si ya se conoce el límite líquido de la muestra. La gran mayoría de los temas de clasificación en el campo de la ingeniería, para coordinar las acciones de fin de año de las partes interesadas.

En cuanto al procedimiento, implica moldear la exposición en forma de elipsoide y luego masajearla con manos suaves y enguantadas para crear una forma de cilindro; después de crear los cilindros, se repite el amasado para crear los elipsoides originales. Este patrón se repetirá tantas veces como sea necesario hasta que se desincronice. Esto puede ocurrir por una variedad de razones, como en materiales más plásticos como el cilindro que se divide en segmentos de 6 millones de metros de largo.

El límite plástico es la mediana edad de ambos hogares. Este promedio se usa como una medida de la humedad y se calcula usando la fórmula a continuación

:

$$\text{Limite Plastico} = \frac{\text{Peso del Agua}}{\text{Peso del suelo seco}} \times 100$$

*Fórmula 2. Límite Plástico.*

### 2.4.4. Cálculos de Índice de Plasticidad

El índice de plasticidad de un suelo es la diferencia entre límite líquido y su límite plástico.

$$I.P = L.L - L.P$$

Fórmula 3. Índice Plástico.

Donde:

L.L. = Límite Líquido

L.P = Límite Plástico

L.L. y L.P. son números enteros

Cuando no se pueden determinar los límites líquido o plástico, el índice de plasticidad se escribe como NP (sin plasticidad). Igualmente, el índice de plasticidad se abreviará como NP (sin plástico). el límite plástico excede o iguala el límite líquido LL.

#### **2.4.5. Clasificación SUCS ASTM D 2487 – 93**

Según Juárez A. (2005), el Sistema de Clasificación Unificada de Suelos (S U C S), presentado por Arthur Casagrande, es la clasificación utilizada para categorizar la composición de las partes constituyentes de un suelo. Este tema de clasificación hace uso de tamices, lo que permite aplicar el método a la gran mayoría de materiales no consolidados y clasificar objetos con pantallas menores a 3 pulgadas. Se utilizará el tamiz número 200 para separar los granos de arena de los granos de arena acabados. El tamiz contendrá la arena y la grava, y las aletas lo atravesarán sin problemas. Si se retiene más del 50% del número total de partículas en la primera prueba (tamiz No. 200), la muestra se considerará gruesa. Por otro lado, si más del 5,0 por ciento de las partículas pasan a través del tamiz, se supondrá que la muestra de suelo está formada por pequeños gránulos afilados.

Los símbolos G-R-U-P-O que distinguen al S-U-E constan de dos partes: una parte prefijada y una parte fija. A diferencia de los sufijos, que son una división dada dentro de estos grupos, los prefijos son las primeras letras de los nombres dados a los seis tipos principales de suelos (a saber, g. r. a., a. r. e., l., i., arcilla, s. u. e. la forma original de g. r. ano f. i. no., y t.

Trajes espantosos: Se clasifican en tumbas y arena. Los gránulos de un suelo serán clasificados como grava si son retenidos por el tamiz N° 4 en una cantidad superior al 50%. Lo contrario se clasificará como arena.

Suelos finos: el sistema unificado clasifica la arena fina en tres categorías: arena fina inorgánica (M), arena fina orgánica (C) y arena fina inorgánica (L) (0). Cuando se desglosa aún más por capacidad líquida, cada uno de estos grupos se divide en dos grupos distintos. Estos dos grupos tienen una frontera que corresponde a un LL = 50%. Si el LL del suelo excede el 50% se adicionará al símbolo general la letra H (Hight Compresibility). En caso contrario se añadirá la letra L (Low Compresibility) comenta Juárez (2005).

De esta manera se obtendrá uno de la siguiente lista de tipos de suelos:

- Limos Inorgánicos de baja compresibilidad. (ML).
- A Limos y arcillas orgánicas. (OL).
- A Arcillas inorgánicas de baja compresibilidad. (CL).
- A Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad. (CH).
- A Limos inorgánicos de alta compresibilidad. (MH).
- A Arcillas y limos orgánicas de alta compresibilidad. (OH).

#### 2.4.6. Clasificación AASHTO

De acuerdo con Juárez (2005), la clasificación ASHTO es ampliamente utilizada en la clasificación de suelos para la construcción de carreteras, aeropuertos y carreteras, principalmente para material de subrasante. Para la clasificación SHTO, debe haber completado los experimentos de análisis mecánico y estar familiarizado tanto con el límite líquido como con el índice P-T-I-C-D. Esta clasificación divide a la población del suelo en 8 grupos, que van del 0 al 8. Los tres grupos principales son 1; 2; y 3. Estos grupos principales constituyen las especies de suelo de grano con aletas, mientras que los grupos 4, 5, 6 y 7 comprenden las especies de suelo de grano con aletas. Finalmente, tenemos el grupo A-8, que se distingue del grupo A-7 a través de la inspección visual. La siguiente figura muestra los intervalos L. L. y P. I para los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7:

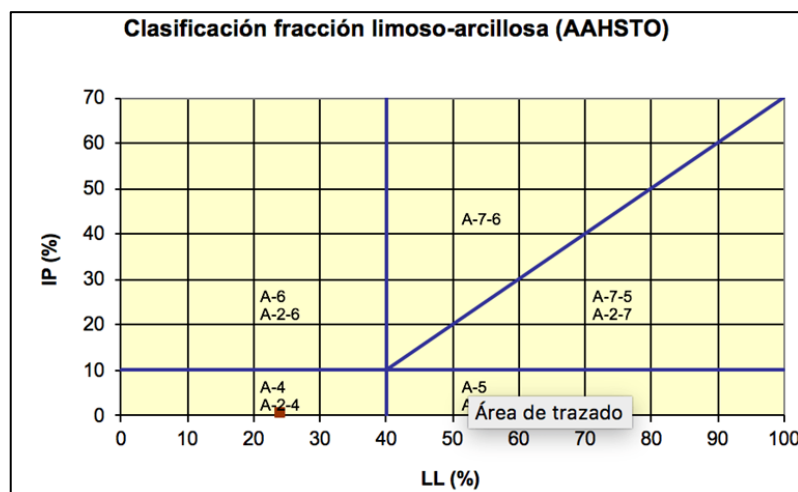


Figura 2 Carta de plasticidad. Fuente: LMS-FIC-UNI, 2006.

Tabla 6 Clasificación de los suelos por método AASHTO



Clasificación general	Suelos granulosos 35% máximo que pasa por tamiz de 0,08mm							Suelos finos más de 35% pasa po el tamiz de 0,08 mm				
Grupo	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7	
Simbolo	A1-a	A1-b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5	A7-6
Analisis granulométrico												
%% que pasa por el tamiz												
2 mm	máx.50											
0.5 mm	máx.30	máx.50	máx.50									
0.08 mm	máx.15	máx.25	máx.10	máx.35	máx.35	máx.35	máx.35	mín.35	mín.35	mín.35	mín.35	mín.35
Limites Atterberg				máx.40	mín.40	máx.40	mín.40	máx.40	máx.40	máx.40	mín.40	mín.40
Límite de liquidez índice de plasticidad	máx.6	máx.6		máx.10	máx.10	mín.10	mín.10	máx.10	máx.10	mín.10	mín.10 IP<LL-30	mín.10 IP<LL-30
Índice de grupo	0	0	0	0	0	máx.4	máx.4	máx.8	máx.12	máx.16	máx.20	máx.20
Tipo de material	Piedras, gravas y arena		Arena Fina	Gravas y arenas limosas y arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcilloso		
Estimación general del suelo como subrasante	De excedente a bueno						De pasable a malo					

Fuente: MTC 2005.

#### 2.4.7. Abrasión los Ángeles al desgaste de los agregados

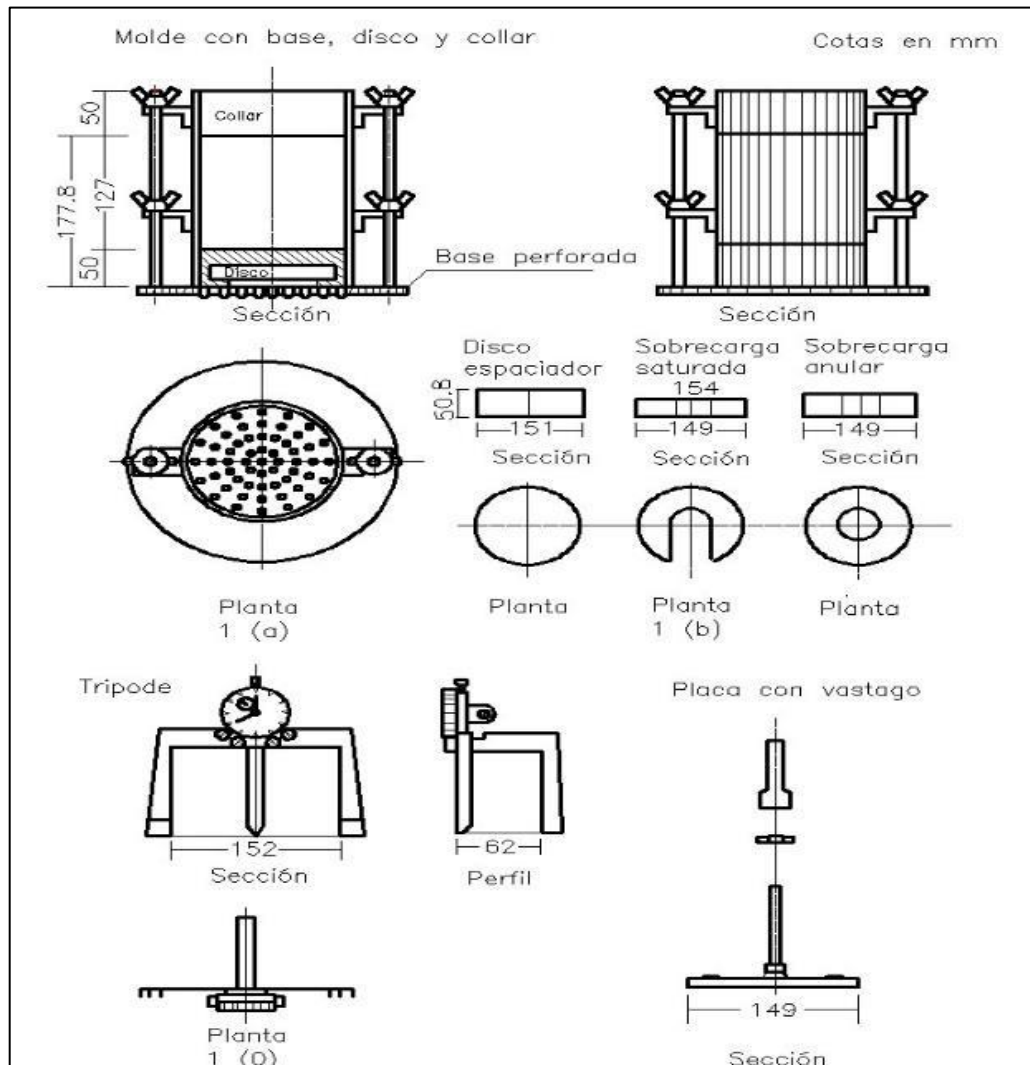
Para determinar la resistencia al deterioro de los agregados , se realizaron ensayos con agregados gruesos no mayores de 37,5 mm (1 1/2") de diámetro en la máquina Los Ángeles.

Al combinar la abrasión, la fricción y el esmerilado, es posible golpear bolas de metal contra una barra de hierro. Estos se mueven mediante una mortaja de hierro a medida que gira el tambor, y luego se lanzan al lado opuesto del tambor para proporcionar efectos de desgasificación. Después de la prueba, la adición se retira del mango y se pesa para determinar el porcentaje de pérdida (Becerra V. 2019).

#### 2.4.8. CBR de suelos (laboratorio) MTC E 132

El llamado estudio CBR suel es un estudio empírico que se lleva a cabo bajo la guía de variables de control tanto para la densidad como para la humedad. Este estudio hace uso de patrones de pavimento de concreto y curvas de resistencia empíricas. Se muestra en detalle en el diagrama y explica el razonamiento detrás de la carga unitaria necesaria para insertar un pistón en un orificio dado dentro del ejemplo de la carga unitaria necesaria para insertar un pistón en el mismo orificio en una operación de lanzamiento de piedras. El CBR utilizado para el proyecto es el valor obtenido después de insertar el pistón de

0,1 pulgadas. El estudio de laboratorio debe realizarse en un esfuerzo por replicar las condiciones de campo lo más fielmente posible, lo que exige un control meticuloso porque el C B R de un espécimen variará según su grado de compacidad y la cantidad de humedad presente. Otro punto crucial a destacar es que los experimentos CBR se llevan a cabo en muestras de suelo saturadas. Roncal J. (2018)



**Figura 3** Molde para ensayo de CBR. Fuente: MTC (2008)

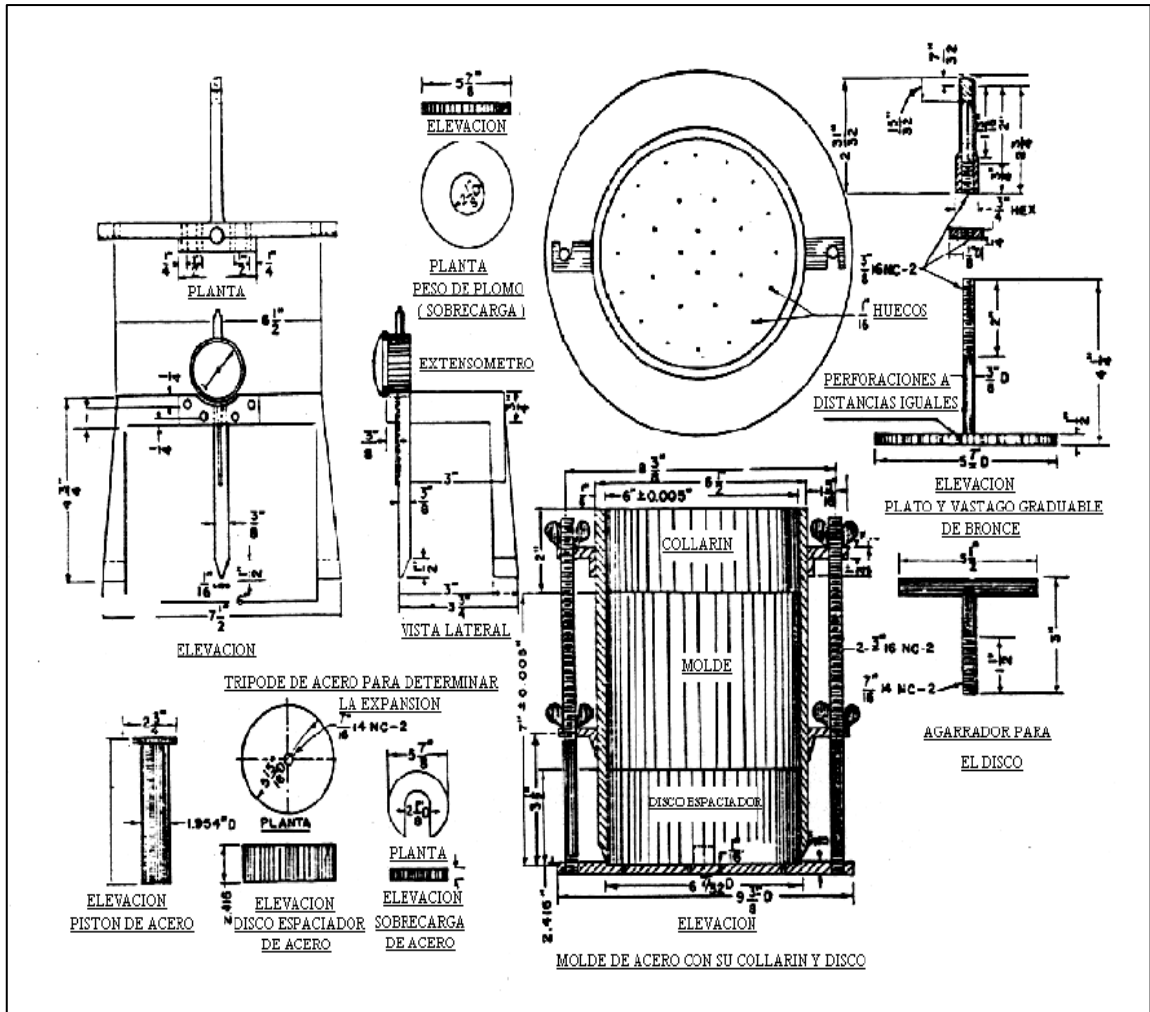
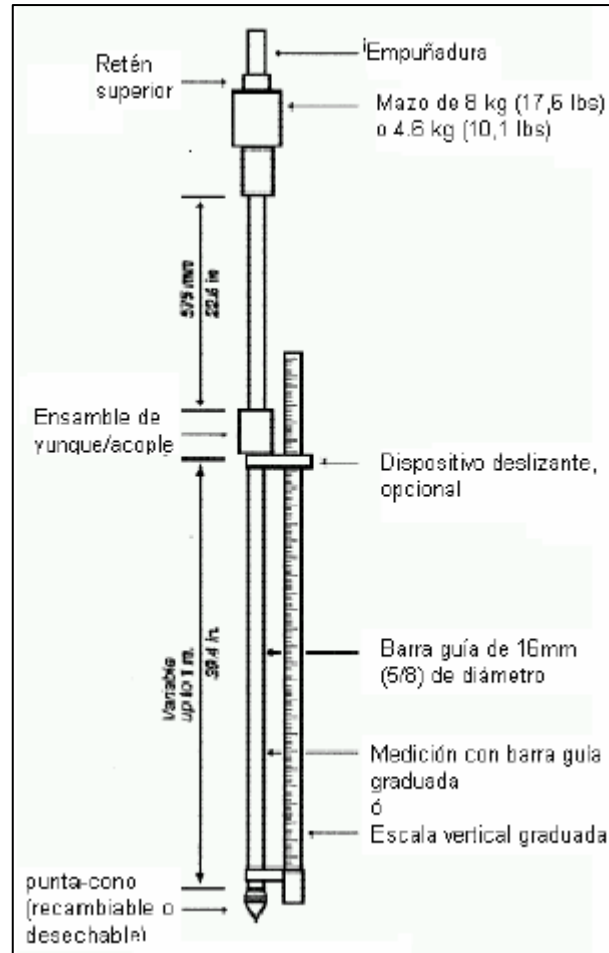


Figura 4 Ensayo de CBR. Fuente MTC (2008).

#### 2.4.9. CBR in situ método - penetrómetro dinámico de cono

En este ensayo se mide la penetración utilizando un penetrómetro de cono dinámico que tiene un peso de impacto de 8 kg que impacta el conjunto yunque y, en caso de un impacto fuerte, el conjunto cae penetrando en el suelo con la punta del cono. Normalmente, se elige un área plana y sin obstrucciones para la prueba, y se necesitan tres operadores para manipular el instrumento y realizar la prueba. Al realizar el experimento, se introduce el punto de 2" del cono para establecer una posición segura. Después de eso, el martillo se apunta a la parte superior del eje mientras se eleva verticalmente, y los datos de las mediciones de desplazamiento se calculan utilizando el etiquetado de apunte.



**Figura 5** Fuente: ASTM D 6951 – 03, (2003, paginación 1 – 2).

Los cálculos se realizarán utilizando las siguientes ecuaciones recomendadas por el organismo del Ejército de los Estados Unidos, las cuales se detallan a continuación (Mamani Q., 2019 ):

$$CBR = \frac{292}{(PDC)^{1.12}}$$

*Formula 4. formula CBR (cuerpo ejercito EE.UU.)*

Esta ecuación se aplica a todas las sustancias excepto a las sustancias del tipo CL con valores de CBR inferiores al 10 %, en cuyo caso se utilizará la siguiente ecuación

:

$$CBR = \frac{1}{(0.017019 * PDC)^2}$$

*Fórmula 5. formula CBR (suelos SUCS tipo Cl.).*

En cuanto a suelos (SUCS) del tipo CH:

$$CBR = \frac{1}{0.002871 * PDC}$$

*Formula 6: formula CBR (suelos SUCS tipo CH.)*

#### 2.4.10. Compactación de suelos (proctor modificado)

Se utiliza un pistón para triturar el suelo en varias tapas en un molde. Luego se repite la prueba de compactación, pero esta vez se varía el contenido de humedad del suelo (w), lo que permite calcular la pendiente específica (d) de compactación correspondiente a varios valores de contenido de humedad del suelo. El cálculo del contenido de humedad óptimo y la compresibilidad máxima se realizará utilizando un gráfico de peso versus humedad para mostrar dónde caen estos valores. Das (2012).

**Tabla 7** Especificaciones para Proctor modificado –ASTM D-1557

Concepto	Método A	Método B	“Método C
El diámetro del molde.	1001.6 mm	1001.6 mm	152.4 mm
Volumen de lanzamiento.	944 cm <sup>3</sup>	944 cm <sup>3</sup>	2124.cm <sup>3</sup>
El mashup del albañil.	4.54 kg	4.54 kg	4.54 kg
La altura a la que cae el pistón.	457.2 mm	457.2 mm	457.2 mm
El número de pisotones en el pavimento por pulgada cuadrada de suelo.	25	25	56
Suma de capas de compactación.	5	5	5
Energía de compactación	2700 KN*m/m <sup>3</sup>	2700 KN*m/m <sup>3</sup>	2700 KN*m/m <sup>3</sup>
	Si la cantidad de	Pasa el teclado numérico,	

Suelo para usarse.	material que se extrae de la tubería de 9,5 mm de diámetro es el 20 % o menos de su peso original, se puede usar el accesorio de tubería n.º 4.	por favor. 9,5 mm, utilizable si la base está retenida en el material maleable. El peso retenido por un alambre maleable de 9,5 mm se reduce en más de un 20% por cada 4 mm de diámetro adicional.	Más del 20 % del peso del material se elimina con un diámetro de 9,5 mm, pero menos del 30 % con un diámetro de 19,0 mm , se puede usar el diámetro de 19 mm (3/4 in) como diámetro de transición.
<i>Fuente: Das (2012) p.724</i>			

De la siguiente fórmula:

$$y_{zav} = \frac{y_w}{\frac{1}{G_s} + w}$$

*Fórmula 7. Peso específico seco.*

Donde:

$y_{zav}$  = Peso específico seco con cero aire y vacíos

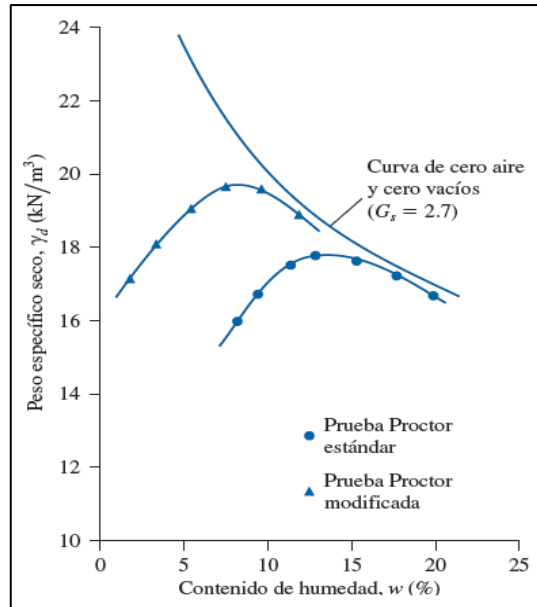
$y_w$  = Peso específico del agua

$G_s$  = Gravedad específica de los sólidos del suelo

$w$  = Contenido de humedad del suelo

Se grafica de la siguiente manera:

La gráfica correspondiente se muestra a continuación:



**Figura 6** Curva para la humedad óptima. Fuente MTC 2005.

Este proceso logra analizar la influencia inicial que tiene el proceso de notas de prensa sobre la empresa, que es una relación directa. La afirmación anterior se puede entender teniendo en cuenta que el agua en un cuerpo de agua poco profundo está actuando como un generador de presión para las partículas. Esta presión da como resultado la formación de grumos de granos que son difíciles de desintegrar con la presión utilizada durante el examen, Roncal (2018)

#### 2.4.11. Ensayo de compresión simple / ASTM D2166.06

De acuerdo con la norma ASTM D2166.06, una prueba de compresión simple implica la ruptura de una probeta de combustible poco confiable para obtener resultados tales como una curva de compresión simple tensión-deformación y resistencia al esfuerzo de compresión simple. Esta prueba, que también se conoce como "prueba de compresión uniaxial en la mecánica del caucho", nos indica la capacidad de carga final de una muestra de caucho comprimido. En otras palabras, el objetivo de esta prueba es determinar cuánta resistencia tiene una muestra cohesiva de suelo a la compresión; en términos generales, el suelo tendrá una forma cilíndrica. En términos de cálculos, se utilizará la siguiente ecuación para determinar el valor de cohesión del suelo

:

$$\text{Cohesion } (c) = q/2$$

q = Esfuerzo máximo (kg/cm<sup>2</sup>)

*Fórmula 8. formula de cohesión.*

#### 2.4.12. Densidad del suelo in situ y peso unitario -cono de arena

De acuerdo al Manual de Evaluación de Materiales (2016), se utilizará el método de la palanca para muestrear tanto la mezcla seca como la muestra de suelo in situ. Este método determina la densidad de suelos compactados en áreas tales como arcenes de carreteras, la construcción de terrazas de tierra, estructuras de hormigón armado y estructuras de contención. Es habitual utilizar un plazo predeterminado o un porcentaje de plazo máximo determinado por un método de estimación estándar como base para la aceptación de los contratos firmados. Además, puede obtener su densidad mezclando depósitos de combustible natural, depósitos de combustible que se han agregado o materiales comparables (pág. 133). NTP 339.143: Suelos. Método de ensayo estándar para determinar la profundidad y la densidad de una superficie utilizando el enfoque cononométrico de medición. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014).

Para este estudio, el volumen mínimo del orificio debe tener en cuenta el tamaño de las partículas presentes en el suelo debajo del cual se realizará el estudio.

**Tabla 8** Volúmenes Mínimos del Ensayo según Tamaño Máximo de Partícula.

Tamaño Máximo de la partícula		Volumen Mínimo del orificio de Ensayo	
Pulgada	mm	cm <sup>3</sup>	pies <sup>3</sup>
½	12.5	1420	0.05
1	25	2120	0.075
2	50	2830	0.1

*Fuente: MTC 2014.*

Una estimación aproximada de la densidad a la que se somete el material a prueba se logra comparando la cantidad de arena que llena el hoyo excavado con la densidad previamente calculada de la arena graduada. Esto se realiza



mediante el método del cono de arena, que incluye la ejecución de un hoyo con un volumen de muestra que será amansado, así como la realización del correspondiente ensayo de hidratación para determinar la hidratación natural. Lo que hace posible estar seguro de que llegará a un estado compactado que se acerque a la densidad medida por el experimento controlado por precio modificado.

## **2.5. Terminología Complementaria**

### **2.5.1. Aglomerante**

Material que al hidratarse tiene la propiedad de unir materiales entre sí, sin aporte de calor y mediante un proceso de fraguado, se emplea para formar morteros u hormigones, entre estas está el yeso, cal y cemento, siendo ampliamente utilizadas en la confección de edificaciones, carreteras, y todo tipo de estructuras, así como también en la mampostería y cerámica.

Estas sustancias tienden mantenerse en estado pastoso, excepto en condiciones específicas de contacto con el agua, air o cambio de temperatura; entonces es donde proceden a solidificarse o constituir

### **2.5.2. Valor de soporte**

Un índice de resistencia del suelo (o relación de carga de California) se calcula midiendo la compresibilidad del suelo (CBR), es una forma sencilla de medir la durabilidad de los cimientos, los arcenes y la superficie de una carretera. (MTC, 2016).

### **2.5.3. Afirmado**

Este término se utiliza para referirse a cualquier sustancia granular, ya sea natural o sintética, que está compactada, tiene una gradación específica y puede soportar directamente los escombros al borde de la carretera y otros objetos en movimiento. Para garantizar que este material pueda mantener aglomeradas las partículas espantosas, debe tener una capa adecuada de sustancia cohesiva.

#### **2.5.4. Procedo de colocación del afirmado:**

Este método se conoce como la instalación de adoquines de concreto cuidadosamente elegidos, que se utilizan como superficie dura en las partes no pavimentadas de la carretera o cuando aún no están pavimentadas.

Materiales: Materiales que sirven para la habilitación de un C.A.P.A. firmado. se denominan como tales. Este material debe estar hecho de partículas que sean fuertes y duraderas. Se dice que las partículas mantenidas por el ITM No. 4 tienen grumos añadidos a ellas. Las partículas que pasan a través de este tamiz conformarán el componente final agregado. Luján (2016)

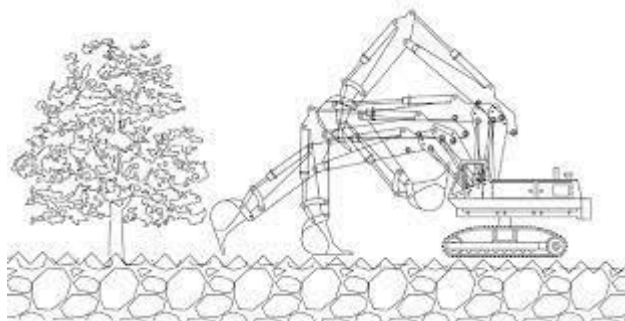
De acuerdo al proceso de construcción del pliego, su altura compactada debe ser igual o mayor a 20 cm. Una vez instalados los muros de contención y alcantarillas previstos, se debe realizar el proceso de compactación. Estas tareas deben realizarse en coordinación con el supervisor. Luján P. (2016)

#### **2.5.5. Cohesión**

La resistencia de un suelo a ser cortado bajo tensión normal. ("Glosario de términos de uso común en proyectos de infraestructura de transporte" de 2018).

#### **2.5.6. Colocación y Extendido**

Antes de agregar un certificado firmado, asegúrese de que no se hayan agregado más de 3". Si este es el caso, esta adición debe eliminarse antes de pasar a colocar la afirmación. Pero se debe recordar que la altura límite final de la declaración debe ser mayor de 2,0 cm. Luján (2016) p. 150.



**Figura 7** *Extendido y compactación de material - Mejoramiento de la carretera*

### 2.5.7. Mezcla de materiales

El material que se utilizará como se indica debe prepararse en la cantera; si esto no es posible, debe prepararse donde se realizará la instalación. Para ello se utilizará un motonivelador, con cuchilla de al menos 2,5 metros de largo, distancia entre ejes de al menos 4,5 metros y peso no inferior a 3 toneladas. Luján P. (2016)



**Figura 8** *Extendido de material- Mejoramiento de la carretera*

### 2.5.8. Compactación del terreno:

Previa aplicación de las técnicas de esparcimiento y humedecimiento al suelo, se procederá a la compactación del material mediante un compactador de varilla vibratoria con una potencia no inferior a 8 toneladas. Luján P.(2016)



**Figura 9** *Rodillo Vibratorio, mejoramiento de la carretera Exigencias de Espesor:*

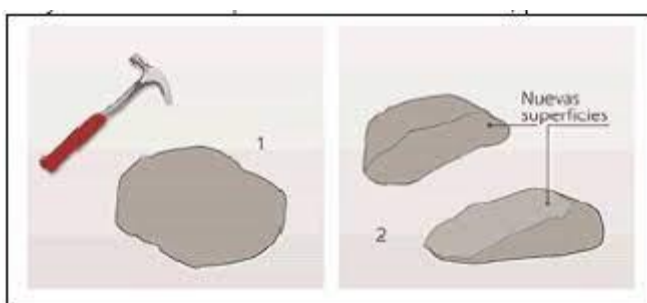
Se aconseja que las distintas medidas de la extensión afirmada compactada oscilen entre -1 cm y +1 cm. Esta medida se medirá en varios puntos con una distancia mínima de 100 metros entre ellos. El Supervisor de Ingenieros decidirá cómo se distribuirán estos puntos, o se pueden elegir candidatos alternativos al azar. Luján P. (2016)

### 2.5.9. Agregado Fino

Se denomina así al “material que resulta de la descomposición tanto de átomos como de moléculas en piezas más pequeñas, y su granularidad está determinada por especificaciones técnicas ya establecidas. Cruza típicamente el Mall N° 4 (4,75 mm).

### 2.5.10. Agregado grueso:

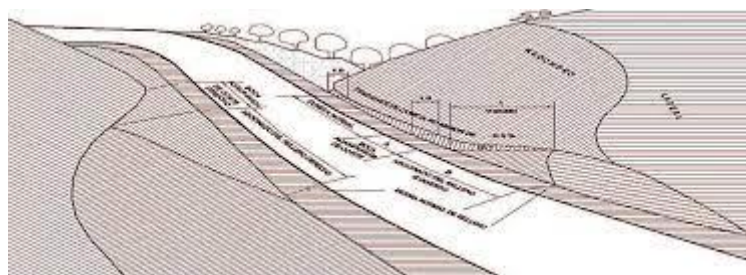
El asbesto es un tipo de material que resulta de la descomposición natural y artificial de partículas , y su granularidad está determinada por parámetros técnicos bien establecidos. Típicamente, se retiene en Tamiz N°4. (4,75 mm).



**Figura 10** Agregado grueso - sitio de acopio.

### 2.5.11. Trocha Carrozable

Los caminos se denominan de esta manera sin ninguna indicación de que están cerca del paso elevado o en caminos donde aún no se ha identificado la superficie de construcción.



**Figura 11** Trocha Carrozable

### 2.5.12. Compactación

Como resultado, un proceso humano o mecánico conocido como hormigonado con cemento Portland se denomina como tal. Su objetivo es

reducir el espacio entre las partículas de suelo, bituminosa, mortero y hormigón.



Figura 12 Tipos de compactadores. Fuente: dynapac.blog

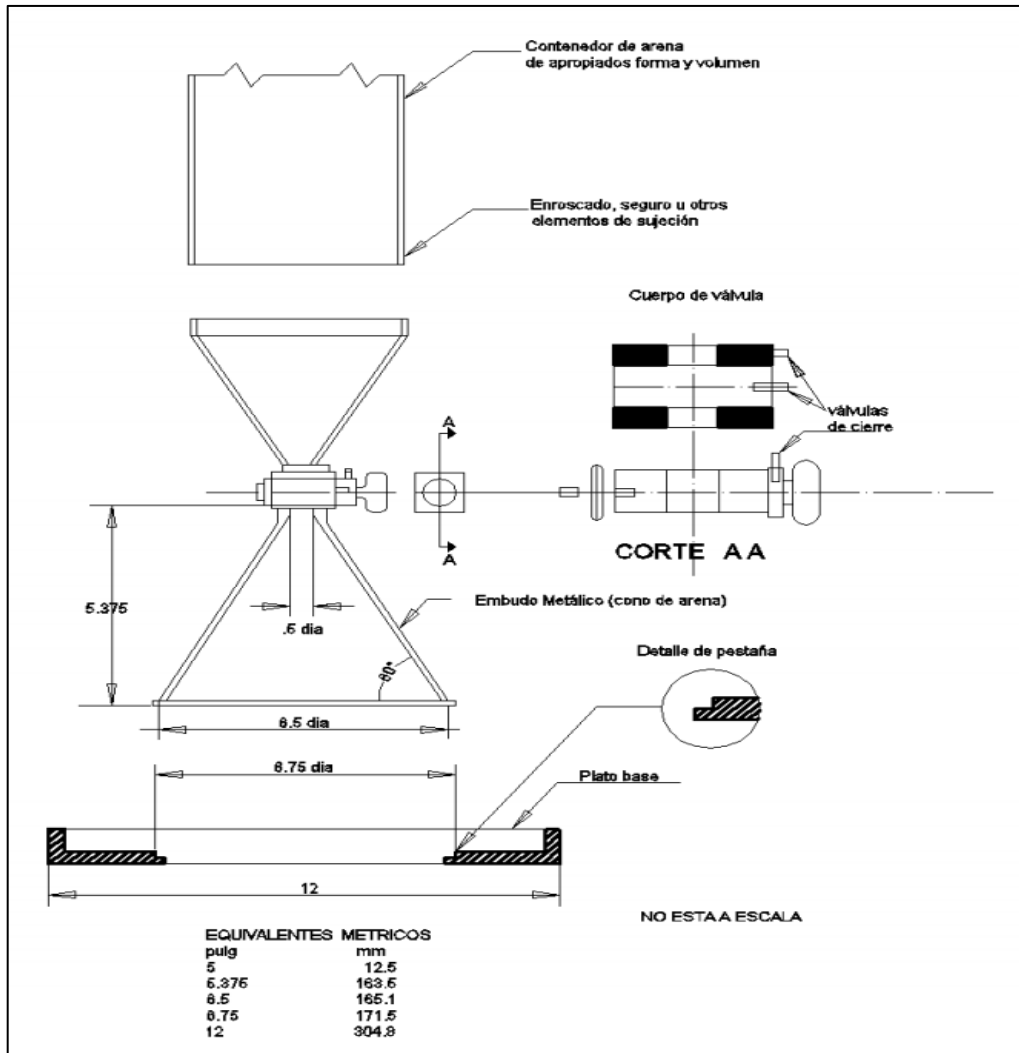


Figura 13 Aparato de densidad de campo cono de arena

## **2.6. Sistema de Hipótesis**

### **2.6.1. Hipótesis General**

Existe una influencia significativa entre la plasticidad de suelos, densidad máxima de suelos, contenido de arcillas y valor de relación de soporte de California (CBR) al adicionar cal hidratada en los suelos constituyentes del afirmado de la vía Mostazas – Chocán, de tal manera que se logra asegurar la estabilización del afirmado consignado una dosificación de cal hidratada en relación al peso de la muestra.

### **2.6.2. Hipótesis Específicas**

Existe una variación en la influencia de la adición de la cal hidratada en el afirmado para carretera Mostazas – Chocán, provincia de Ayabaca – Piura – 2022.

Existe una variación de plasticidad mediante la adición de cal hidratada en el afirmado para carretera Mostazas – Chocán, provincia de Ayabaca – Piura – 2022.

Existe una variación de densidad máxima mediante la adición de cal hidratada en el afirmado para carretera Mostazas – Chocán, provincia de Ayabaca – Piura – 2022.

Existe un incremento el CBR (valor de la Relación de Soporte California) en el afirmado para carretera Mostazas – Chocán, provincia de Ayabaca – Piura – 2022.

## **2.7. Variables e Indicadores**

### **2.7.1. Variable Independiente**

Propiedades físico – mecánicas del afirmado con cal hidratada, de la vía Mostazas – Chocán.

### **2.7.2. Variable Dependiente**

Propiedades físico – mecánicas del afirmado de la vía Mostazas – Chocán.

- a) A partir de ensayos de caracterización de suelos, determinar los límites plásticos y líquidos, clasificación SUCS, clasificación AASHTO, contenido de humedad y peso unitario del afirmado de la vía Mostazas Chocán.
- b) A partir de ensayos especiales, determinar el CBR en campo y laboratorio, utilizando el molde para ensayo CBR.
- c) Determinar el grado de compactación en laboratorio y campo utilizando Proctor modificado y ensayo de cono de arena, respectivamente.
- d) Determinar propiedades de caracterización de suelos, ensayos especiales y grado de compactación adicionando dosis de cal hidratada de 2%, 5% y 10%.
- e) Realizar evaluación comparativa entre resultados del afirmado sin adición y con adición de cal hidratada.

### 2.7.3. Operacionalización de Variables

**Tabla 9** Cuadro de Operacionalización de Variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicador	Instrumentos
Independiente: - Propiedades físico – mecánicas del afirmado con cal hidratada, de la vía Mostazas - Chocán	También conocida como cal apagada, cal o cal muerta, la cal hidratada se usa en la producción de morteros, yesos, cementos, pinturas, productos de caucho duro, petroquímicos y en el curtido de pieles (Flexicon, s.f.).	Es un polvo cáustico, inflamable, blanco (o blanco y beige) que tiene una estructura cristalina. Es ligeramente soluble en agua pero, al mismo tiempo, higroscópico, lo que significa que absorbe agua del medio ambiente (PCC, 2023).	A partir de ensayos de caracterización de suelos, determinar los límites plásticos y líquidos, clasificación SUCS, clasificación AASHTO, contenido de humedad y peso unitario del afirmado de la vía Mostazas Chocán.	- Contenido de Cal Hidratada	Relación entre materiales pasante entre mallas N° 200 y N° 40
Dependiente: - Propiedades físico – mecánicas del afirmado de la vía Mostazas - Chocán	Corresponde a un material granular o grava seleccionada por chancado o trituración y zarandeada cuando el material natural tenga aristas, con índice de plasticidad 9-12, para caminos de tránsito vehicular de cargamento y transporte (Home Golden, s.f.).	La proporción de los componentes determina una serie de propiedades que se conocen como propiedades físicas o mecánicas del suelo: textura, estructura, color, permeabilidad, porosidad, drenaje, consistencia, profundidad efectiva (Sánchez Delgado, 2014)	CBR grado de compactación Plasticidad	- Clasificación SUCS - Límites de Atterberg - Peso Unitario - Análisis Granulométrico - Contenido de Humedad - Capacidad portante del suelo	NTP 339.134 NTP 339.129 NTP 339.131 NTP 339.128 NTP 339.127 ASTM D-1883



### **III. METODOLOGÍA EMPLEADA**

#### **3.1. Tipo y Nivel de investigación**

##### **3.1.1. Métodos y Alcances de la Investigación**

La observación directa será el primer paso de la investigación en la zona de estudio, el cual es carretera Mostazas - Chocán, provincia de Ayabaca, Departamento de Piura 2022.

El método científico se empleará en esta investigación con base en esta problemática.

##### **3.1.2. Tipo de Investigación**

La investigación es experimental ya que se plantean hipótesis viables y plausibles; en este caso, la mejora de suelos blandos aplicando cal hidratada en la carretera Mostazas - Chocán, provincia de Ayabaca, Departamento Piura 2022.

La investigación es de tipo Experimental en este análisis.

##### **3.1.3. Nivel de Investigación**

Es Experimental, ya que se basa en un protocolo de control, en base a la observación de resultados que se van a considerar en cuanto al uso de Cal Hidratada para mejorar los suelos blandos en la carretera Mostazas - Chocán, provincia de Ayabaca, Departamento Piura 2022.

#### **3.2. Población y Muestra de estudio**

##### **3.2.1. Población**

La población en este caso incluye el afirmado del tramo de la carretera Mostazas- Chocán, provincia de Ayabaca, Departamento Piura 2022.

##### **3.2.2. Muestra**

En este caso la muestra está constituida por la adición de cal hidratada al material de afirmado de la carretera Mostazas- Chocán, provincia de Ayabaca, Departamento Piura 2022, de las cuales se realizaron ensayos de

laboratorio de suelos, tomando muestras en 2%, 5% y 10% de cal hidratada respectivamente.

### **3.3. Diseño de Investigación**

Es Cuantitativo, ya que los números proporcionan una mejor alternativa entre la causa y efecto planteada por las variables. El diseño permite la manipulación de las variables y la investigación se define en función de los objetivos planteados con la finalidad de mejorar los suelos blandos en la carretera Mostazas- Chocán, provincia de Ayabaca, Departamento Piura 2022, mediante la aplicación de cal hidratada.

El diseño de investigación que se utilizará en este estudio se basa en este análisis, el cual es Cuantitativo Experimental.

### **3.4. Técnicas e Instrumentos de Investigación**

#### **3.4.1. Técnica de Recolección de Datos**

La información se recogerá en campo, identificando los puntos de ubicación de calicatas, utilizando la técnica de observación directa en este estudio.

#### **3.4.2. Instrumento de Recolección de Datos**

- ***Ficha de recopilación de datos***

Para este estudio recolectaremos los datos, utilizando las hojas de cálculo de los diferentes ensayos de laboratorio de suelos que realizaremos.

- ***Técnicas de Análisis de Datos***

El análisis de frecuencia, el análisis de tendencia, el análisis de tendencia central y el análisis de dispersión se realizaron utilizando estadística experimental, en base a pruebas que inducen cambios deliberados para averiguar si los factores influyen en la variable de interés. Los datos se analizaron con el uso de Excel, pruebas de laboratorio.

### 3.5. Procesamiento y análisis de datos

Mapeo de campo con calibradores, clasificación de suelos usando el método SUCS AASHTO, Límites de Confianza Modificados de Atterberg y Proctor, CBR y Expansión de Suelos.

El Manual de Carreteras sirve como base para decidir dónde realizar la exploración de campo. De acuerdo con las pautas establecidas en el libro "Suelos, geología, geotécnica y pavimentos - Sección Suelos y Pavimentos", un programa de exploración de campo debe incluir la ejecución de calicatas a una distancia que depende de las características de los materiales subyacentes en la tachuela de la ruta. El espaciamiento deberá oscilar entre 250 y 2000 metros. Para este caso en estudio, se contempla la ejecución de calicatas cada 400 metros.

Por otro lado, Los ensayos considerados para la exploración de los suelos que conforman el afirmado de la vía en estudio, están contemplados en la lista de Normas Técnicas Peruanas, publicadas por el Instituto Nacional de Calidad – INACAL, 2016. Las cuales son:

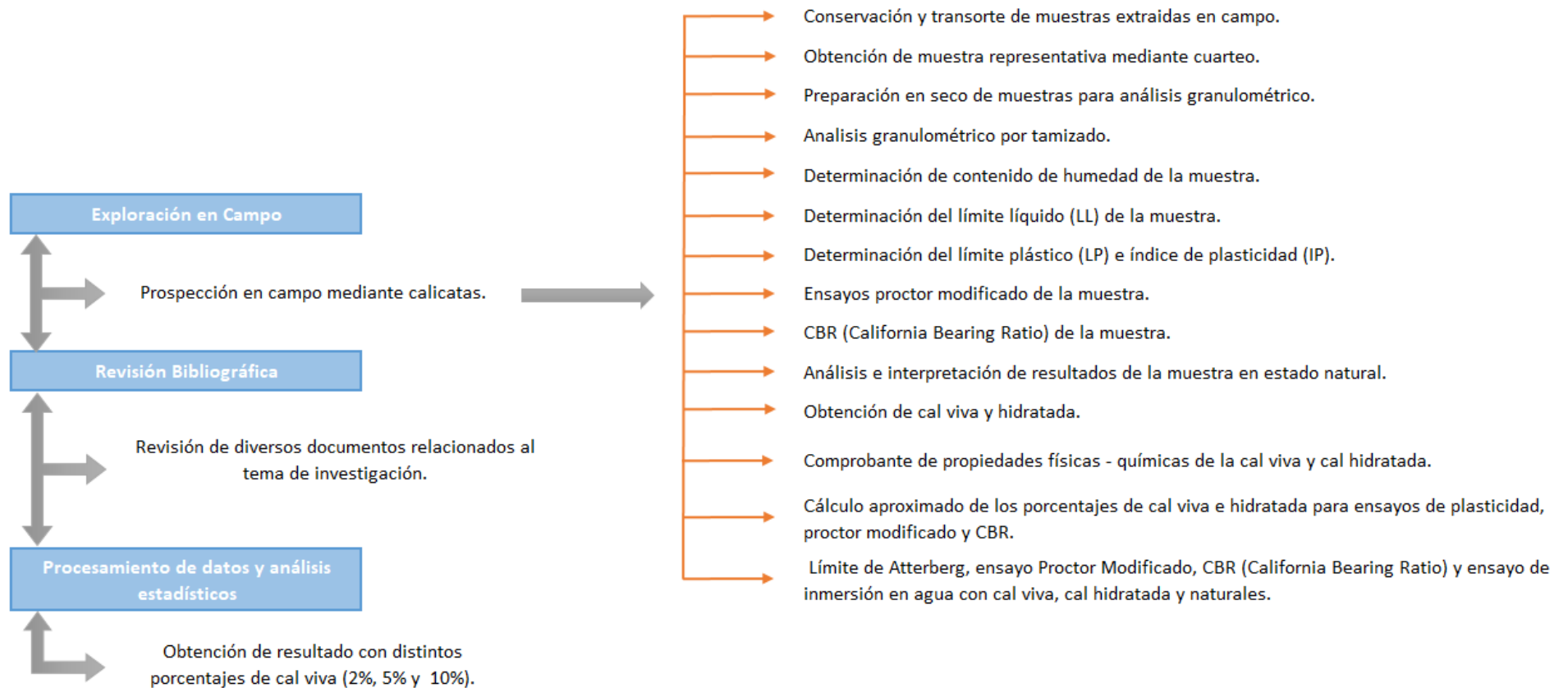
**Tabla 10** Estudio de Mecánica de Suelos – Normativas a aplicar

NORMATIVA	DESCRIPCIÓN
NTP 339.089	Adquisición de Muestras Representativas de Laboratorio (cuarteo)
NTP 339.090	Las muestras para el análisis granulométrico y la determinación constante del suelo se preparan en seco
NTP 339.126	Procedimientos para reducir muestras de campo a tamaños de muestra de laboratorio
NTP 339.127	Método de prueba para la determinación del contenido de humedad del suelo
NTP 339.128	Método de experimentación para análisis granulométrico
NTP 339.129	El procedimiento de prueba para determinar el índice de líquido, plástico y plasticidad de los suelos
NTP 339.131	Procedimiento de prueba para determinar la densidad relativa específica de las partículas sólidas de un suelo.
NTP 339.132	Método para probar materiales para ver si pasan un tamiz de 75 micras (tamiz No. 200)
NTP 339.133	Metodología de prueba de penetración convencional SPT
NTP 339.134	Método de clasificación de suelos con fines de ingeniería (Suelo Unified Classification System, SUCS)

NORMATIVA	DESCRIPCIÓN
NTP 339.135	Sistema de clasificación de suspensión para uso en carretera
NTP 339.138	Procedimiento de prueba estándar para la densidad del suelo y la determinación del peso unitario y el cálculo de la densidad relativa
NTP 339.143	Método de prueba estándar para la densidad del suelo y el peso unitario utilizando el método del cono de arena
ASTM D-1557	Ensayo de Compactación de Suelos
ASTM D-1883	Prueba de relación de carga de California para suelos compactados (CBR)

Lista de Normativas básicas a emplear para el Estudio de Mecánica de Suelos, contenido en el plan de exploración de suelos para vías. Fuente: INACAL, 2016.

El sistema de recolección de datos se llevó a cabo bajo el siguiente procedimiento:



**Figura 14** Esquema de trabajo de tesis

## **IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1. Propuesta de Investigación**

El presente estudio plantea determinar la variabilidad en las propiedades físicas – mecánicas al adicionar cal hidratada en porcentajes incorporación de 2%, 5% y 10% al afirmado de la carretera Mostazas Chocán en la provincia de Ayabaca, departamento de Piura, 2022.

### **4.2. Análisis e Interpretación de Resultados**

#### **4.2.1. Ensayos de laboratorio**

Las muestras para nuestro proyecto fueron extraídas cuidadosamente de la cantera Sole II – Higuerón, dicho material fue utilizado tanto para la realización de nuestro afirmado con la adición de cal hidratada en porcentajes de 2%,5% y 10% y para el análisis de muestra en el Laboratorio CONSULTGEOPAV SAC – SISTEMA INTEGRAL DE GEOTECNIA SUELOS Y PAVIMENTOS y jefe de laboratorio ING. ROBERTO ELIAS CASTRO AGUIRRE. Se realizaron los siguientes ensayos:

Ensayos Estándar

Material de Afirmado:

- Test Granulométrico por Tamizado ASTM D-422, MTC E107
- Capacidad Líquida Malla N° 40 ASTM D-4318, MTC E110
- Capacidad Plástica Malla N° 40 ASTM D-4318, MTC E111
- Sistema SUCS ASTM D-2487
- Categorización de Suelos AASHTO M-145, ASTM D-3282

Ensayos Especiales

Material de Afirmado:

- California Bearing Ratio (CBR) ASTM D-1883, MTC E132
- Test de Abrasión Los Ángeles ASTM C-131, MTC-E207
- Correlación de Arena ASTM D-2419, MTC-E114
- Proctor Variado ASTM D-1557, MTC-E115
- Ensayo de compresión simple / cohesión ASTM D2166

- Ensayo de CBR in situ (PDC) ASTM D6951

De tal manera se comparó los límites requeridos por la normativa Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013. R.D. N° 22-2013-MTC:

Desgaste los Ángeles:	50% máx.	(MTC E 207)
Capacidad Liquido:	35% máx.	(MTC E 110)
Valor de Plasticidad:	4 l – l 9%	(MTC E 111)
CBR (1):	40% min.	(MTC E 132)

Utilizando la máxima densidad seca del 10% y una penetración capilar de 0,1" (2,5 mm).

Se realizaron las pruebas de laboratorio antes mencionadas a la materia prima (cantera - Sole II - Higuerón) y las posteriores pruebas de laboratorio al material declarado con 2%, 5% y 10% de cal hidratada, todo de acuerdo con las normas y especificaciones técnicas vigentes, obteniéndose los siguientes resultados preliminares de la muestra del patrón:

**Tabla 11** Resultados de laboratorio muestra patrón

"ENSAYOS DE LABORATORIO"		Requerido	Cantera Sole II - Higuerón	Observación
MTC E 204	Granulometría (Clasificación)	-	A-1-a (0)	Cumple
MTC E 110	LL (%)	25% máx.	22.20 %	Cumple
MTC E 111	IP (%)	4 – 9%	4.11 %	Cumple
MTC E 115	Densidad-Humedad gr/cm3/%	-	2.06 / 8.0	Cumple
MTC E 132	CBR	40% min.	44 / 22	No Cumple
MTC E 207	Desgaste los ángeles	50 máx.	27.08	Cumple
ASTM D6951	CBR in situ (PDC)	-	54.28 %	
ASTM D2166	COMPRESIÓN SIMPLE (cohesión)		7.44 (kg/cm <sup>2</sup> )	
MTC E- 117	CONO DE ARENA		92.20 %	

Fuente: *Elaboración propia*

En base a los datos que se han obtenido de los resultados iniciales, se observa que la cantera Sole II – Higuerón, no cumple con lo requerido como en el caso del CBR y tiene bajo valor de cohesión, por lo que se plantea adicionar cal hidratada en porcentajes de 2% 5%y 10% como elemento aglomerante y poder mejorar el CBR del

afirmado , Usando los hallazgos de los experimentos de laboratorio, analizamos la muestra de referencia e hicimos recomendaciones para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de la sustancia recuperada mediante el uso de un agente aglomerante. (Orejon E., 2018).

Realizada la dosificación con cal hidratada y mostrada en el informe de ensayos de laboratorio de mecánica de suelos, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 12** Resultados de ensayos incorporando 2%, 5% y 10% Cal Hidratada.

ENSAYOS DE LABORATORIO		REQUERIDO	Sole II - Higuierón (muestra patrón) + 2% Cal Hidratada	Sole II - Higuierón (muestra patrón) + 5% Cal Hidratada	Sole II - Higuierón (muestra patrón) + 10% Cal Hidratada
MTC E 204	GRANULOMETRÍA (Clasificación)	-	A-2-4 (0)	A-1-b (0)	A-1-b (0)
MTC E 110	LL (%)	25% máx.	24.69 %	18.71 %	22.58 %
MTC E 111	IP (%)	4 – 9%	5.97 %	4.06 %	NP
MTC E 115	DENSIDAD-HUMEDAD gr/cm3/%	-	2.19 / 7.8	2.22 / 6.2	2.24 / 5.0
MTC E 132	CBR	40% min.	48 / 26	60 / 29	38 / 19
MTC E 207	DESGASTE LOS ANGELES	50 máx.	27.08	27.08	27.08
ASTM D6951	CBR in situ (PDC)	-	72.16 %	92.36 %	61.65 %
ASTM D2166	COMPRESIÓN SIMPLE (cohesión)	-	13.97(kg/cm2)	18.56(kg/cm2)	5.84(kg/cm2)
MTC E- 117	CONO DE ARENA		93.30 %	96.20 %	86.40 %

Fuente: *Elaboración propia*

De la dosificación realizada se observa la mejora de CBR en la muestra N°2 Cantera Sole II - Higuierón (muestra patrón) + 5% de Cal Hidratada. Así de la ejecución de los ensayos de compactación en los tramos mencionados siendo los resultados al 96.2 % de la densidad obtenida en campo con equivalente de Arena ASTM D-2419, MTC-E114, dichos resultados cumplen los requerimientos de la muestra de la cantera Sole II - Higuierón +5% Cal Hidratada.



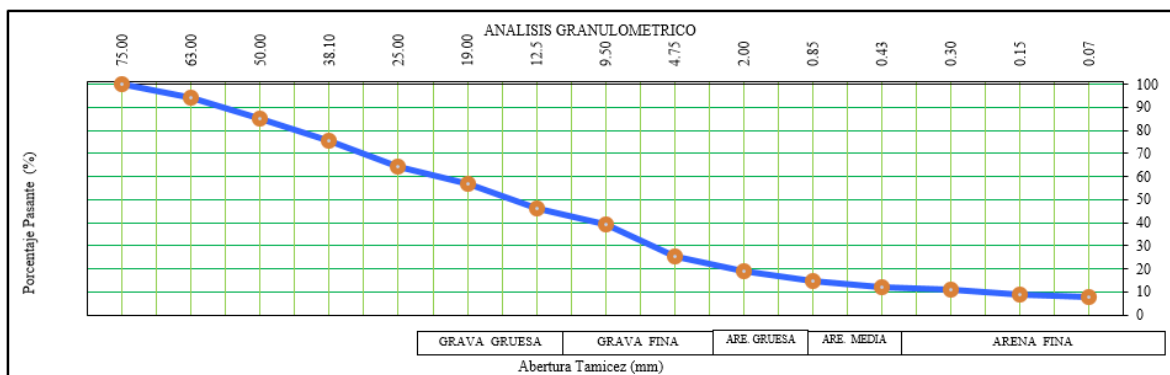
#### 4.2.2. Análisis granulométrico muestra patrón cantera Sole II - Higuerón

CLASIFICACION DEL SUELO	
S.U.C.S. (ASTM D 2487	GP GC
Grava mal graduada con arcilla y limo	
AASHTO (ASTM D3282)	A-1-a (0)
Fragmentos de roca, grava y arena	

**Tabla 13** Resultados de análisis granulométrico de muestra patrón en laboratorio

ANALISIS GRANULOMETRICO (ASTM D422 / ASTMD 2487 /MTC E204)					
MALLA (Abertura)	PESO	%	%	%	
PLG.	m m.	RETENIDO (gr.)	RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3"	75				100.00
2 1/2"	63	1468.00	5.79	5.79	94.21
2"	50	2336.00	9.21	15.00	85.00
1 1/2"	38.1	2417.00	9.53	24.53	75.47
1"	25	2841.00	11.20	35.74	64.26
3/4"	19	1920.00	7.57	43.31	56.69
1/2"	12.5	2700.00	10.65	53.96	46.04
3/8"	9.5	1767.00	6.97	60.93	39.07
N° 4	4.75	3494.00	13.78	74.71	25.29
N° 10	2	145.10	6.17	80.88	19.12
N° 20	0.85	107.40	4.57	85.45	14.55
N° 40	0.425	56.80	2.42	87.87	12.13
N° 50	0.3	27.00	1.15	89.02	10.98
N° 100	0.149	54.60	2.32	91.34	8.66
N° 200	0.074	26.60	1.13	92.47	7.53
<b>&lt; 200</b>	<b>Fondo</b>	<b>177.00</b>	<b>7.50</b>	<b>100</b>	<b>0.00</b>

Fuente: Elaboración propia



**Figura 15** Curva granulométrica para suelo A-1- a (0) de muestra patrón

**4.2.3. Resultados del análisis granulométrico con cal hidratada**  
**Resultados de análisis granulométrico con adición + 2% de cal hidratada**

<b>“CLASIFICACION DEL SUELO”</b>	
S.U.C.S. (ASTM D 2487)	GC – GM
Grava arcilloso - limosa con arena	
AASHTO (ASTM D3282)	A- 2- 4 (0)
Grava y arena arcillosa o limosa	

<b>ANALISIS GRANULOMETRICO (ASTM D422 / ASTMD 2487 /MTC E204)</b>					
<b>MALLA (Abertura)</b>		<b>PESO</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
<b>PLG.</b>	<b>m m.</b>	<b>RETENIDO</b>	<b>RETENIDO</b>	<b>ACUMULADO</b>	<b>PASANTE</b>
		<b>(gr.)</b>			
3"	75				100.00
2 1/2"	63	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25	66.20	1.06	1.06	98.94
3/4"	19	267.10	4.29	5.36	94.64
1/2"	12.5	718.60	11.55	16.91	83.09
3/8"	9.5	428.70	6.89	23.80	76.20
N° 4	4.75	1406.90	22.62	46.42	53.58
N° 10	2	1221.70	10.52	56.95	43.05
N° 20	0.85	743.50	6.40	63.35	36.65
N °40	0.425	354.00	3.05	66.40	33.60
N° 50	0.3	186.50	1.61	68.01	31.99
N° 100	0.149	306.10	2.64	70.64	29.36
N° 200	0.074	193.20	1.66	72.31	27.69
<b>&lt; 200</b>	<b>Fondo</b>	<b>3215.0</b>	<b>27.7</b>	<b>100.0</b>	<b>0.00</b>

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 14** *Resultados de análisis granulométrico de cantera + 2% cal hidratada*

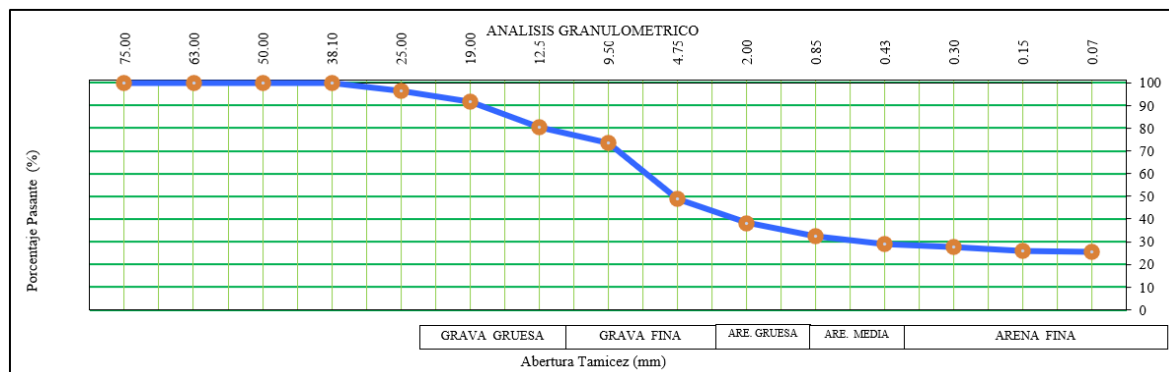


Figura 16 Curva granulométrica suelo A- 2- 4 (0) + 2% cal hidratada.

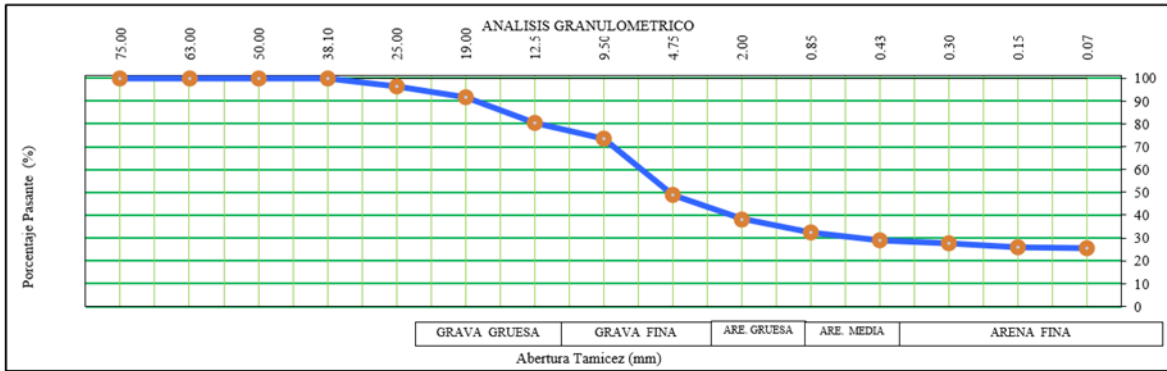
### Resultados de análisis granulométrico con adición de 5% de cal hidratada

CLASIFICACION DEL SUELO	
S.U.C.S. (ASTM D 2487)	GC-GM
Grava arcilloso – limosa	
AASHTO (ASTM D3282)	A-1-b (0)
Fragmento de roca, grava y arena	

Tabla 15 Resultados de análisis granulométrico + 5 % cal hidratada.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D422 / ASTMD 2487 /MTC E204)					
MALLA (Abertura)	PESO	%	%	%	
PLG.	m m.	RETENIDO (gr.)	RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3"	75				100.00
2 1/2"	63	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25	221.90	3.57	3.57	96.43
3/4"	19	306.50	4.93	8.50	91.50
1/2"	12.5	700.60	11.26	19.76	80.24
3/8"	9.5	421.20	6.77	26.53	73.47
N° 4	4.75	1532.20	24.63	51.16	48.84
N° 10	2	1347.30	10.58	61.74	38.26
N° 20	0.85	756.00	5.94	67.68	32.32
N °40	0.425	417.70	3.28	70.96	29.04
N° 50	0.3	158.30	1.24	72.20	27.80
N° 100	0.149	226.70	1.78	73.98	26.02
N° 200	0.074	79.60	0.62	74.61	25.39
< 200	Fondo	3234.4	25.4	100.0	0.00

Fuente: Elaboración propia



**Figura 17** Curva granulométrica suelo A- 2- 4 (0) + 5% cal hidratada.

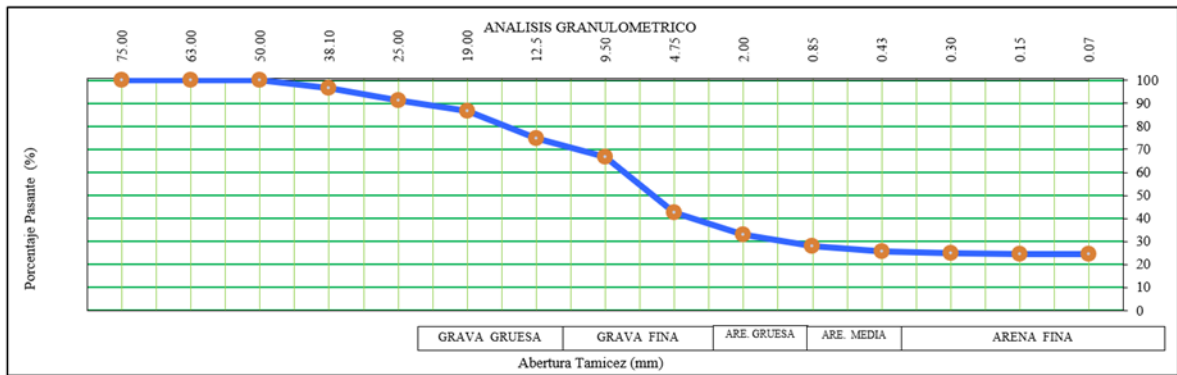
**Resultados de análisis granulométrico con adición de 10% de cal hidratada**

CLASIFICACION DEL SUELO	
S.U.C.S. (ASTM D 2487)	GC-GM
Grava arcilloso – limoso	
AASHTO (ASTM D3282)	A-I-b (0)
fragmento de roca, grava y arena	

**Tabla 16** Resultados de análisis granulométrico cantera +10 % cal hidratada

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D422 / ASTM D 2487 / MTC E204)					
MALLA (Abertura)	PESO	%	%	%	
PLG.	m m.	RETENIDO (gr.)	RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3"	75				100.00
2 1/2"	63	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.1	184.80	3.32	3.32	96.68
1"	25	303.70	5.45	8.77	91.23
3/4"	19	255.30	4.58	13.35	86.65
1/2"	12.5	667.10	11.98	25.33	74.67
3/8"	9.5	443.40	7.96	33.29	66.71
N° 4	4.75	1355.90	24.34	57.63	42.37
N° 10	2	1216.70	9.25	66.89	33.11
N° 20	0.85	670.70	5.10	71.99	28.01
N° 40	0.425	333.00	2.53	74.52	25.48
N° 50	0.3	73.90	0.56	75.08	24.92
N° 100	0.149	53.20	0.40	75.49	24.51
N° 200	0.074	8.60	0.07	75.55	24.45
< 200	Fondo	3213.9	24.4	100.0	0.00

Fuente: Elaboración propia.

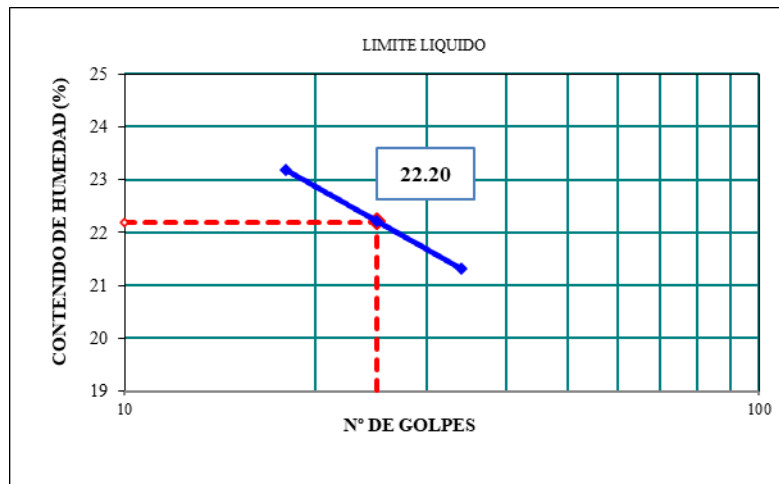


**Figura 18** Curva granulométrica suelo A-I-b (0) + 10% cal hidratada.

#### 4.2.4. Resultados para límites de Atterberg cantera Sole II - Higerón

Resultados para límites de Atterberg cantera Sole II – Higerón, muestra patrón.

LÍMITES DE CONSISTENCIA MUESTRA PATRÓN SIN ADICIÓN DE CAL HIDRATADA		
LÍMITE LÍQUIDO	22.2	%
LÍMITE PLÁSTICO	18.09	%
ÍNDICE PLÁSTICIDAD	4.11	%



**Figura 19** Límite líquido con muestra patrón sin cal hidratada

#### 4.2.5. Resultados para límites de Atterberg con adición de cal hidratada

##### Resultados para límites de Atterberg cantera Sole II – Higerón, muestra patrón + 2 % de cal hidratada

LIMITES DE CONSISTENCIA MUESTRA PATRÓN +2 % DE CAL HIDRATADA		
LIMITE LIQUIDO	24.69	%
LIMITE PLASTICO	18.72	%
INDICE PLASTICIDAD	5.97	%

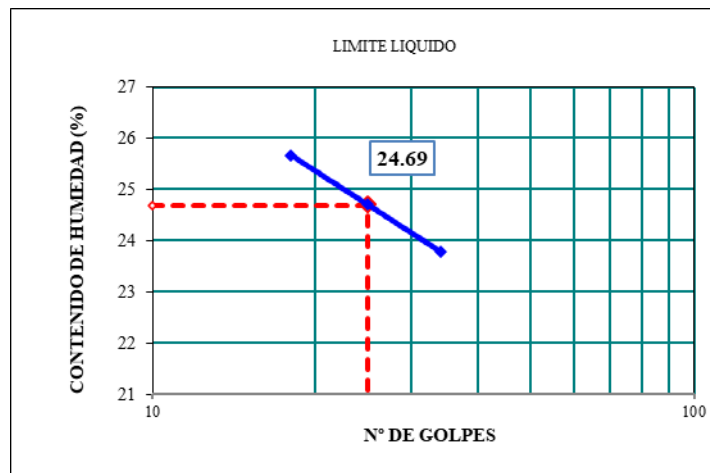
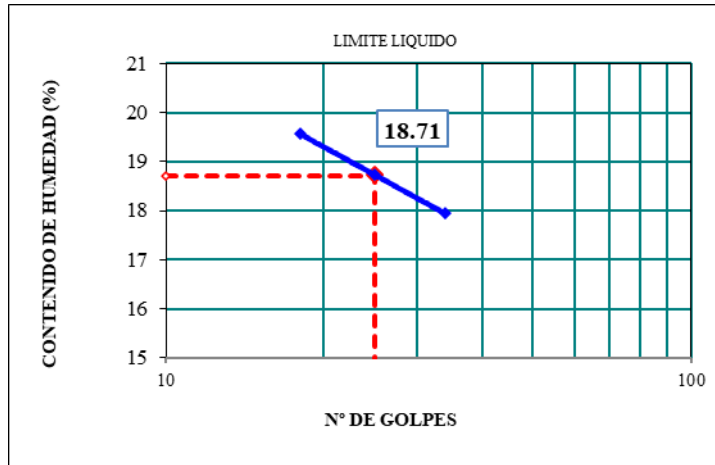


Figura 20 Límite líquido con muestra patrón +2 % cal hidratada.

##### Resultados para límites de Atterberg cantera Sole II – Higerón, muestra patrón +5 de cal hidratada

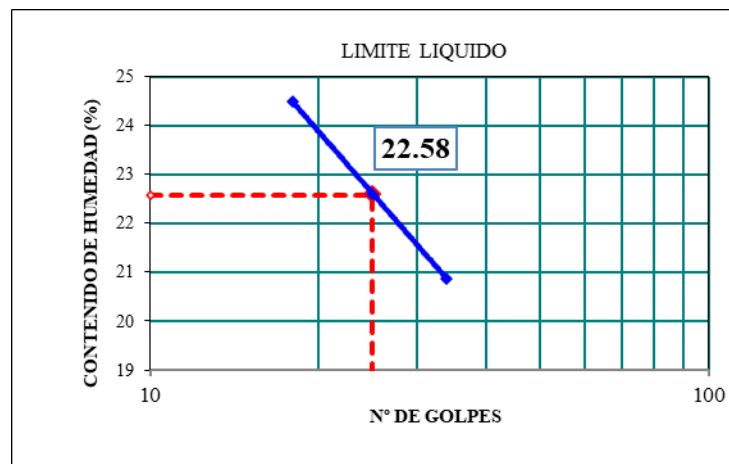
LIMITES DE CONSISTENCIA MUESTRA PATRÓN +5 % DE CAL HIDRATADA		
LIMITE LIQUIDO	18.71	%
LIMITE PLASTICO	14.65	%
INDICE PLASTICIDAD	4.06	%



**Figura 21** Límite líquido con muestra patrón +5% cal hidratada.

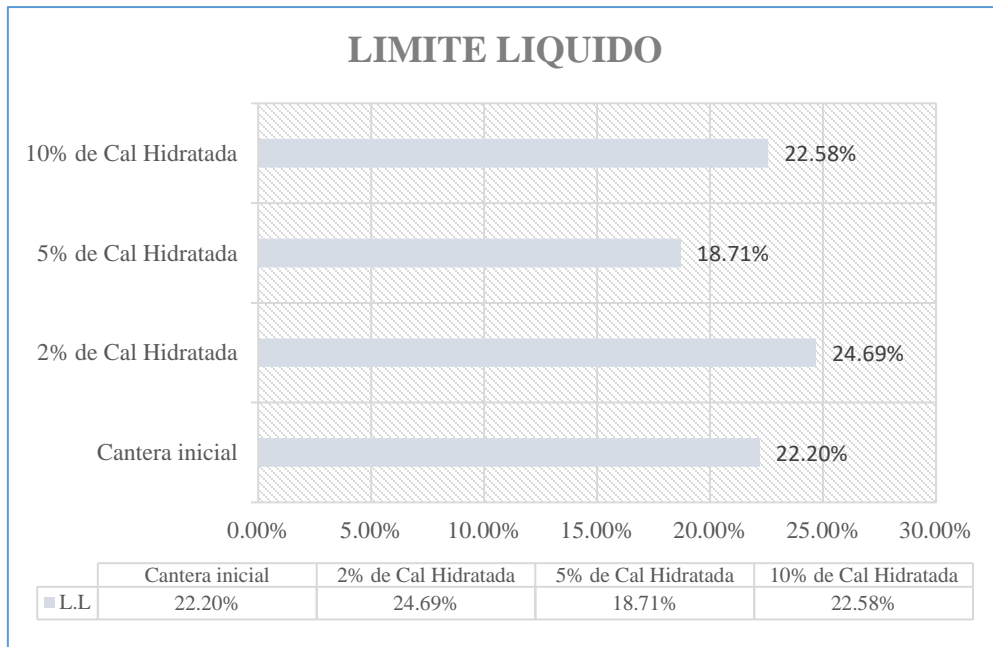
**Resultados para límites de Atterberg cantera Sole II – Higuierón, muestra patrón +10% de cal hidratada**

LÍMITES DE CONSISTENCIA MUESTRA PATRÓN +10% DE CAL HIDRATADA		
LÍMITE LÍQUIDO	22.58	%
LÍMITE PLÁSTICO	NP	%
ÍNDICE PLÁSTICIDAD	NP	%

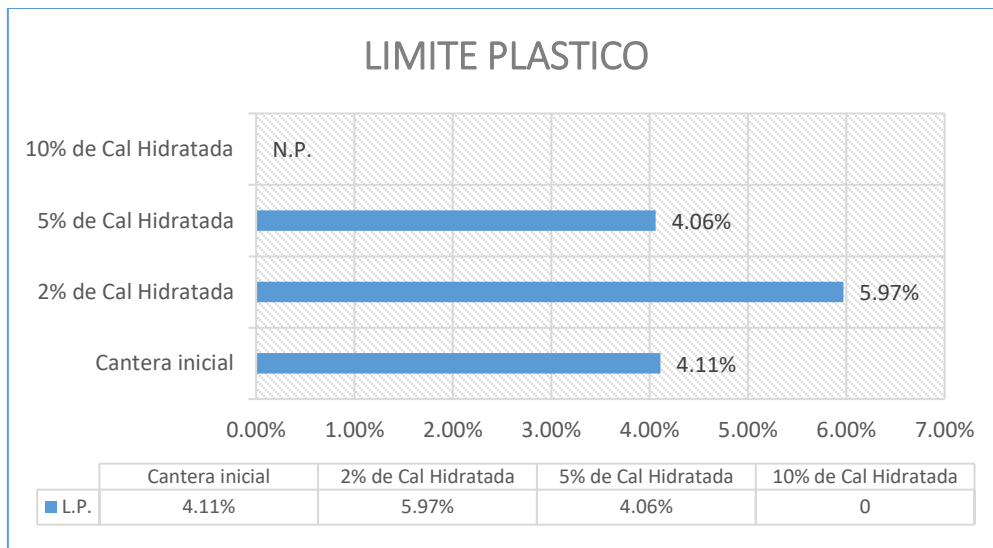


**Figura 22** Límite líquido con muestra patrón +10% cal hidratada.

#### 4.2.6. Resumen de Límites de Atterberg

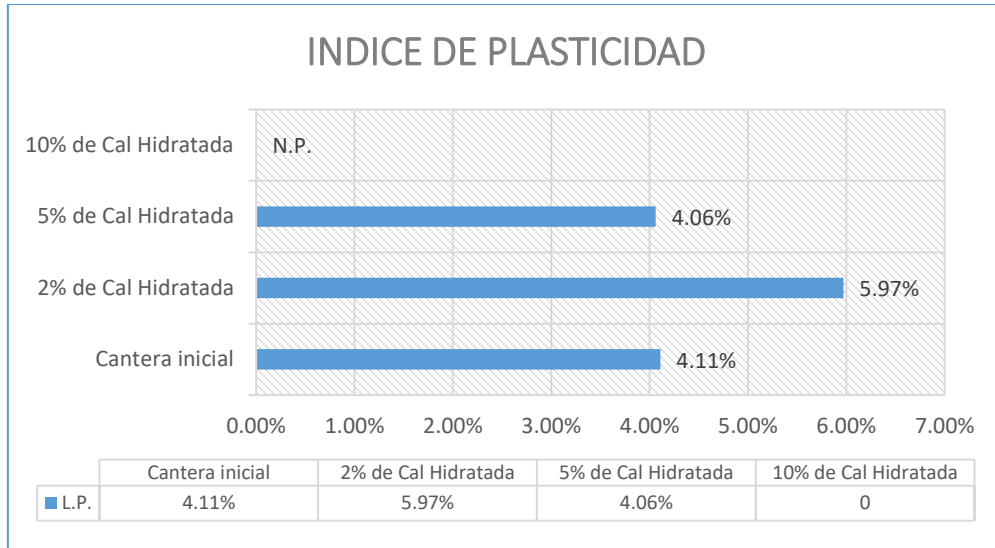


**Figura 23** Sinopsis resultados experimento Limite Liquido



**Figura 24** Sinopsis resultados Limite Plástico.



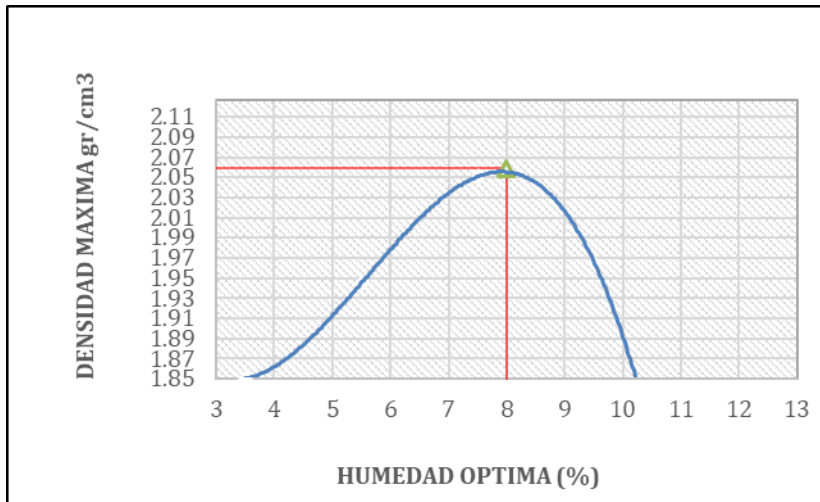


**Figura 25** Sinopsis resultados Índice de plasticidad.

#### 4.2.7. Proctor modificado muestra patrón sin cal hidratada.

##### Proctor modificado cantera Sole II – Higuero, muestra patrón.

Densidad Máxima	2.06	gr/cm <sup>3</sup>
Humedad Optima	8.00	%

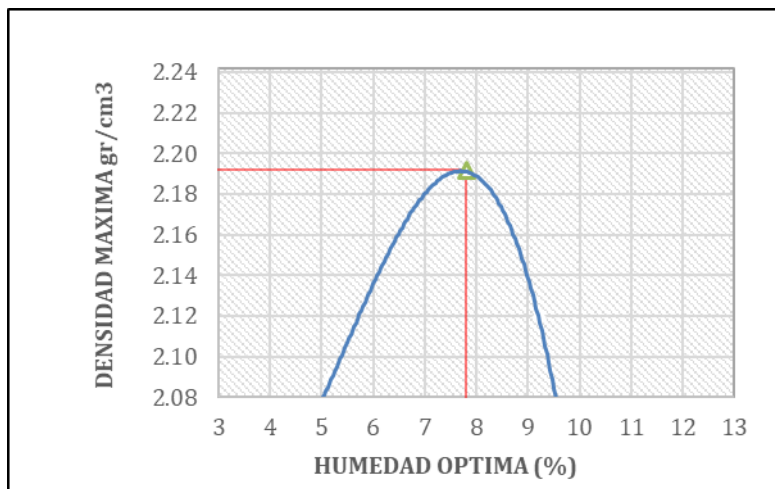


**Figura 26** Curva de compacidad de muestra patrón sin cal hidratada

#### 4.2.8. Proctor modificado con adición de cal hidratada

**Proctor Modificado (Cantera Sole II – Higerón) muestra patrón + 2% de cal hidratada.**

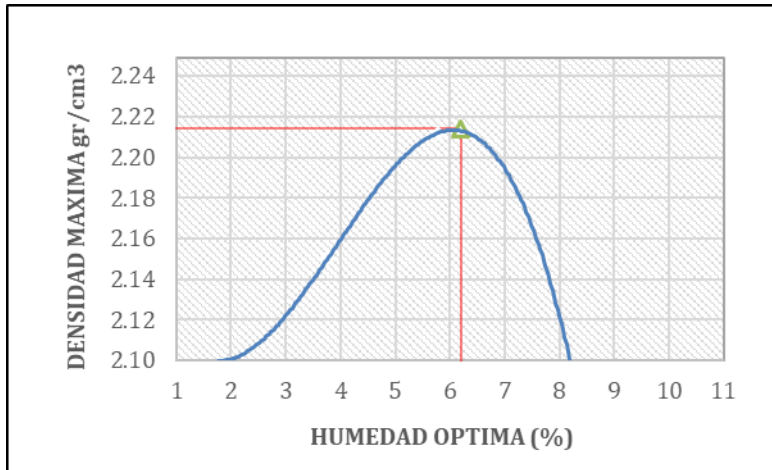
Densidad Máxima	2.19	gr/cm <sup>3</sup>
Humedad Optima	7.80	%



**Figura 27** Curva de compacidad de muestra patrón +2% cal hidratada.

**Proctor modificado (cantera Sole II - Higerón) muestra patrón + 5% cal hidratada**

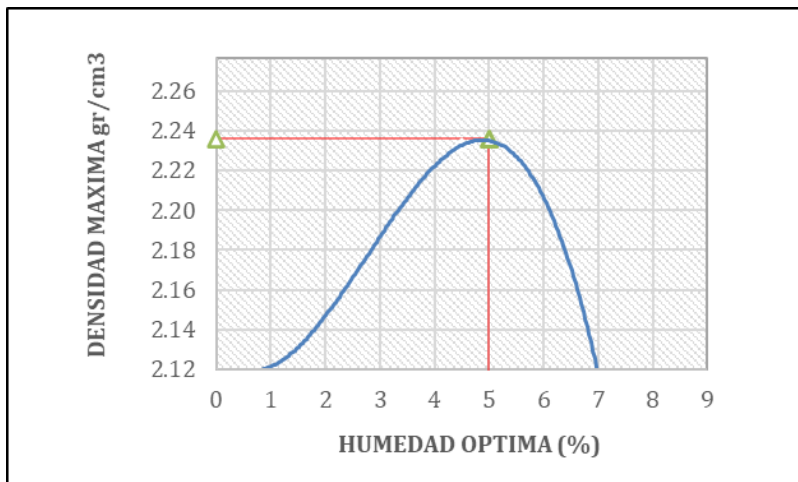
Densidad Máxima	2.20	gr/cm <sup>3</sup>
Humedad Optima	6.2	%



**Figura 28** Curva de compactación de muestra patrón +5% cal hidratada

**Proctor modificado (cantera Sole II - Higuerón) muestra patrón + 10 % cal hidratada**

Densidad Máxima	2.24	gr/cm3
Humedad Optima	5.00	%



**Figura 29** Curva de compactación de muestra patrón +10% cal hidratada

#### 4.2.9. Resumen de resultados de Proctor Modificado

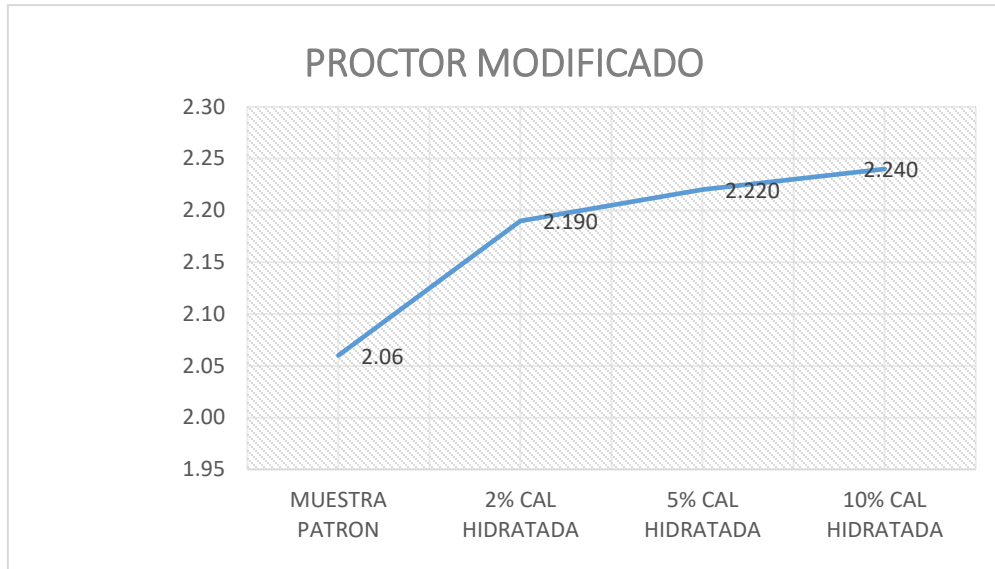


Figura 30 Sinopsis de resultados ensayo de Proctor Modificado.

#### 4.2.10. Resumen de resultados humedad óptima

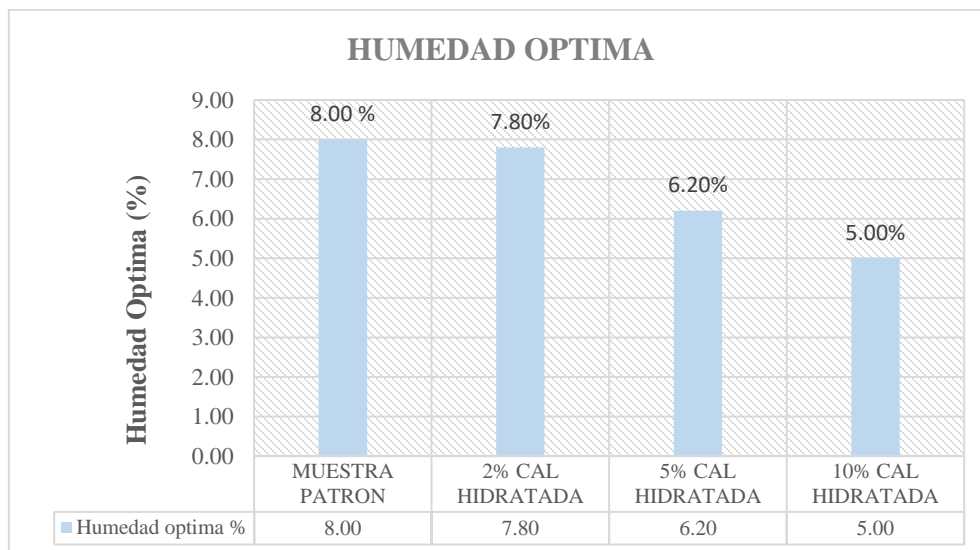


Figura 31 Sinopsis de resultados de Humedad óptima.

#### 4.2.11. Resultados de CBR – Muestra patrón

Resultados de CBR de cantera Sole II – Higuerón, muestra patrón sin adición de cal hidratada, se obtuvo:

Método de Compactación	AASHTO 1
100% Máxima densidad seca (gr/cm <sup>2</sup> )	2.062
Optimo contenido de humedad (%)	8.00
95% máxima densidad seca (gr/cm <sup>2</sup> )	1.959
90% máxima densidad seca (gr/cm <sup>2</sup> )	1.856

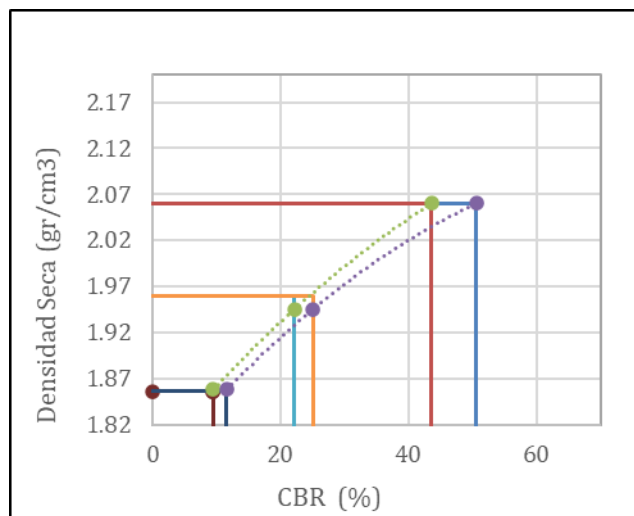


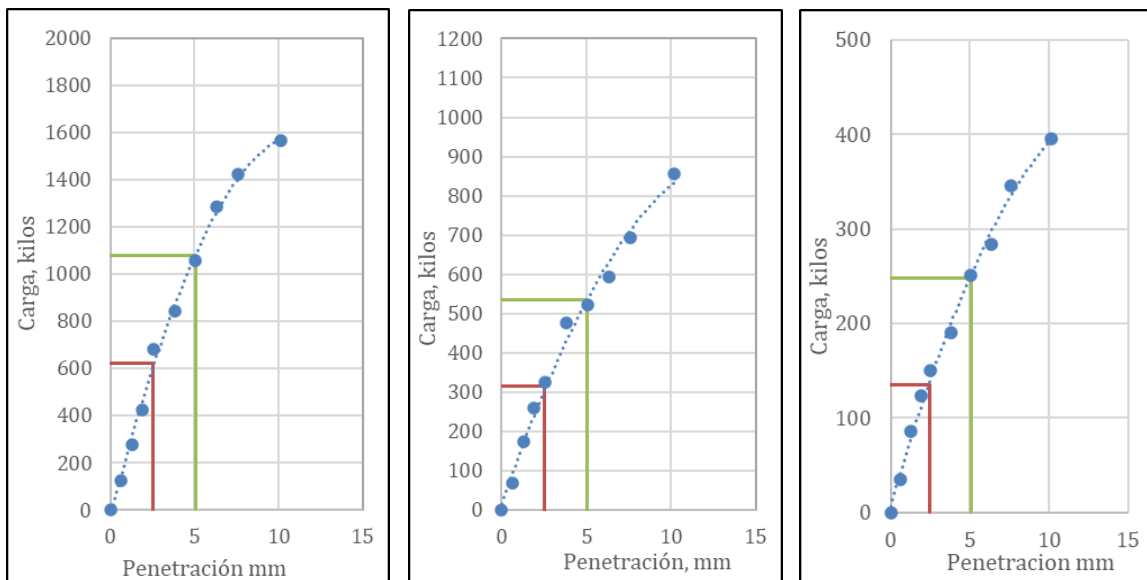
Figura 32 Densidad máxima seca – CBR 100%,95% Y 90%.

	AI 100%	AI 95%	AI 90%
C.B.R M.D.S de 0.1"	44	22	9
C.B.R M.D.S de 0.2"	51	25	12

**Tabla 17** Resultados CBR, muestra patrón sin cal hidratada

PENETRACION		CARGA ESTÁNDAR kg/cm <sup>2</sup>	56 GOLPES			25 GOLPES			12 GOLPES		
mm	pulg.		CARGA kg	CORRECCION kg CBR %		CARGA kg	CORRECCION kg CBR %		CARGA kg	CORRECCION kg CBR %	
0.000	0.000		0			0			0		
0.635	0.250		122.9			67.8			34.7		
1.270	0.500		275.2			174.0			85.8		
1.905	0.750		425.5			259.2			123.9		
2.540	1.000	70.455	683.0	620.0	43.6	326.3	315.0	22.1	149.9	135.0	9.5
3.810	1.500		842.3			475.6			190.0		
5.080	2.000	105.680	1057.8	1080.0	50.6	521.7	535.0	25.1	251.1	248.0	11.6
6.350	2.500		1284.2			592.8			284.2		
7.620	3.000		1423.5			693.0			345.3		
10.160	4.000		1564.8			855.4			395.4		

Fuente: Elaboración propia



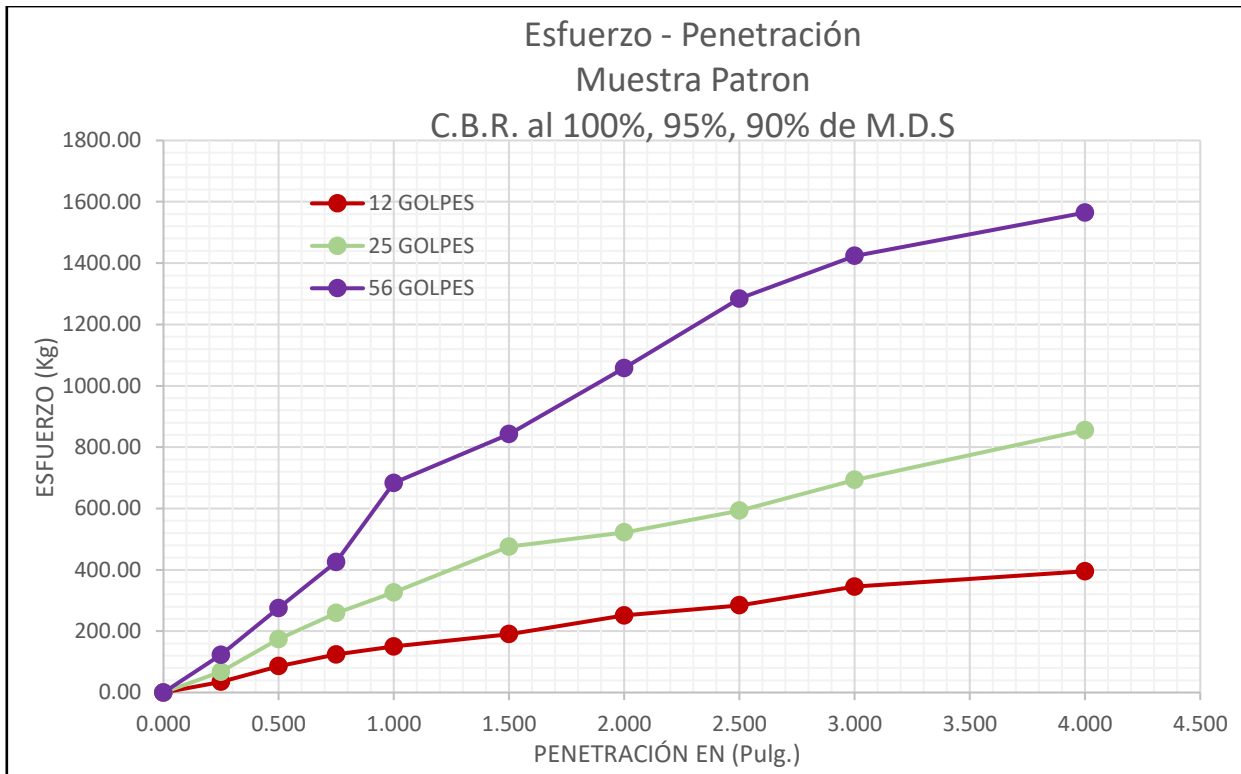
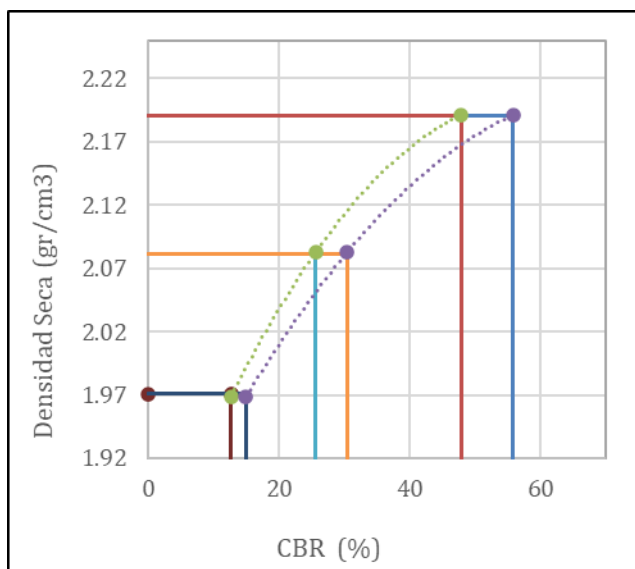


Figura 33 Curva esfuerzo – penetración, muestra patrón sin cal hidratada.

#### 4.2.12. Resultados de CBR con adición de cal hidratada

Resultados de CBR de muestra patrón + 2% de adición de cal hidratada se obtuvo:

Método de Compactación	AASHTO T-180
Máxima densidad seca (gr/cm <sup>2</sup> )	2.190
Optimo contenido de humedad (%)	7.80
95% máxima densidad seca (gr/cm <sup>2</sup> )	2.081
90% máxima densidad seca (gr/cm <sup>2</sup> )	1.971



**Figura 34** Densidad máxima seca – CBR 100%,95% Y 90%.

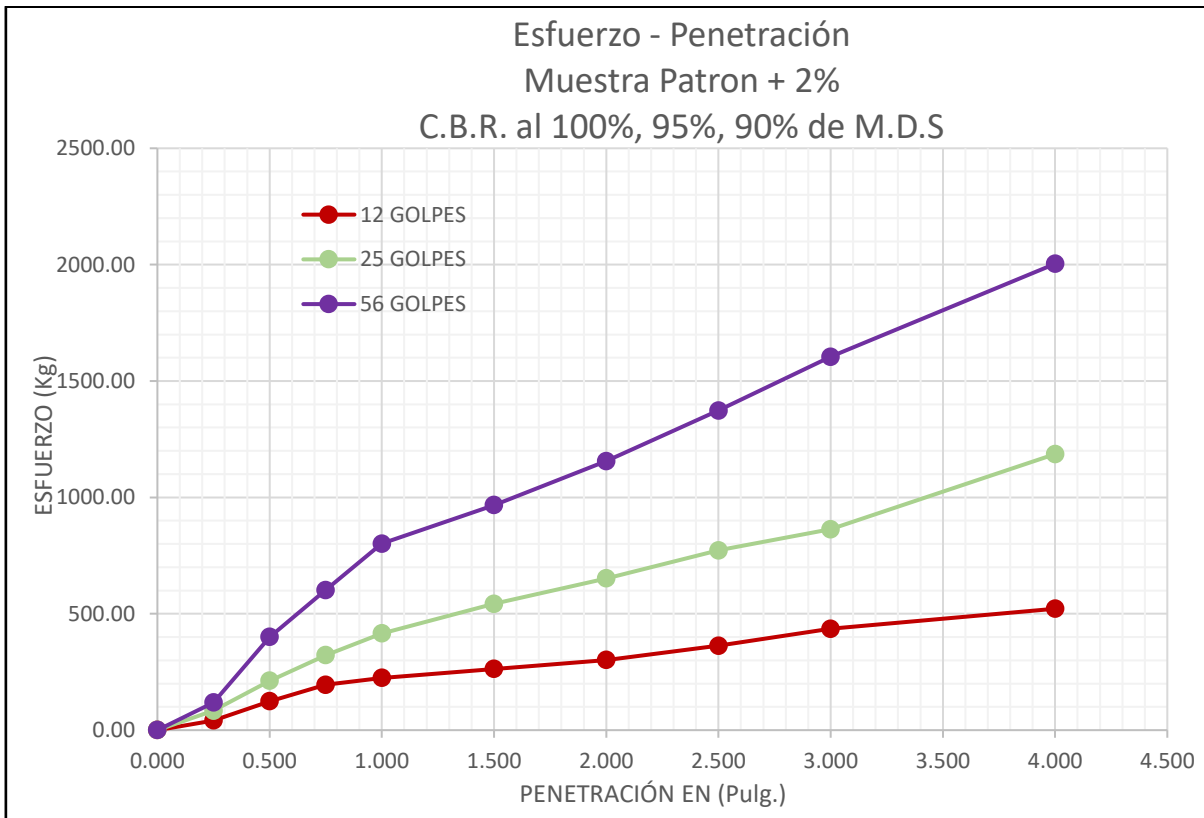
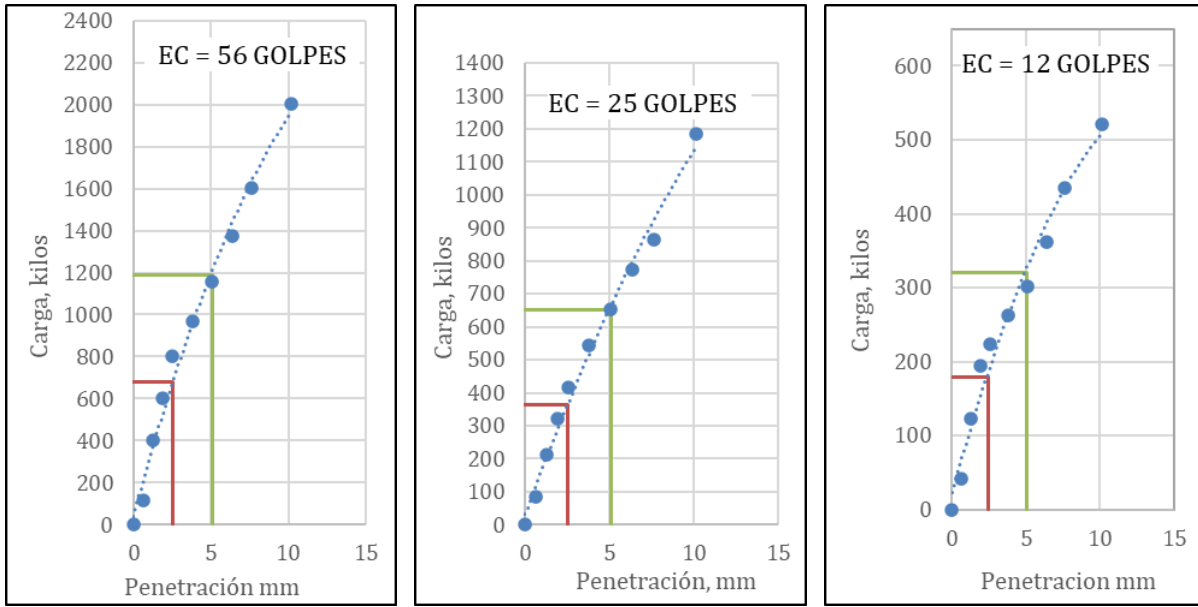
	AI 100%	AI 95%	AI 90%
C.B.R M.D.S de 0.1"	48	26	13
C.B.R M.D.S de 0.2"	56	30	15

**Tabla 18** Resultados CBR, muestra patrón +2% cal hidratada

PENETRACION		CARGA ESTÁNDAR kg/cm <sup>2</sup>	56 GOLPES			25 GOLPES			12 GOLPES		
mm	pulg.		CARGA kg	CORRECCION kg CBR %		CARGA kg	CORRECCION kg CBR %		CARGA kg	CORRECCION kg CBR %	
0.000	0.000		0.00			0.00			0.00		
0.635	0.250		118.89			83.82			41.73		
1.270	0.500		400.45			212.07			123.90		
1.905	0.750		601.85			322.29			195.04		
2.540	1.000	70.46	801.25	680.00	47.81	415.48	365.00	25.66	224.10	180.00	12.65
3.810	1.500		966.58			542.73			263.17		
5.080	2.000	105.68	1155.96	1190.00	55.78	651.95	650.00	30.47	301.25	320.00	15.00
6.350	2.500		1373.39			772.19			362.37		
7.620	3.000		1603.85			863.37			435.52		
10.160	4.000		2003.65			1186.02			521.69		

Fuente: Elaboración propia

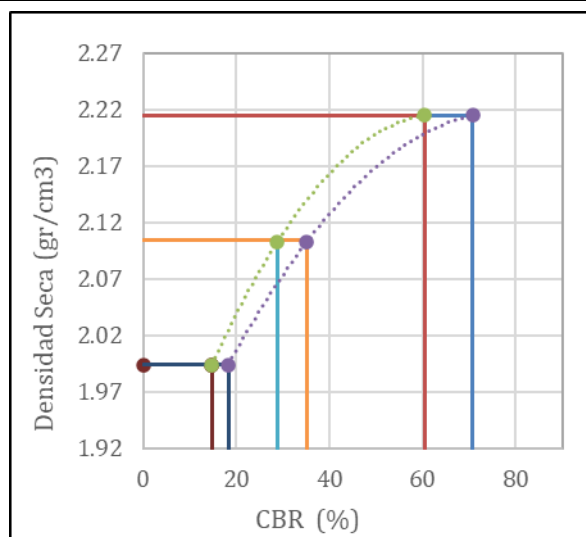




**Figura 35** Curva esfuerzo – penetración, muestra patrón +2% de cal hidratada.

**Resultados de CBR de muestra patrón + 5% de adición de cal hidratada se obtuvo:**

Método de Compactación	AASHTO T-180
Máxima densidad seca (gr/cm <sup>2</sup> )	2.215
Optimo contenido de humedad (%)	6.20
95% máxima densidad seca (gr/cm <sup>2</sup> )	2.104
90% máxima densidad seca (gr/cm <sup>2</sup> )	1.994



**Figura 36** Densidad máxima seca – CBR 100%,95% Y 90%.

	AI 100%	AI 95%	AI 90%
C.B.R M.D.S de 0.1"	60	29	15
C.B.R M.D.S de 0.2"	71	35	18

**Tabla 19** Resultados CBR, muestra patrón +5% cal hidratada

PENETRACION		CARGA ESTÁNDAR kg/cm <sup>2</sup>	56 GOLPES			25 GOLPES			12 GOLPES		
mm	pulg.		CARGA kg	CORRECCION kg CBR %		CARGA kg	CORRECCION kg CBR %		CARGA kg	CORRECCION kg CBR %	
0.000	0.000		0.00			0.00			0.00		
0.635	0.250		144.94			83.82			44.74		
1.270	0.500		452.55			215.08			144.94		
1.905	0.750		686.02			356.36			198.04		
2.540	1.000	70.46	886.42	860.00	60.5	452.55	410.00	28.82	245.14	210.00	14.76
3.810	1.500		1270.18			598.84			320.29		
5.080	2.000	105.68	1526.70	1510.00	70.77	722.09	750.00	35.15	379.41	390.00	18.28
6.350	2.500		1801.24			886.42			450.55		
7.620	3.000		1938.52			1126.90			554.76		
10.160	4.000		2329.30			1387.42			625.90		

Fuente: Elaboración propia

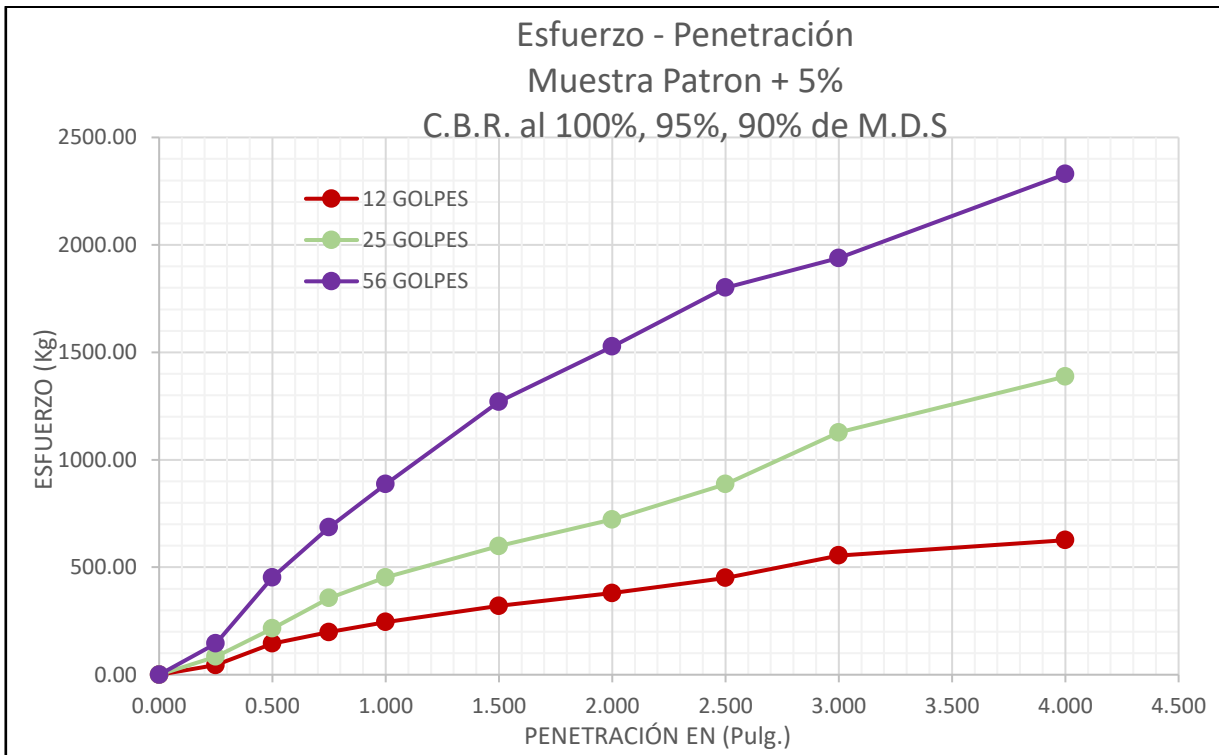
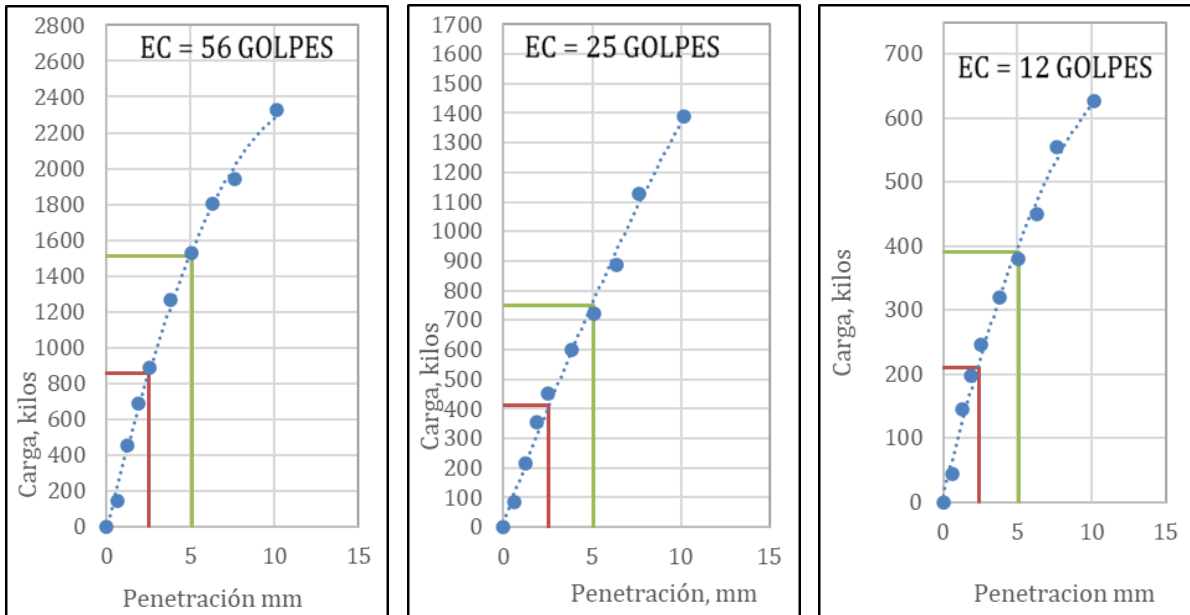
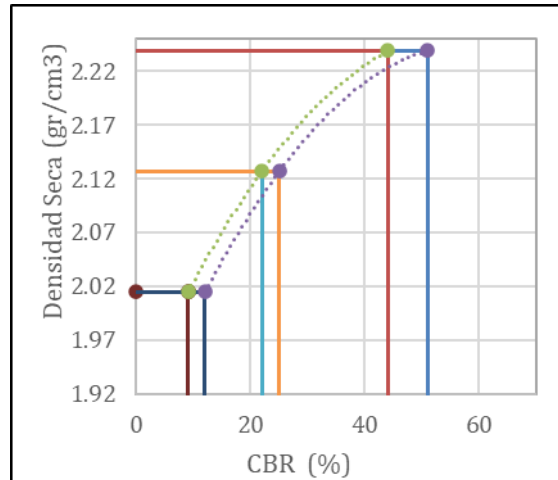


Figura 37 Curva esfuerzo – penetración, muestra patrón +5% cal hidratada.

Resultados de CBR de muestra patrón + 10% de adición de cal hidratada se obtuvo:

Método de Compactación	AASHTO T-180
Máxima densidad seca (gr/cm <sup>2</sup> )	2.239
Optimo contenido de humedad (%)	5.00

Método de Compactación	AASHTO T-180
95% máxima densidad seca (gr/cm <sup>2</sup> )	2.127
90% máxima densidad seca (gr/cm <sup>2</sup> )	2.015



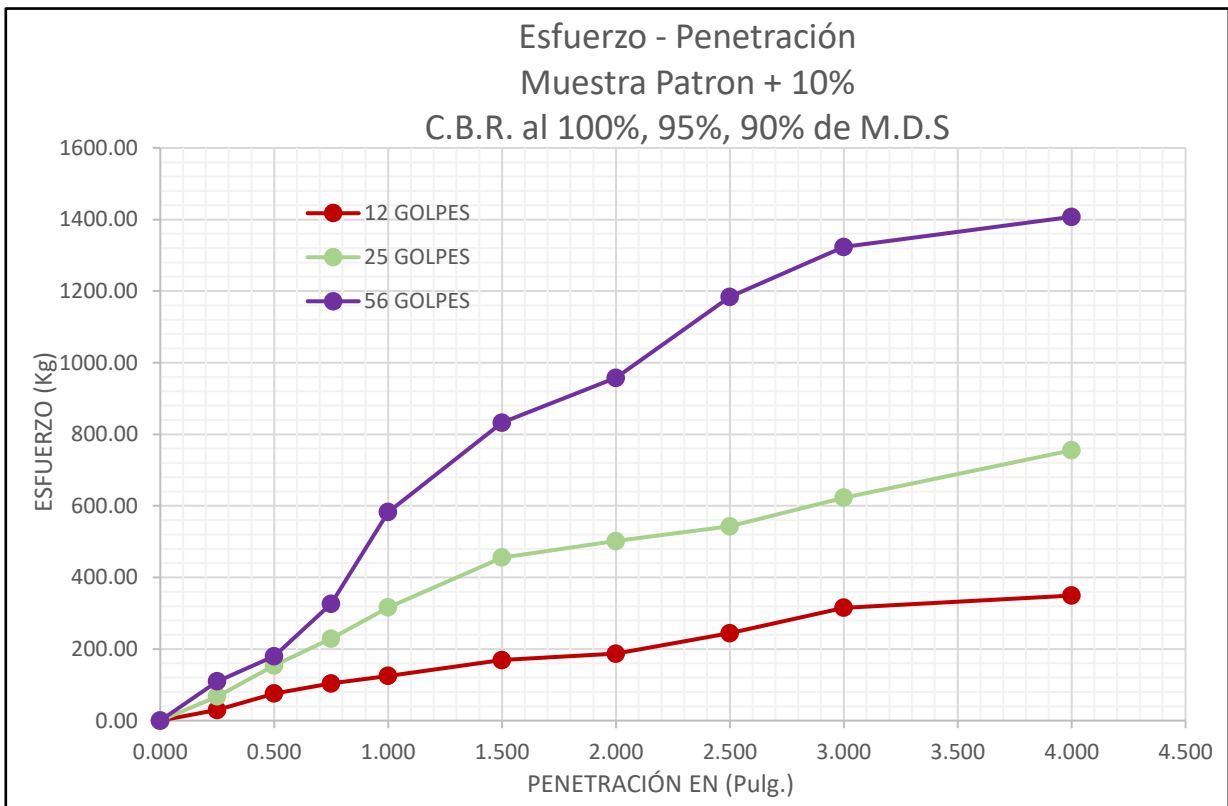
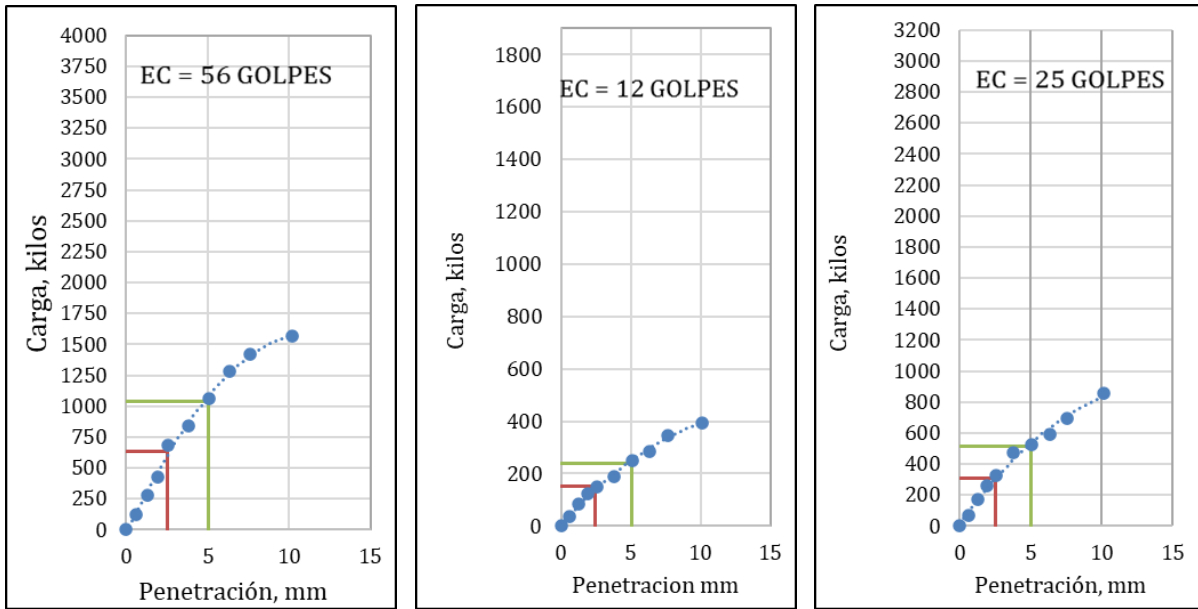
**Figura 38** Densidad máxima seca – CBR 100%,95% Y 90%.

	AI 100%	AI 95%	AI 90%
C.B.R M.D.S de 0.1"	38	19	8
C.B.R M.D.S de 0.2"	46	23	11

**Tabla 20** Resultados CBR, muestra patrón +10% cal hidratada

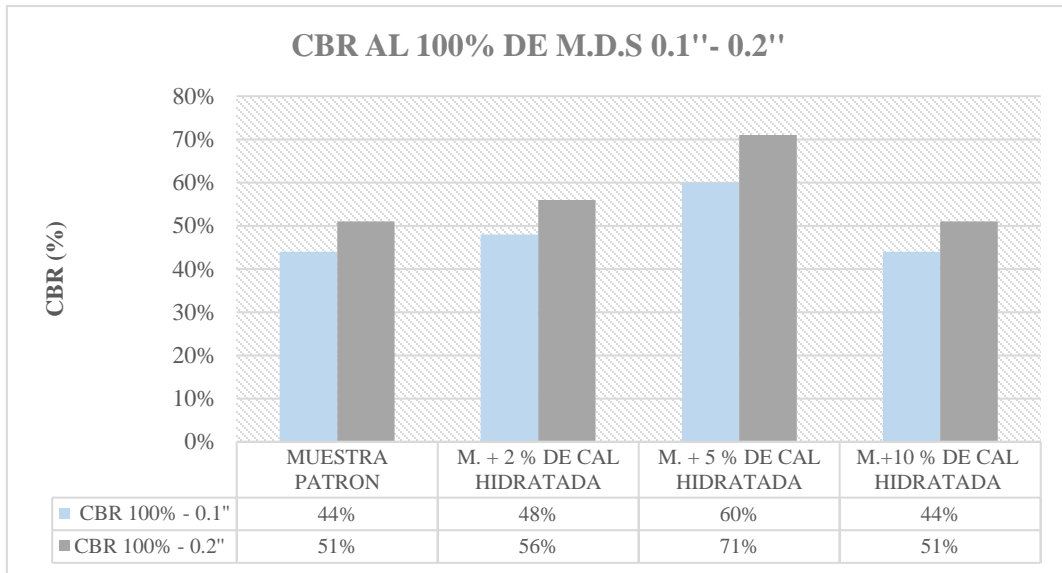
PENETRACION		CARGA ESTÁNDAR kg/cm <sup>2</sup>	56 GOLPES			25 GOLPES			12 GOLPES		
mm	pulg.		CARGA kg	CORRECCION kg CBR %		CARGA kg	CORRECCION kg CBR %		CARGA kg	CORRECCION kg CBR %	
0.000	0.000		0.00			0.00			0.00		
0.635	0.250		109.87			67.78			29.71		
1.270	0.500		180.01			153.96			75.80		
1.905	0.750		326.30			229.11			103.86		
2.540	1.000	80.46	582.81	620.00	38.2	316.28	315.00	19.39	124.90	135.00	8.31
3.810	1.500		832.31			455.56			168.99		
5.080	2.000	115.68	957.56	1080.00	46.24	501.65	535.00	22.91	187.02	248.00	10.62
6.350	2.500		1184.01			542.73			244.14		
7.620	3.000		1323.29			622.89			315.28		
10.160	4.000		1407.46			755.16			349.35		

Fuente: Elaboración propia

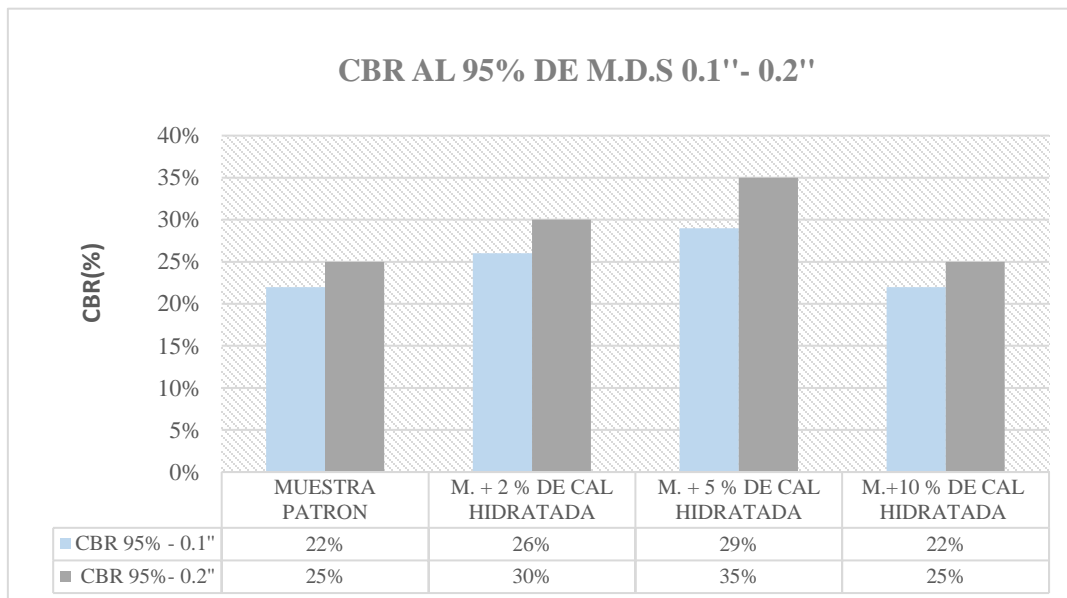


**Figura 39** curva esfuerzo – penetración, muestra patrón +10% de cal hidratada.

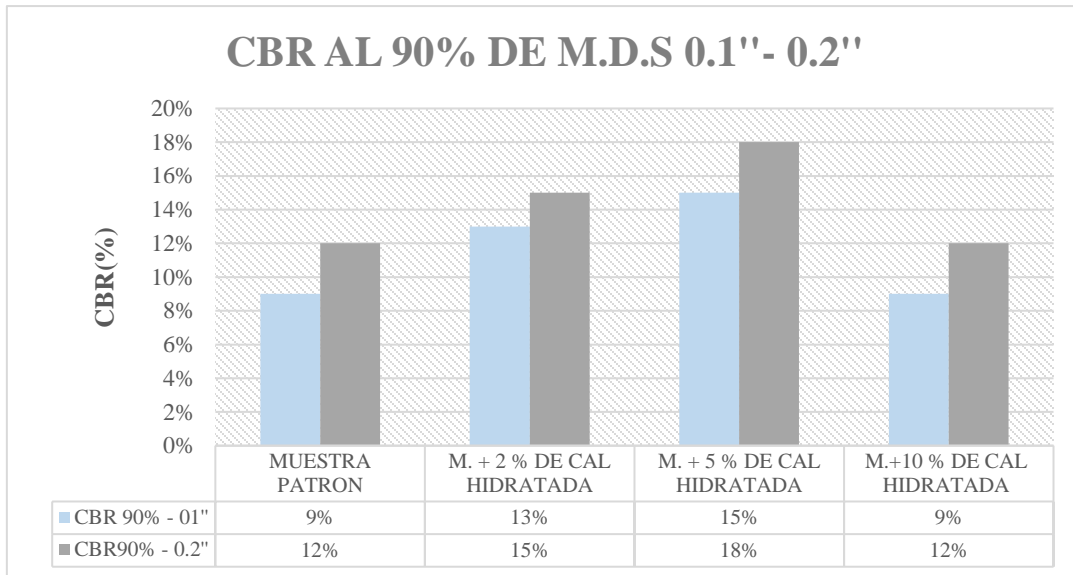
#### 4.2.13. Resumen comparativo – Ensayo CBR



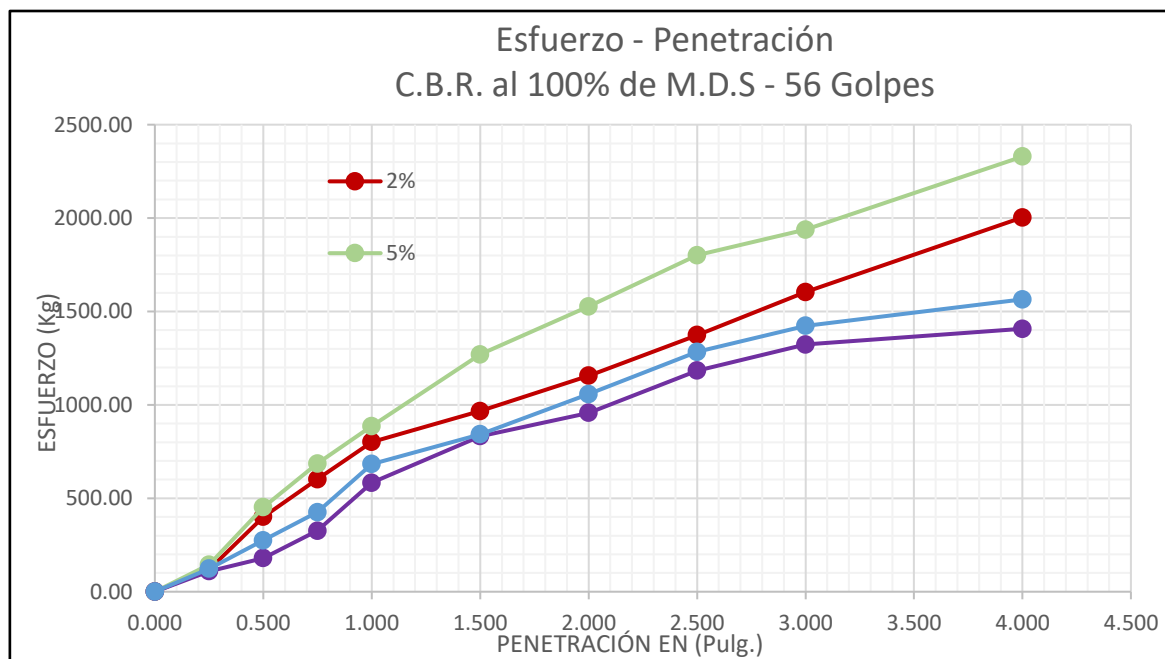
**Figura 40** Resumen de CBR al 100% de M.D.S 0.1''- 0.2''.



**Figura 41** Resumen de CBR al 95% de M.D.S 0.1''- 0.2''.



**Figura 42** Resumen de CBR al 90% de M.D.S 0.1"- 0.2".



**Figura 43** Curva esfuerzo – penetración, muestra patrón, 2%,5%,10% cal hidratada

#### 4.2.14. Ensayo de CBR in situ (PDC) ASTM D695

Tabla 21 Resultados de laboratorio CBR. In situ

N°	Cal hidratada (%)	Lectura inicial (cm)	L2(cm)	L3 (cm)	DCPI (mm)	CBR PDC ASTM D6951 (USACE) (%)	CBR LAB. SUMERGIDO ASTM D1883 (%) Ref. 1
1	0	9	9.55	9.90	4.50	54.28	44
2	0	8.98	9.49	9.89	4.55	53.51	44
3	0	8.58	9.2	9.5	4.6	52.86	44
4	2	10.2	10.5	10.91	3.53	72.16	48
5	2	10.1	10.4	10.80	3.5	71.78	48
6	2	9.8	10.11	10.52	3.6	69.55	48
7	5	10.3	10.61	10.86	2.79	92.36	60
8	5	10.54	10.7	11.1	2.8	92.16	60
9	5	10.1	10.3	10.67	2.83	91.07	60
10	10	9.4	9.8	10.2	4	61.65	38
11	10	9.09	9.5	9.90	4.05	60.96	38
12	10	9.45	9.85	10.28	4.15	59.32	38

Fuente: Resultados de laboratorio César Edilberto Arbulú Jurado.

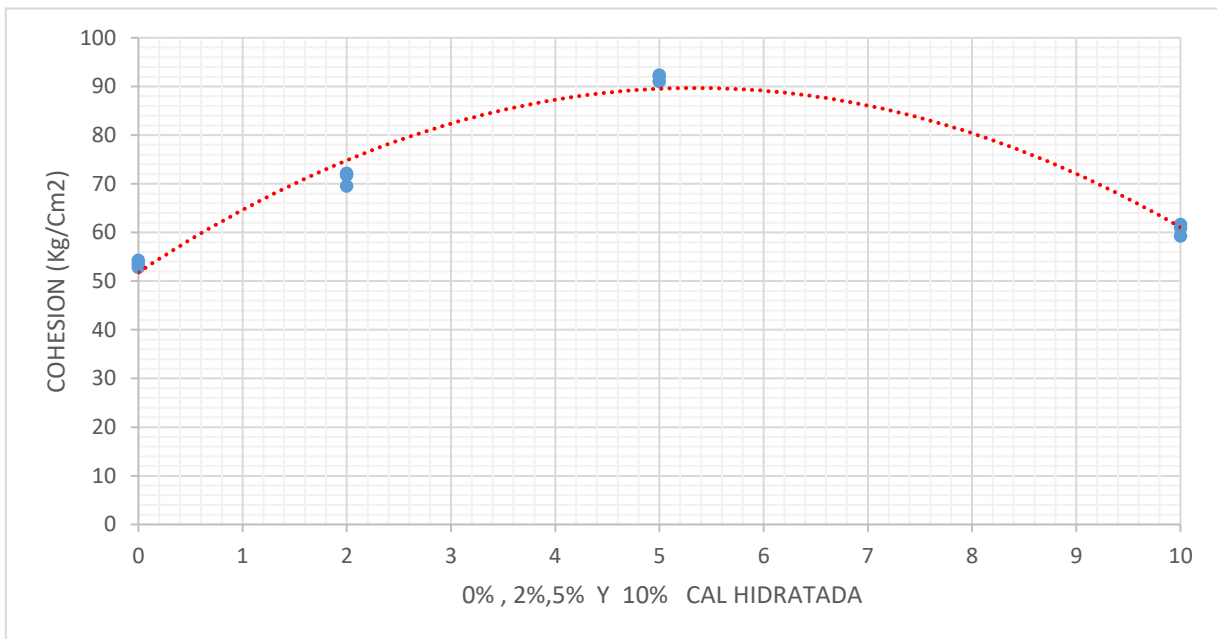


Figura 44 Curva de CBR. In situ. Fuente: Elaboración Propia



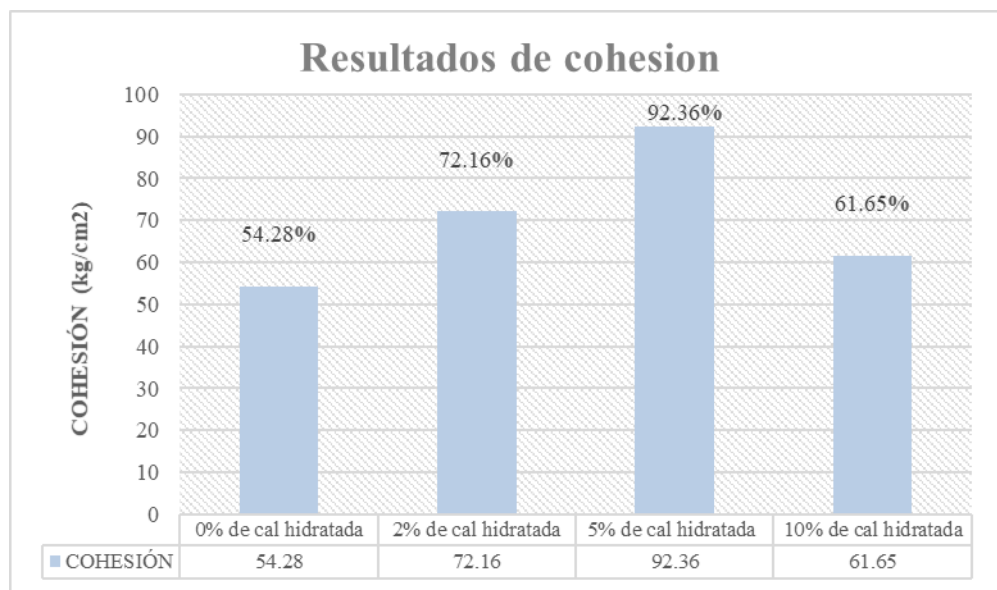


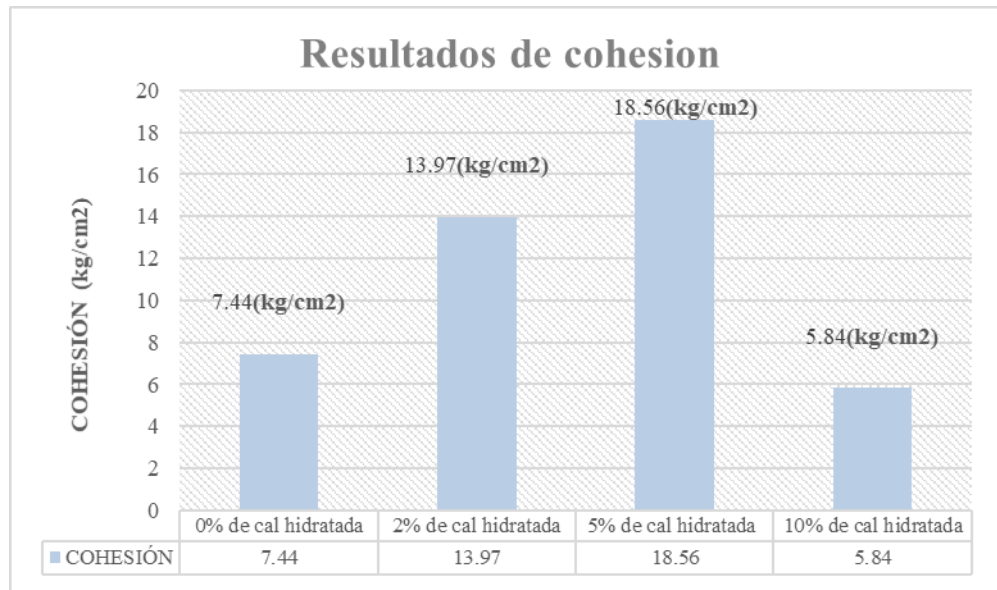
Figura 45 Sinopsis de ensayo CBR. In situ. Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.15. Ensayo de Compresión Simple para determinación de Cohesión

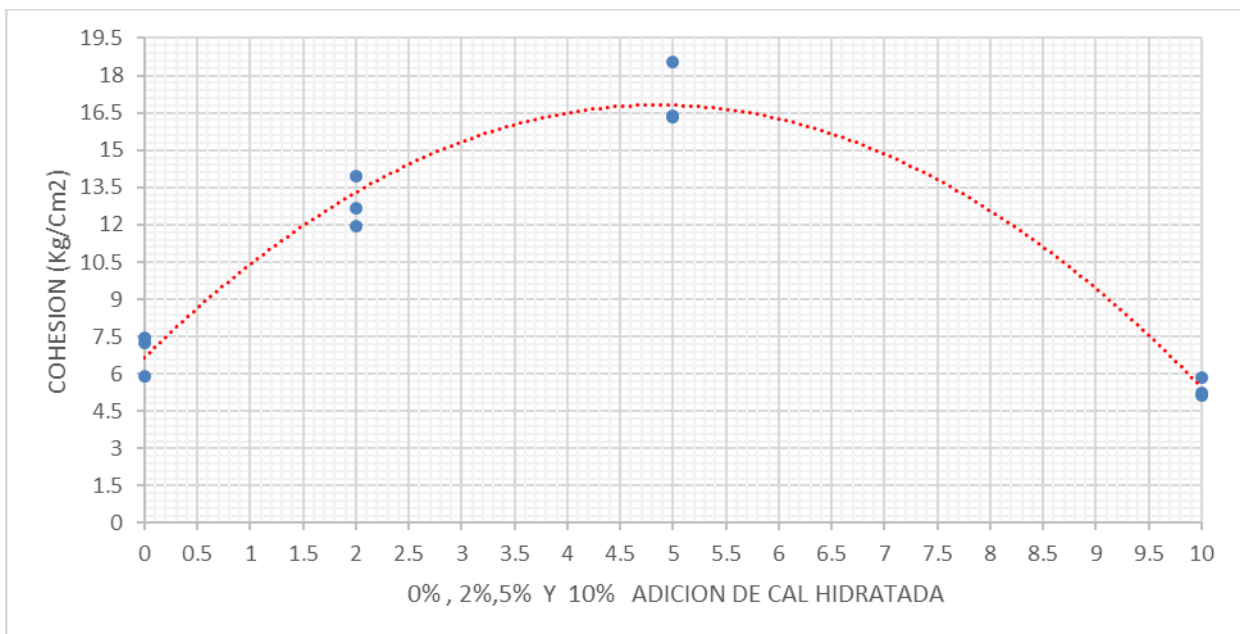
Tabla 22 Resultados de ensayo de compresión simple para Determinar la" cohesión

N	Cal Hidratada (%)	OH	Suelo (g)	Cal hidratada (g)	W húmedo (g)	W seco	d1 (mm)	d2 (mm)	h1 (mm)	h2 (mm)	Q (Kg)	Cohesión kg/cm2
1	0	8.0	220	0	217.7	197.4	41.42	42.32	81.68	81.51	100	7.26
2	0	8.0	220	0	216.9	197.2	41.36	41.54	81.53	81.41	80	5.93
3	0	8.0	220	0	218	197.9	41.28	41.47	81.14	80.91	100	7.44
4	2	7.8	220	4.4	215.8	194.4	41.6	41.64	79.74	79.96	190	13.97
5	2	7.8	220	4.4	217.4	195.7	41.24	41.36	81.1	81.61	160	11.94
6	2	7.8	220	4.4	217	195.6	41.25	41.4	81.86	81.83	170	12.67
7	5	6.2	220	11	223.7	201.1	41.33	41.43	81.28	81.45	220	16.36
8	5	6.2	220	11	222.9	201.3	41.28	41.55	80.19	80.6	250	18.56
9	5	6.2	220	11	222.8	201	41.31	41.47	80.09	80.12	220	16.35
10	10	5.0	220	22	229.5	212.3	41.65	41.54	79.68	79.55	70	5.15
11	10	5.0	220	22	211.3	196	42.09	41.41	72.07	72.64	80	5.84
12	10	5.0	220	22	231.7	214.1	41.33	41.43	81.12	80.9	70	5.21

Fuente: Resultados de laboratorio César Edilberto Arbulú Jurado.



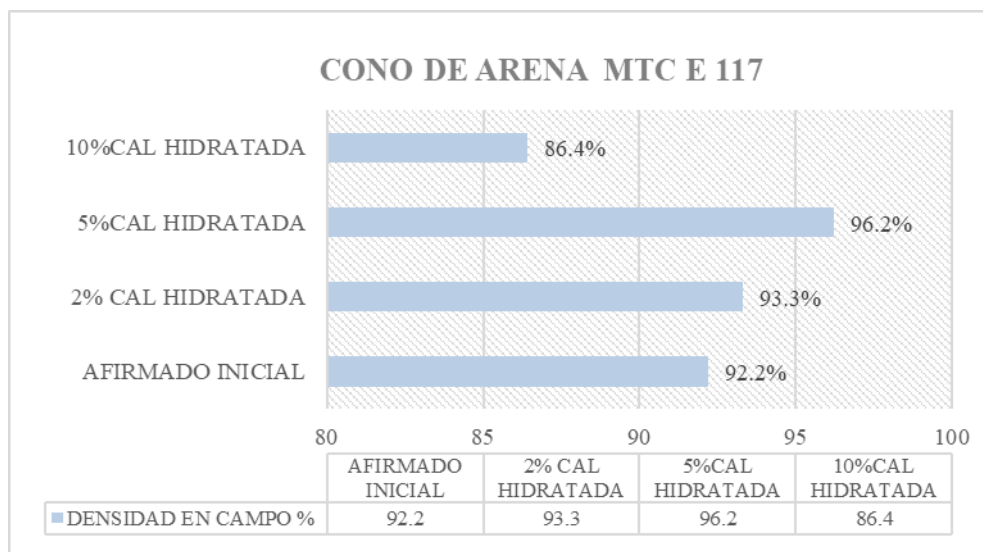
**Figura 46** Sinopsis de ensayo de compresión simple para determinar la cohesión.



**Figura 47** Curva cohesión – adición cal hidratada muestra patrón, 2%,5%,10%.

#### 4.2.16. Densidad de campo - cono de arena MTC E 117

Resultados del ensayo de densidad de campo se obtuvieron los siguientes valores mostrados en una gráfica de barras.



**Figura 48** Sinopsis de resultados ensayo de Densidad de campo

Después de que las mezclas y dosis propuestas fueron probadas en el campo y su compacidad fue confirmada usando el experimento del cono de arena descrito en los párrafos anteriores, los resultados se resumen aquí.

**Tabla 23** Resumen de resultados de densidad de campo

Ensayos de laboratorio	Requerimiento $\geq 3000$ msnm	Afirmado o sin Cal Hidratada	Afirmado +2% Cal Hidratada	Afirmado +5% Cal Hidratada	Afirmado +10% Cal Hidratada
MTC-E 117 Compactación - Densidad In Situ (Met. Cono de arena), (%)	> 95%	Punto 1	92.20%	93.30%	76.80%
		Punto 2	91.5%	92.80%	86.40%

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.17. Datos Abrasión los Ángeles (% de desgaste de los materiales)

El siguiente cuadro se obtuvo al analizar el material prototipo de Huillcarpay de acuerdo con el Manual de Caminos estándar: Requisitos Técnicos Detallados para la Construcción de Caminos (EG-2013): R.D. N° 22-2013-MTC Desgaste los Ángeles debe de tener un valor máximo de desgaste de 50% (MTC E 207).

**Tabla 24** Resultado de abrasión de los Ángeles

Ensayo	Resultado muestra patrón
Desgaste los Ángeles (MTC E 207).	27.08 %

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3. Docimasia de hipótesis

Debido al número determinista de ensayos, el modelado estadístico no es probabilístico. Para evitar dudas sobre el ingreso de datos, se presenta el análisis estadístico de las hipótesis mediante el software SPSS.

#### 4.3.1. (CBR %, California Bearing Ratio), Afirmado con cal hidratada

Descriptivos:

La siguiente tabla muestra los datos descriptivos luego del análisis estadístico de los resultados de la prueba CBR de laboratorio después de estabilizar el suelo con "cal hidratada" al 2, 5 y 10% en comparación con la muestra de suelo.

**Tabla 25** Descriptivos - CBR % (ensayo de laboratorio)

		Descriptivos		
Adición de Cal Hidratada (%)			Estadístico	Desv. Error
CBR% (laboratorio) 0	Media		46,4300	2,13870
	95% de intervalo de confianza para la media	límite inferior	37,2279	
		límite superior	55,6321	
	Media recortada al 5%			
	Mediana		45,0800	
	Varianza		13,722	
	Desv. Desviación		3,70434	
	Mínimo		43,59	
	Máximo		50,62	
	Rango		7,03	
	Rango intercuartil			
	Asimetría		1,422	1,225
	Curtosis			
CBR% (laboratorio) 2	Media		51,3533	2,34275
	95% de intervalo de confianza para la media	límite inferior	41,2733	
		límite superior	61,4334	
	Media recortada al 5%			
	Mediana		50,4700	
	Varianza		16,465	
	Desv. Desviación		4,05776	
	Mínimo		47,81	
	Máximo		55,78	
	Rango		7,97	
	Rango intercuartil			
	Asimetría		,933	1,225
	Curtosis			

CBR% (laboratorio) 5	Media		65,4600	2,98027	
	95% de intervalo de confianza para la media	límite inferior	52,6369		
	Media recortada al 5%	límite superior	78,2831		
	Mediana		65,1500		
	Varianza		26,646		
	Desv. Desviación		5,16199		
	Mínimo		60,46		
	Máximo		70,77		
	Rango		10,31		
	Rango intercuartil				
	Asimetría		,269	1,225	
	Curtosis				
	CBR% (laboratorio) 10	Media		42,4400	2,34143
		95% de intervalo de confianza para la media	límite inferior	32,3656	
Media recortada al 5%		límite superior	52,5144		
Mediana			42,9100		
Varianza			16,447		
Desv. Desviación			4,05548		
Mínimo			38,17		
Máximo			46,24		
Rango			8,07		
Rango intercuartil					
Asimetría			-,515	1,225	
Curtosis					

*Fuente: Elaboración propia (Programa IBM SPSS Statistics)*

### **Prueba de Normalidad**

Se realizan pruebas de hipótesis estadísticas sobre el porcentaje de CBR obtenido en experimentos de laboratorio después de la estabilización del suelo con diferentes porcentajes de cal hidratada, asumiendo el siguiente supuesto estadístico:

**Ho:** Los porcentajes de CBR (a partir de pruebas de laboratorio) que usan cal hidratada como estabilizador del suelo son de una distribución típica.

**Ha:** Los datos del porcentaje de CBR (de pruebas de laboratorio) que usan cal hidratada como estabilizador del suelo no son de una distribución normal.

Supera el umbral de significancia de 0,05 o rechaza la hipótesis nula tras determinar si la significancia obtenida por la prueba de normalidad es menor o mayor que 0,05.

**Tabla 26** Prueba de normalidad - CBR % (ensayo de laboratorio)

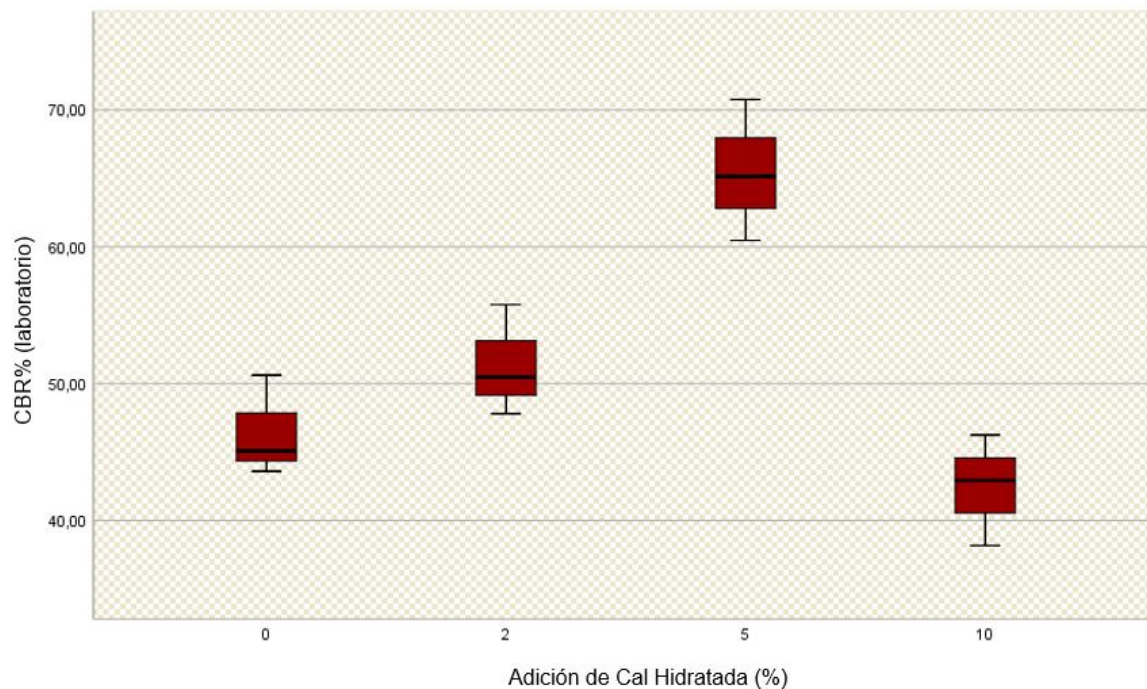
Adición de cal hidratada (%)	Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
CBR% (laboratorio)	0	,309	3	.	,900	3	,387
	2	,253	3	.	,964	3	,638
	5	,191	3	.	,997	3	,901
	10	,213	3	.	,990	3	,808

*Fuente: Elaboración propia (Programa IBM SPSS Statistics).*

Dado que todos los valores significativos de Shapiro-Wilk en las pruebas de laboratorio de CBR son superiores a 0,05, rechazamos la hipótesis nula y concluimos que el hidróxido de calcio se comporta como una "distribución paramétrica de datos y resultados de CBR de una base de datos normal.

### ***Diagrama de Bigotes***

Se utilizó un diagrama de bigotes para determinar la dispersión de la distribución y estimar el tamaño de la muestra para cada porcentaje de "cal hidratada" utilizada para la estabilización de suelos, observándose que los valores de CBR estaban sesgados a la baja cuando no se utilizaba cal hidratada, pero estaban dentro del rango especificado; cuando se usó 2% de cal hidratada, hubo asimetría a la baja, fue simétrico al utilizar el 5 %; con 10% los valores de CBR fueron asimétricos hacia arriba y dentro del rango especificado.



**Figura 49** Diagrama de bigotes - CBR % (ensayo de laboratorio).

### **Análisis de Correlación**

Se realizó una prueba de hipótesis nula para los datos de CBR porcentual obtenidos de las pruebas de laboratorio, la cual concluyó que los datos tenían una distribución normal; por lo tanto, se realizó un análisis de correlación de Pearson. El valor obtenido de -0,540 indica una correlación muy negativa entre el porcentaje de cal hidratada utilizado en el ensayo de estabilización y el CBR del suelo de laboratorio.

**Tabla 27** Correlaciones - CBR % (ensayo de laboratorio)

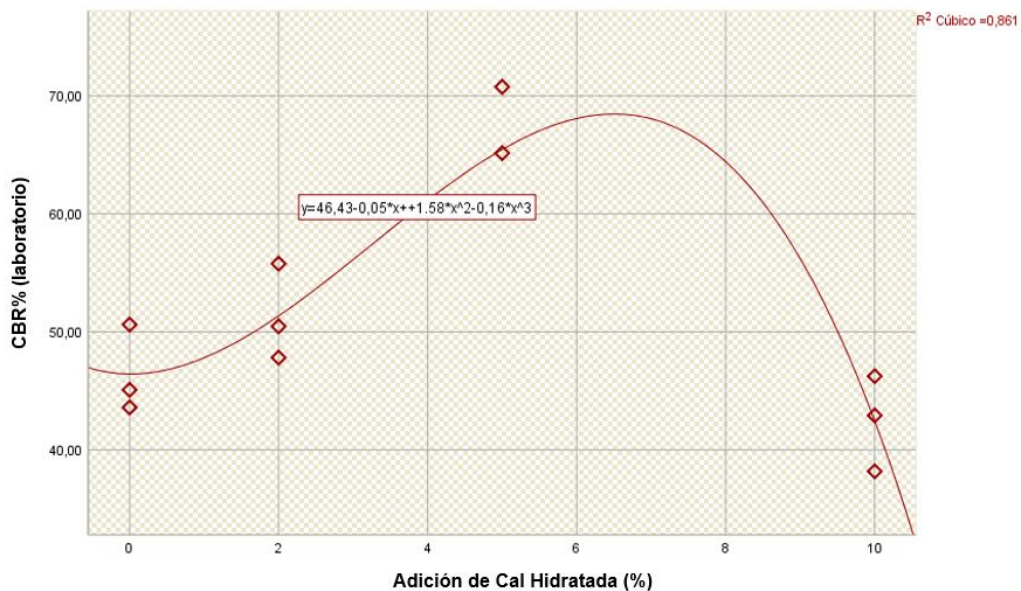
<b>Correlaciones</b>			
		Adición de Cal Hidratada (%)	CBR% (laboratorio)
Adición de Cal Hidratada (%)	Correlación de Pearson	1	-,540
	Sig. (bilateral)		,665
	N	12	12
CBR% (laboratorio)	Correlación de Pearson	-,540	1
	Sig. (bilateral)	,665	
	N	12	12

*Fuente: Elaboración propia (Programa IBM SPSS Statistics).*

### **Diagrama de dispersión**

Se puede usar un diagrama de dispersión para examinar la relación entre dos variables de investigación: "La muestra en el punto medio muestra que cuando se usa del 2% al 5% de cal hidratada para estabilizar el suelo, la CBR es alta y cuando se usa el 10 % de cal hidratada, la CBR disminuye. El valor R2 de la línea de ajuste cúbico es 0,861, lo que indica una alta correlación.

**Figura 50** Diagrama de dispersión - CBR % (ensayo de laboratorio).





### 4.3.2. CBR % in situ (PDC Afirmado con cal hidratada)

Descriptivos:

El análisis estadístico de los datos de prueba de campo de CBR en muestras de suelo no estabilizado (0%) después de la estabilización del suelo con 2%, 5% y 10% de "cal hidratada" se muestra en la siguiente tabla. Un total de 12 muestras de datos.

**Tabla 28** Descriptivos - CBR % (ensayo In situ)

Descriptivos						
Adición de Cal Hidratada (%)			Estadístico	Desv. Error		
CBR% (campo)	0	Media		53,5500	,41041	
		95% de intervalo de confianza para la media	límite inferior	51,7842		
			límite superior	55,3158		
		Media recortada al 5%				
		Mediana		53,5100		
		Varianza		,505		
		Desv. Desviación		,71084		
		Mínimo		52,86		
		Máximo		54,28		
		Rango		1,42		
		Rango intercuartil				
		Asimetría		,252	1,225	
		Curtosis				
CBR% (campo)	2	Media		71,1633	,81409	
		95% de intervalo de confianza para la media	límite inferior	67,6606		
			límite superior	74,6661		
		Media recortada al 5%				
		Mediana		71,7800		
		Varianza		1,988		
		Desv. Desviación		1,41005		
		Mínimo		69,55		
		Máximo		72,16		
		Rango		2,61		
		Rango intercuartil				
		Asimetría		-1,592	1,225	
		Curtosis				
CBR% (campo)	5	Media		91,8633	,40085	
		95% de intervalo de confianza para la media	límite inferior	90,1386		
			límite superior	93,5880		
		Media recortada al 5%				
		Mediana		92,1600		
		Varianza		,482		
		Desv. Desviación		,69429		
		Mínimo		91,07		
		Máximo		92,36		
		Rango		1,29		
		Rango intercuartil				
		Asimetría		-1,572	1,225	
		Curtosis				
CBR% (campo)	10	Media		60,6433	,69100	
		95% de intervalo de confianza para la media	límite inferior	57,6702		
			límite superior	63,6165		
		Media recortada al 5%				
		Mediana		60,9600		
		Varianza		1,432		
		Desv. Desviación		1,19684		
		Mínimo		59,32		
		Máximo		61,65		
		Rango		2,33		
		Rango intercuartil				

Asimetría	-1,107	1,225
Curtosis		

Fuente: Elaboración propia (Programa IBM SPSS Statistics)

### **Prueba de normalidad**

La prueba de hipótesis estadística se realiza sobre porcentajes de CBR obtenidos en ensayos de campo después de la estabilización del suelo con diferentes porcentajes de cal hidratada, y la suposición estadística es:

**Ho:** Porcentaje de datos de CBR (de ensayos de campo) utilizando cal apagada como estabilizador del suelo de una distribución normal.

**Ha:** Los datos porcentuales de CBR (de ensayos de campo) que utilizan cal apagada como estabilizador del suelo no siguieron una distribución normal". Después de determinar si la prueba de normalidad arroja una significación menor o mayor que 0,05, la hipótesis nula debe aceptarse o rechazarse al nivel de significancia de 0,05.

**Tabla 29** Prueba de normalidad - CBR % (ensayo In situ) .

		<b>Pruebas de normalidad</b>					
		<b>Kolmogorov-Smirnov<sup>a</sup></b>			<b>Shapiro-Wilk</b>		
Adición de cal hidratada (%)		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CBR% (campo)	0	,189	3	.	,998	3	,907
	2	,336	3	.	,857	3	,258
	5	,332	3	.	,863	3	,276
	10	,271	3	.	,947	3	,558

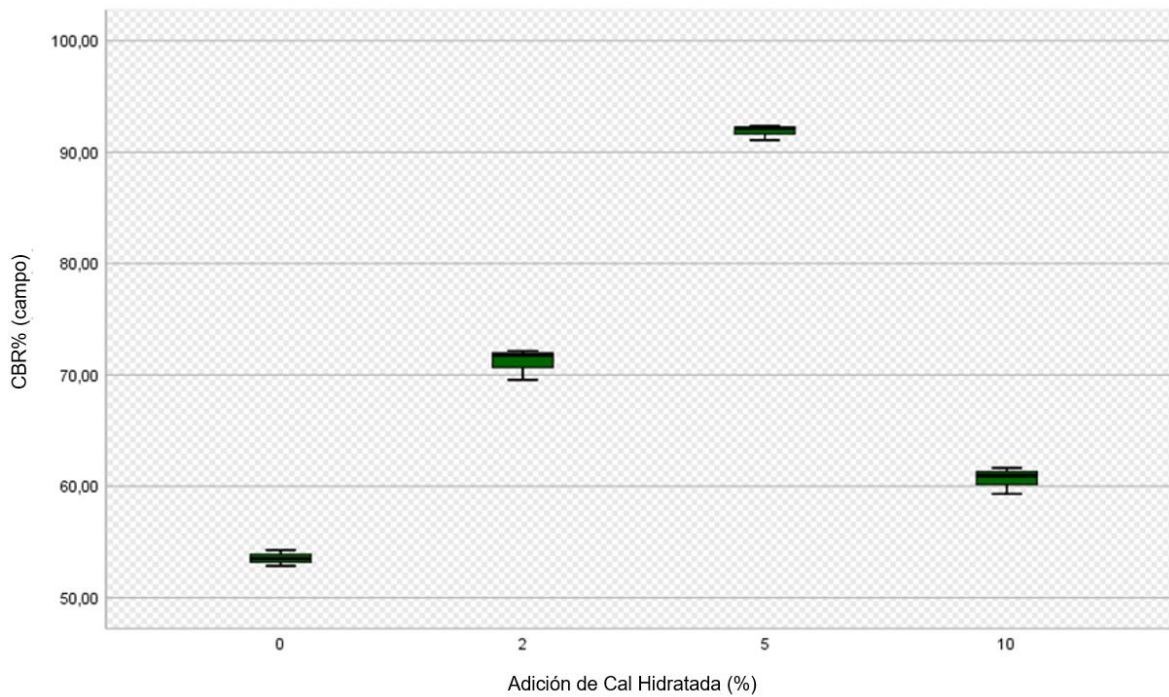
Fuente: Elaboración propia (Programa IBM SPSS Statistics)

Todos los valores de significación de Shapiro-Wilk en los ensayos de campo de CBR estuvieron por encima de 0,05, por lo que se aceptó la hipótesis nula y se concluyó que el hidróxido de calcio actúa como estabilizador estequiométrico del suelo para "CBR (in situ)" además de los resultados obtenidos de la base de datos convencional.

### **Diagrama de Bigotes**

Se utilizó un diagrama de bigotes para determinar la dispersión de la distribución y estimar el tamaño de muestra para cada porcentaje de "cal hidratada" utilizada para la estabilización de suelos, se observó que los valores de CBR sin "cal

hidratada” eran simétricos y no superar su rango especificado cuando se usaron 2%, 5% y 10% de "cal hidratada" en el rango especificado, valores CBR y superiores.



**Figura 51** Diagrama de bigotes - CBR % (ensayo In situ).

### **Análisis de correlación**

Se realizó un análisis de hipótesis nula sobre los resultados de las pruebas de campo para los porcentajes de CBR para concluir que los datos provenían de una fuente distribuida normalmente. Por lo tanto, se realizó un análisis de correlación de Pearson. El valor de correlación resultante fue de 0,837, lo que indica una correlación positiva significativa entre el análisis CBR de los ensayos de campo y el porcentaje de cal hidratada utilizada para la estabilización del suelo.

**Tabla 30** Correlaciones - CBR % (ensayo In situ) .

<b>Correlaciones</b>			
		Adición de Cal Hidratada (%)	CBR% (campo)
Adición de Cal Hidratada (%)	Correlación de Pearson	1	,537

	Sig. (bilateral)		,671
	N	12	12
CBR% (campo)	Correlación de Pearson	,537	1
	Sig. (bilateral)	,671	
	N	12	12

Fuente: Elaboración propia (Programa IBM SPSS Statistics)

### Diagrama de dispersión

Para analizar la relación entre las dos variables en estudio, se tiene un diagrama de dispersión de puntos, donde el diagrama de puntos muestra que cuando el suelo se estabiliza con un porcentaje de “cal hidratada” entre 5% y 7%, el CBR es mayor y cuando llega al 10% de cal hidratada, el CBR disminuye. El valor R2 de la línea de ajuste cúbico es 0,996, lo que indica una alta correlación entre las variables.

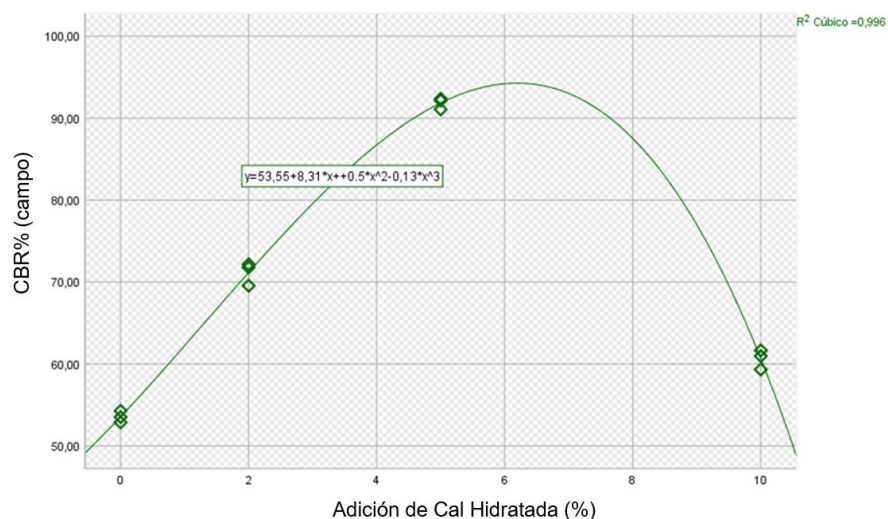


Figura 52 Diagrama de dispersión - CBR % (ensayo In situ).

### 4.3.3. Ensayo de compresión simple / cohesión Afirmado con cal hidratada

“Descriptivos:

Después del análisis estadístico de los resultados de los ensayos de compresión simple, la tabla muestra datos "descriptivos" para la estabilización de suelos con 2%, 5% y 10% de "cal apagada" comparación con las muestras de suelo. La muestra total de 12 datos es inestable (0%).

**Tabla 31** Descriptivos – Compresión simple kg/cm<sup>2</sup> .

Descriptivos			Estadístico	Desv. Error	
Adición de Cal Hidratada (%)					
Compresión simple kg/cm <sup>2</sup>	0	Media	6,8767	,47618	
		95% de intervalo de confianza para la media	límite inferior límite superior	4,8278 8,9255	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		7,2600	
		Varianza		,680	
		Desv. Desviación		,82476	
		Mínimo		5,93	
		Máximo		7,44	
		Rango		1,51	
		Rango intercuartil			
		Asimetría		-1,640	1,225
		Curtosis			
		Compresión simple kg/cm <sup>2</sup>	2	Media	12,8600
95% de intervalo de confianza para la media	límite inferior límite superior			10,3057 15,4143	
Media recortada al 5%					
Mediana				12,6700	
Varianza				1,057	
Desv. Desviación				1,02825	
Mínimo				11,94	
Máximo				13,97	
Rango				2,03	
Rango intercuartil					
Asimetría				,803	1,225
Curtosis					
Compresión simple kg/cm <sup>2</sup>	5			Media	17,0900
		95% de intervalo de confianza para la media	límite inferior límite superior	13,9275 20,2525	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		16,3600	
		Varianza		1,621	
		Desv. Desviación		1,27307	
		Mínimo		16,35	
		Máximo		18,56	
		Rango		2,21	
		Rango intercuartil			
		Asimetría		1,732	1,225
		Curtosis			
		Compresión simple kg/cm <sup>2</sup>	10	Media	5,4000
95% de intervalo de confianza para la media	límite inferior límite superior			4,4505 6,3495	
Media recortada al 5%					
Mediana				5,2100	
Varianza				,146	
Desv. Desviación				,38223	
Mínimo				5,15	
Máximo				5,84	
Rango				,69	
Rango intercuartil					
Asimetría				1,684	1,225
Curtosis					

Fuente: Elaboración propia (Programa IBM SPSS Statistics)

### **Prueba de normalidad**

Se realiza la prueba de hipótesis estadística para la compresión simple obtenida en ensayos de compresión después de la estabilización del suelo con diferentes porcentajes de cal hidratada, como hipótesis estadística:

**Ho:** Los datos de compresión simple utilizando "cal hidratada" como estabilizador del suelo se obtuvieron a partir de una distribución normal.

**Ha:** Los datos de compresión simple que usan "cal hidratada" como estabilizador del suelo no provienen de una distribución normal.

Si la significancia posterior de la prueba de normalidad es menor o igual a 0.05, se acepta la hipótesis nula; en caso contrario, se rechaza al nivel de significancia 0.05.

**Tabla 32** Prueba de normalidad - Compresión simple kg/cm<sup>2</sup>

Adición de cal hidratada (%)	Pruebas de normalidad Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Compresión Simple	0	,346	3	,838	3	,209
Kg/cm <sup>2</sup>	2	,240	3	,974	3	,693
	5	,383	3	,753	3	,008
	10	,357	3	,815	3	,10

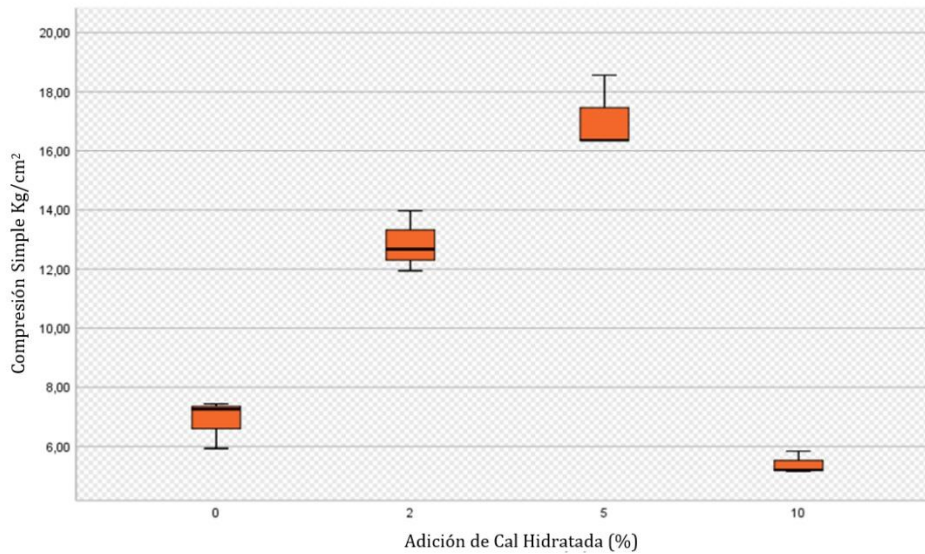
a. Corrección de significado de Lilliefors

*Fuente: Elaboración propia (Programa IBM SPSS Statistics)*

Obtenido a partir de los resultados de prueba comprimidos de una tabla de prueba de normalidad comprimida simple, uno de los valores de significación de Shapiro-Wilk es inferior a 0,05, lo que rechaza la hipótesis nula y concluye que la "cal hidratada" exhibe una distribución no paramétrica para datos comprimidos simplemente y que el resultado proviene de bases de datos no normales.

### **Diagrama de bigotes**

El diagrama de bigotes es empleado para determinar la dispersión de la distribución y evaluar el tamaño de la muestra por cada porcentaje de cal hidratada empleada para estabilizar el suelo, observándose que los valores de compresión simple al no emplear cal hidratada son asimétricos hacia arriba, pero se encuentran dentro de su rango establecido, al emplear el 2%, el 5% y el 10% de cal hidratada los valores de compresión simple son asimétricos hacia abajo y cumplen con los rangos establecidos .



**Figura 53** Diagrama de bigotes - Compresión simple kg/cm<sup>2</sup> .

### **Análisis de correlación**

La hipótesis nula fue rechazada después de analizar los resultados básicos de compresión obtenidos de la prueba de compresión , Esto implica que los datos no provienen de una distribución normalmente distribuida y requiere el análisis de correlación Rho de Spearman. El coeficiente de correlación resultante de -0,519 puede interpretarse como una correlación negativa altamente significativa entre el porcentaje de hidróxido de calcio utilizado en la estabilización de suelos y una prueba de compresión estándar.

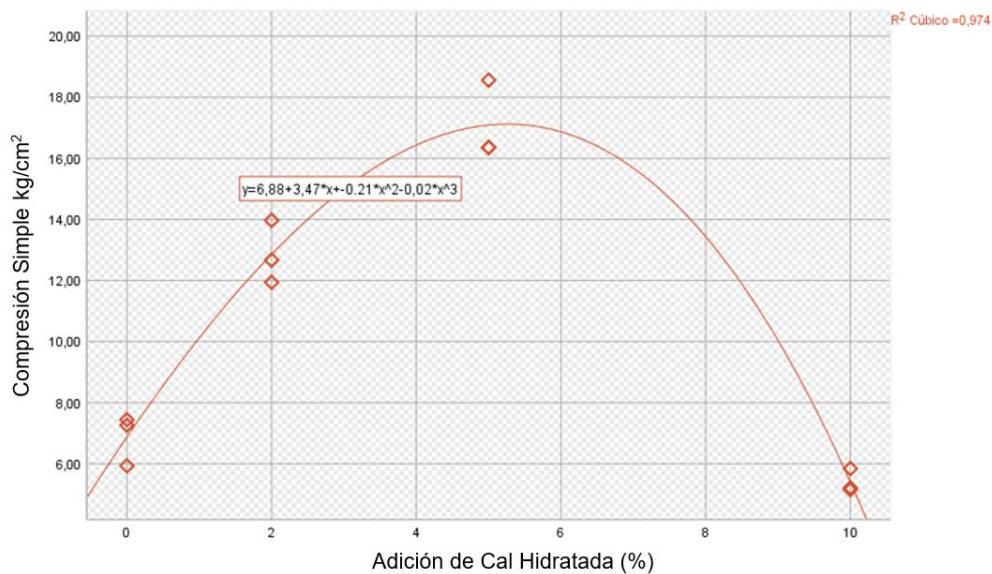
**Tabla 33** Correlaciones - Compresión simple kg/cm<sup>2</sup>

Correlaciones			Adición de Cal Hidratada (%)	Compresión simple kg/cm <sup>2</sup>
Rho de Spearman	Adición de Cal Hidratada (%)	Coefficiente de correlación	1,000	-,519
		Sig. (bilateral)		,545
		N	12	12
CBR% (campo)		Coefficiente de Correlación	-,519	1,000
		Sig. (bilateral)	,545	
		N	12	12

Fuente: Elaboración propia (Programa IBM SPSS Statistics).

### Diagrama de dispersión

Para analizar la "prueba de conectividad" entre las dos variables de investigación, se tiene un diagrama de dispersión de puntos donde el diagrama de puntos muestra que cuando se usa un 5% de "cal hidratada" para estabilizar el suelo, la tasa de compactación simple es alta. y cuando se alcanza el 10% de "cal hidratada", el grado de compresión simple disminuye. El valor de R<sup>2</sup> de la línea de ajuste cúbico es 0,974, por lo que la correlación entre las variables es alta.



**Figura 54** Diagrama de dispersión - Compresión simple kg/cm<sup>2</sup>.



#### 4.3.4. Grado de compactación, Afirmado con cal hidratada

##### Descriptivos

Después del análisis estadístico de los resultados de la prueba del "cono de arena", los datos descriptivos de las muestras de suelo estabilizadas con 2%, 5% y 10% de "cal hidratada" en comparación con las muestras de suelo no estabilizado (0%) se muestran en la siguiente tabla, un total de 8 datos.

**Tabla 34** Descriptivos - Grado de compactación cono de arena. %

		Descriptivos		Estadístico	Desv. Error
Adición de Cal Hidratada (%)					
Grado de compactación (%) (cono de arena)	0	Media		91,8467	,19342
		95% de intervalo de confianza para la media	límite inferior	91,0144	
			límite superior	92,6789	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		91,7800	
		Varianza		,112	
		Desv. Desviación		,33501	
		Mínimo		91,55	
		Máximo		92,21	
		Rango		,66	
		Rango intercuartil			
		Asimetría		,860	1,225
		Curtosis			
Grado de compactación (%) (cono de arena)	2	Media		93,0267	
		95% de intervalo de confianza para la media	límite inferior	92,4135	
			límite superior	93,6399	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		92,9600	
		Varianza		,061	
		Desv. Desviación		,24685	
		Mínimo		92,82	
		Máximo		93,30	
		Rango		,48	
		Rango intercuartil			
		Asimetría		1,127	1,225
		Curtosis			
Grado de compactación (%) (cono de arena)	5	Media		95,9167	,16506
		95% de intervalo de confianza para la media	límite inferior	95,2065	
			límite superior	96,6269	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		95,8500	
		Varianza		,082	
		Desv. Desviación		,28589	
		Mínimo		95,67	
		Máximo		96,23	
		Rango		,56	
		Rango intercuartil			
		Asimetría		,992	1,225
		Curtosis			
Grado de compactación (%) 10 (cono de arena)		Media		85,5967	,55900
		95% de intervalo de confianza para la media	límite inferior	83,1915	
			límite superior	88,0018	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		85,8400	
		Varianza		,937	
		Desv. Desviación		,96821	
		Mínimo		84,53	
		Máximo		86,42	
		Rango		1,89	
Rango intercuartil					

Descriptivos		
Adición de Cal Hidratada (%)	Estadístico	Desv. Error
Asimetría	-1,060	1,225
Curtosis		

Fuente: Elaboración propia (Programa IBM SPSS Statistics)

### Prueba de normalidad

Se realiza la prueba de hipótesis estadística para el “compacto” obtenido en la prueba del “cono de arena” después de la estabilización del suelo con diferentes proporciones de “cal hidratada” como hipótesis estadística:

**Ho:** Los datos del porcentaje de “compacidad” utilizando “cal hidratada” como estabilizador del suelo se obtienen a partir de una distribución normal.

**Ha:** Los datos porcentuales para la "compactación" usando "cal hidratada" como estabilizador del suelo no son de una distribución normal". "En el nivel de significación de 0,05, la hipótesis nula debe aceptarse o rechazarse después de determinar si la prueba de normalidad arroja una significación menor o mayor que 0,05

**Tabla 35** Prueba de normalidad” - Grado de compactación cono de arena. %

Adición de cal hidratada (%)	Pruebas de normalidad			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Grado de	0	,246	3	,970	3	,669
Compactación %	2	,273	3	,945	3	,549
(cono de arena)	5	,259	3	,959	3	,612
	10	,266	3	,953	3	,851

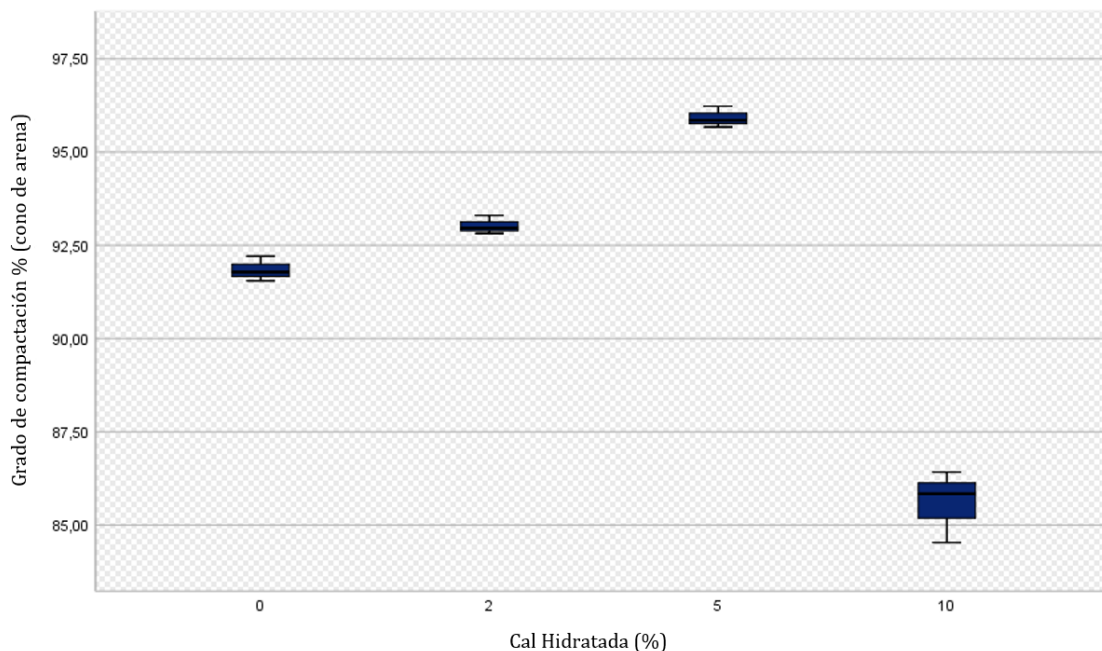
a. Corrección de significado de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia (Programa IBM SPSS Statistics)

De acuerdo con la tabla de prueba de normalidad, todos los valores P de Shapiro-Wilk para la compactación de arena cónica resultante son mayores que 0,05, por lo que aceptamos la hipótesis nula y concluimos que varios porcentajes de dosificación de cal apagada tienen una distribución paramétrica verdadera del grado de compactación para el análisis de cono, y los resultados provienen de una base de datos normal.

### **Diagrama de bigotes**

Se utiliza un diagrama de bigotes para determinar la dispersión de la distribución y estimar el tamaño de la muestra para cada porcentaje de "cal hidratada" utilizada para la estabilización del suelo, observando que los valores de compactación" están sesgados hacia abajo" cuando no hay "cal apagada". se usa, pero están dentro del rango especificado, los valores de "compactación" son asimétricos si los valores de "compresión son asimétricos hacia abajo 5% son asimétricos hacia abajo si se usa cal hidratada 10% los valores de "compactación" son asimétricas hasta asimétricas y dentro del rango establecido.



**Figura 55** Diagrama de bigotes - Grado de compactación por cono de arena. %.

### **Análisis de correlación**

Aceptando la hipótesis nula de la prueba chi-cuadrado para la compactación del cono de arena, podemos concluir que los datos provienen de una distribución normal y proceder a realizar el análisis de correlación de Pearson. Así, obtuvimos un coeficiente de correlación de 0,622, lo que indica que existe una correlación positiva moderada entre el análisis de compacidad de la prueba del cono de arena y el porcentaje de cal apagada utilizada para la estabilización del suelo.

**Tabla 36** Correlaciones - Grado de compactación por cono de arena. %

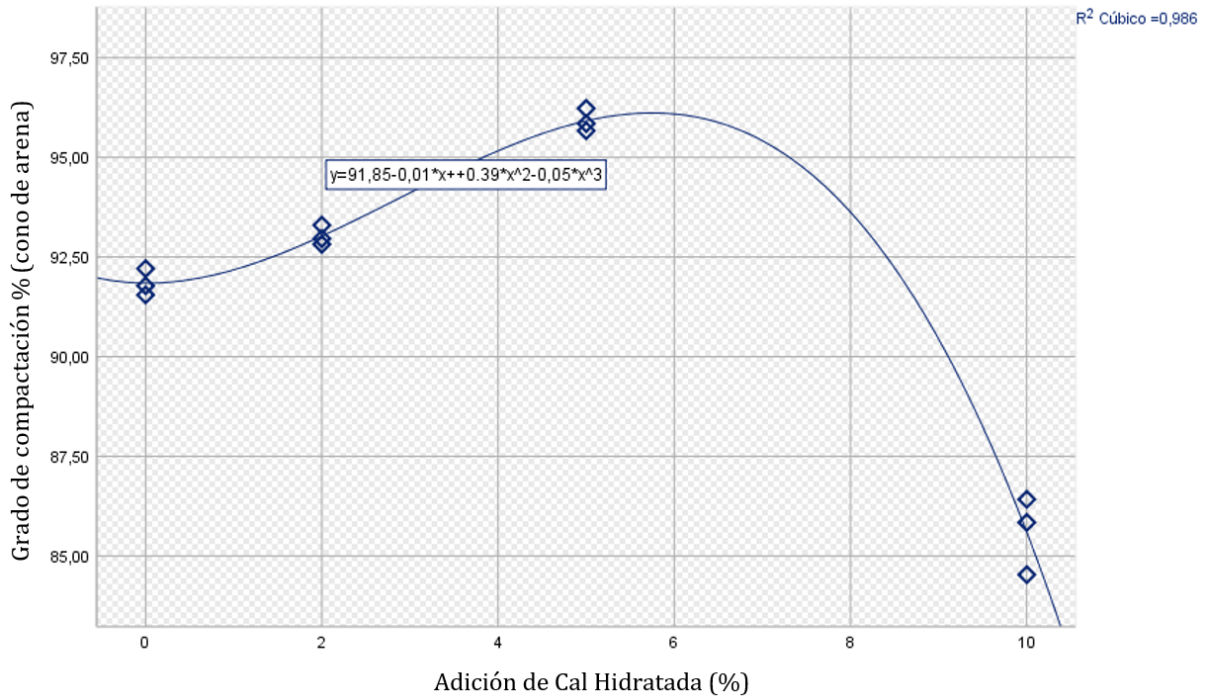
<b>Correlaciones</b>			
		Adición de Cal Hidratada (%)	Grado de compactación % (cono de arena)
Adición de Cal Hidratada (%)	Correlación de Pearson	1	,622*
	Sig. (bilateral)		,031
	N	12	12
Grado de compactación % ( de arena)	Correlación de Pearson	,622*	1
	Sig. (bilateral)	,031	
	N	12	12

\* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral)

*Fuente: Elaboración propia (Programa IBM SPSS Statistics)*

### ***Diagrama de dispersión***

Para analizar la interrelación entre los dos parámetros estudiados se ha creado un diagrama de dispersión de puntos, donde el gráfico de puntos muestra que cuando se utiliza un 5% de cal hidratada para la estabilización del suelo, la “compactación” es mayor, y si se utiliza cal apagada el grado de compactación disminuye. El valor R2 de la línea de ajuste cúbico es 0,986, lo que indica una alta correlación entre las variables.



**Figura 56** Diagrama de dispersión - Grado de compactación % .

#### 4.3.5. Verificación Hipótesis General

La comparación entre la muestra estándar y el valor CBR obtenido después de la adición de cal hidratada es la siguiente:

**Tabla 37** Resultados de CBR muestra patrón y Cal hidratada al 2%, 5% y 10% .

Muestra Patrón			
Grado de Compactación (%)	100	95	90
CBR M.D.S. de 0.1"	44	22	9
CBR M.D.S. de 2"	51	25	12
Cal hidratada al 2%			
Grado de Compactación (%)	100	95	90
CBR M.D.S. de 0.1"	48	26	13
CBR M.D.S. de 0.2"	56	30	15
Cal hidratada al 5%			
Grado de Compactación (%)	100	95	90
CBR M.D.S. de 0.1"	60	29	15
CBR M.D.S. de 0.2"	71	35	18
Cal hidratada al 10%			

Grado de Compactación (%)	100	95	90
CBR M.D.S. de 0.1"	38	19	8
CBR M.D.S. de 0.2"	46	23	11

*Fuente: Elaboración Propia*

Datos CBR de la muestra estándar más adición de hidróxido de calcio al 2%, 5% y 10%, se aprecia un incremento del CBR hasta la concentración del 5% de cal hidratada en el afirmado, verificándose la hipótesis sobre el incremento de CBR con la adición de cal hidratada. Por otro lado, al continuar el incremento de cal hidratada hasta el 10% de la muestra, se aprecia que la hipótesis planteada no se cumple

#### **4.3.6. Verificación Hipótesis Específicas**

Para los resultados de "Muestras que contienen 2%, 5% y 10% de cal apagada" (página 155), "Diferencias entre muestras estándar y muestras que contienen cal hidratada", consulte la tabla "Resultados de pruebas de laboratorio". Porcentaje de cal apagada. Aunque "el cambio no sigue las tendencias", sí existe. "Por lo tanto, la hipótesis fue probada". "En el párrafo 4.1.14 "Ensayo CBR in situ (PDC) se puede ver que el CBR in situ obtenido de la muestra estándar y las muestras añadidas aumenta en un 2%, 5% "cal apagada". Sin embargo, siguiendo las tendencias observadas en los proyectos anteriores, se observó una reducción de CBR con la adición de un 10% de "cal hidratada". Por esta razón, la hipótesis no fue contrastada en su totalidad, ya que la tendencia no corresponde a valores porcentuales de "cal hidratada" superiores al 5%. Por lo tanto, "el estudio debe ampliarse para determinar el punto de inflexión del aumento de CBR cuando se agrega "cal apagada" a las muestras. "Como se puede ver en la Tabla 50, la adición de 5% de "cal hidratada" aumentó la compactación de las muestras. Entonces se puede ver que esta tendencia se invierte a medida que disminuye el 10% de "cal hidratada". Por lo tanto, la hipótesis específica no está completamente probada, ya que el comportamiento de CBR ha cambiado después de la adición de "cal hidratada".

#### 4.4. Discusión de Resultados

En la tabla 12 se muestra un resumen de los resultados obtenidos en los ensayos de la muestra Patrón del afirmado, y con la incorporación de cal hidratada en dosificación 2%, 5% y 10%. De los cuales se comenta lo siguiente:

##### A. Granulometría

Se observa que al incorporar cal hidratada bajo dosificación del 2%, 5% y 10% se obtuvo nueva clasificación AASHTO la cual resultó: A-2-4, A-1-b y A-1-b, los cuales se denominan: Gravas y Arenas Limosas/ Arcillosas y Gravas y/o arenas. Observándose que a medida que se incorpore cal hidratada, el suelo tiende a volverse más granulado, haciendo que los limos y arcillas formen partículas más grandes como arenas.

##### B. Límite Líquido (LL)

Se observa que a medida que se incorpora la cal hidratada en dosificación 2%, 5% y 10%, el LL tiene un comportamiento sin tendencia correspondido por: 24.69%, 18.71% y 22.58%. De estos resultados se observa que bajo 5% de cal hidratada, el LL del afirmado baja a un valor crítico. Y el valor más elevado es con incorporación del 2% de cal hidratada.

##### C. Índice de Plasticidad

El Índice de Plasticidad, al incorporar cal hidratada, tiende a disminuir hasta tal punto de no presentarse bajo dosificación del 10% de la misma. Por lo cual se determina que a medida que se incorpora la cal hidratada, el suelo tiende a perder plasticidad.

##### D. Relación Densidad – Humedad (gr/cm<sup>3</sup>/%)

Respecto al ensayo Proctor modificado llevado a cabo, se ha determinado que a medida que se incorpora la cal, el afirmado tiende a incrementar su valor de densidad, alcanzando los valores de 2.19 gr/cm<sup>3</sup>, 2.22 gr/cm<sup>3</sup> y 2.24 gr/cm<sup>3</sup> para dosificaciones de 2%, 5% y 10%. Para la humedad óptima obtenida, se observa que también tiende a descender, alcanzando valores de 7.8%, 6.2% y 5.0%.

##### E. Ensayo de Soporte de California (C.B.R.)

El comportamiento del porcentaje de penetración al 95% de la M.D.S. obtenida fue: 48%, 60% y 38%. Observándose que el comportamiento no presenta una tendencia

observándose valor altos y bajos con 5% y 10% de incorporación de cal. Al 100% de la M.D.S. el comportamiento es de 26%, 29% y 19%, en donde sí se aprecia una tendencia en la penetración de manera decreciente entre la incorporación del 5% y 10% de la cal hidratada.

#### F. CBR in situ (ensayo PDC)

Del ensayo PDC, se observa una falta de tendencia entre las incorporaciones de 2%, 5% y 10% de cal. Sin embargo, existe un pico en dosificación de 5%, y un bajo valor de penetración con 10% de cal.

#### G. Ensayo compresión simple

Se observó que la cohesión incrementa de 13.97gr/cm<sup>2</sup> a 18.56gr/cm<sup>2</sup> entre el 2% y 5%. Sin embargo, al seguir incrementando la cal, se observa que tiende a disminuir hasta alcanzar un valor mínimo de 5.84 gr/cm<sup>2</sup> con la incorporación del 10% de cal.

#### H. Ensayo de Cono de Arena.

Se observa que el % de variación del peso específico de la muestra de afirmado tiende a incrementarse, al incorporar la cal en 2% a 5%. Luego de ello, disminuye el valor hasta alcanzar el porcentaje de variación en 86.40% respecto al peso unitario de la muestra.



## CONCLUSIONES

- Mediante la adición de cal hidratada como elemento aglomerante del afirmado en el CBR (valor de la relación de soporte califonia) del afirmado para carretera Mostazas – Chocán, provincia de Ayabaca – Piura - 2022, se concluye que se demostró que la cal hidratada es capaz de unir las partículas de suelo de afirmado y está la hace más consistente y a su vez mejora el CBR del afirmado y mejora su calidad de compactación con una adición de porcentajes menores al 5% de cal hidratada.

En los resultados de compresión simple de determino con el cálculo de cohesión los siguientes resultados, primero se obtuvo un resultado sobre la muestra inicial 7.44 kg/cm<sup>2</sup> y con la adición de la cal hidratada “en porcentajes de 2%,5%y 10% se obtuvieron 13.97 kg/cm<sup>2</sup> ,18.56 kg/cm<sup>2</sup> y 5.84 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente siendo el valor más alto la adición con 5% y siendo el valor más bajo la adición con 10% de cal hidratada también se concluye que adicionar cal hidratada en porcentajes mayores al 5% son desfavorables. Además, La calidad de las muestras se evaluó en la cantera de muestras de Sole II - Higuéron, donde se determinó que el patrón de la muestra no cumplía con los requisitos técnicos requeridas con referencia al CBR para el caso de afirmado, obteniéndose valores menores al 40%, esto está, entre 22% y 44% del CBR .

- Del análisis granulométrico, se obtuvo un porcentaje de material limo y arcilla pasante de la malla N° 200 de: 27.69%, 25.39% y 24.45%, lo cual evidencia el aglutinamiento de estas partículas para formar otras más grandes, a medida que incrementamos el contenido de cal hidratada ( 2%, 5% y 10% respectivamente). Del límite líquido, se obtuvo: 22.2%, 24.69%, 18.71% y 22.58%, esto evidencia una reducción casi continua a medida que se incrementa el contenido de cal hidratada en el afirmado de la trocha carróza. Del límite plástico, se decanta: 18.09%, 18.72%, 14.65% y NP para concentración del 10% en cal hidratada lo cual indica que la plasticidad de la muestra se pierde, a medida que se incrementa la dosis de cal hidratada. De la clasificación

SUCS, se decanta: GC-GM (Grava arcilloso – limosa con arena) y GC.GM (Grava arcilloso – limosa) para las concentraciones a 5% y 10% de cal hidratada, lo cual evidencia la reducción de las partículas de arena con respecto a un incremento de cal hidratada. De la clasificación de Suelos AASHTO, se desprende una clasificación A-1-a (0) Fragmentos de roca, grava y arena, A-2-4 (0) Grava y arena arcillosa o limosa y A-1-b (0) Fragmento de roca, grava y arena, lo cual evidencia la presencia de arcillas y limos a una concentración de 5% en cal hidratada.

- Los resultados de CBR obtenidos al incorporar cal hidratada en la muestra son las siguientes (Compactación al 95%): 54.28%, 72.16%, 92.36% y 61.65% respectivamente para la muestra patrón, y dosificaciones en 2%, 5% y 10%. Lográndose identificar un incremento del CBR de la muestra al incorporar la dosis de cal hidratada recíprocamente con su mismo comportamiento incremental. Esto es conveniente para la optimización de la densidad seca óptima para la conservación de la estructura existente de la carretera.
- Se realizó la dosificación de la cantera Sole II - Higuieron en +2%; +5% y +10% de cal hidratada para mejorar las propiedades físicas de la cantera original, obteniéndose un incremento en la calidad de compactación con 5% de cal hidratada, y de la misma manera, se registró un incremento para todas las dosificaciones de cal hidratada, en comparación a la muestra patrón de la cantera .
- Se observó una tendencia incremental respecto a las propiedades de granulometría, contenido de humedad, CBR, ensayo de compactación, hasta la incorporación de 2% a 5%. Al alcanzar el valor de 10% de cal, las propiedades tienden a variar fuera de la tendencia, disminuyendo porcentualmente.
- Se realizó el análisis de los resultados con y sin adición de cal hidratada, observándose un incremento numérico de las mismas hasta alcanzar la incorporación de 5%. Luego de esto, las propiedades tienden a disminuir, bajo la incorporación del 10% de cal hidratada.

## RECOMENDACIONES

1. Recomendación General: En base a las características aglomerantes de la cal hidratada y adición en porcentajes de peso, no es preciso señalar que a mayor porcentaje de adición de cal hidratada mayor CBR y mayor el grado de compactación. Se recomienda elaborar más estudios que verifiquen el porcentaje óptimo de adición optimizando materiales, tiempo de compactación y grado aceptable de compactación
2. Recomendación Especifica 1: Dado que las características aglomerantes han sido observadas en la presente tesis, verificar características impermeables del material conglomerado ejecutado, el cual se puede beneficiar en la mejora de los suelos blandos, se recomienda verificar en qué medida aporta una mejora en las características de confinamiento para dicho tipo de suelos .
3. Recomendación Especifico 2: Dado el bajo coste de la cal hidratada, dicho de otro modo, forma parte de residuos en procesos industriales, se recomienda aprovechar ésta característica aglomerante en trabajos de compactación de suelos para labores de movimiento de tierras, habiéndose encontrado un ahorro de 45.36 soles por km de afirmado, no solo en carreteras sino en compactación de carpetas de afirmado en otros trabajos del ámbito ingenieril .
4. Recomendación Especifico 3: Se recomienda investigar otros tipos de aditivos secos naturales que proporcionen esa unión de partículas”.
5. Recomendación adicional: Determinar la influencia de la cal hidratada en los requisitos de calidad indicados en la norma EG-2013 (Manual de especificaciones técnicas para construcción), sobre el porcentaje pasante del material afirmado

## Referencias bibliográficas

- Angulo Roldan, M., & Zavaleta Papa, C. (2019). *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*. Iquitos: Universidad Científica del Perú - UCP.
- Angulo Roldan, M., & Zavaleta Papa, C. (2020). *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*. Maynas.
- ARIAS, F. (2012). *EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN*. Caracas, Venezuela: Episteme.
- BALLESTRINI ACUÑA, M. (2012). *COMO SE ELABORA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN*. Caracas: BL, Consultores Asociados.
- Bauzá Castelló, J. (2003). *Estabilización de suelos con cal*. Madrid.
- Becerra Vasquez , Y. N. (2019). *Adición de miel de caña sobre el CBR del afirmado de la cantera El gavilan, Cajamarca 2017*. Cajamarca-Peru : Universidad Privada del Norte .
- Becerra, V. Y. (2019). *Adición de miel de caña sobre el CBR del afirmado de la cantera El Gavilán, Cajamarca 2017*. Cajamarca - Perú: Universidad Privada Del Norte.
- BERNAL, C. (2010). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*. Bogotá, Colombia: Pearson Education.
- Bonilla, R. J., Jiménez, R. A., & Páramo, G. F. (2019). *Estudio del comportamiento de las condiciones mecánicas del material granular tipo afirmado con adición de cemento portland y ceniza de bagazo de caña*. Ibagué-Colombia: Universidad cooperativa de Colombia.
- Calcinor. (s.f.). *La Cal, un producto - tres efectos, en la estabilización de suelos*. Obtenido de <https://www.calcinor.com/es/actualidad/reviews-producto/cal-estabilizacion-de-suelos>

- Das, B. M. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones, Séptima Edición*. México.
- ESPINOSA, S. (2014). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN*. Ciudad de México.
- Fajardo, C. E., & Sarmiento, F. S. (2007). *Evaluación de melaza de caña como sustrato para la producción de saccharomyces cerevisiae*. Bogotá.
- Flexicon. (s.f.). *Equipos y sistemas de manejo de materiales a granel*. Obtenido de flexicon.es: <https://www.flexicon.es/Materiales-Manejados/Cal-Hidratada.html>
- Garzón Pinto, N. A., & Lugo Mesa, L. I. (2019). *Análisis geomecánico de un material granular estabilizado con ceniza vegetal y cal; para su uso en las vías terciarias del corregimiento egimiento de caño chiquit o de caño chiquito en Paz de Aripor az de Ariporo, Casanar o, Casanare*. Bogotá: Universidad de la Salle.
- Gavilanes Bayas, E., & Villacrés, Ó. (2015). *Estabilización y Mejoramiento de Sub-Rasante Mediante Cal Y Cemento Para una Obra Vial en el Sector de Santos Pamba Barrio Colinas del Sur*. Quito: Universidad Internacional del Ecuador.
- Gómez García, L. (2021). *Reconstrucción y rehabilitación de camino vecinal - 4.452 km del tramo PI-654 entre Mostazas (EMP. PI-655) y Chocán, Distrito y Provincia de Ayabaca - Piura*. Ayabaca.
- HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ COLLADO, C., & BAPTISTA LUCIO, P. (2014). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*. Ciudad de México, México: McGraw Hill.
- Home Golden. (s.f.). *Afirmado*. Obtenido de homegolden.com: <https://www.homegolden.com/afirmado/>
- Horcalsa. (6 de Mayo de 2020). *Estabilización De Suelos Arcillosos Con Cal Horcalsa*. Obtenido de <https://www.horcalsa.com/blog/estabilizacion-de-suelos-arcillosos-con-cal-horcalsa/#:~:text=Estabilizaciones%20de%20suelos%20con%20cal,seco%20d el%20material%20por%20estabilizar>.
- Juárez Badillo, R. R. (2005). *Mecánica de Suelos Tomo 1 Fundamentos de la mecánica de suelos*. México: Limusa.

- juntadeandalucia.es. (2011). *Validación de datos de entrada y salida*. (Marco de Desarrollo de la Junta de Andalucía) Recuperado el 05 de Junio de 2022, de <http://www.juntadeandalucia.es/servicios/madeja/sites/default/files/historico/1.3.0/contenido-libro-pautas-66.html>
- López Sumarriva, J., & Ortiz Pinares, G. (2018). *Estabilización de suelos arcillosos con cal para el tratamiento de la subrasante en las calles de la urbanización San Luis de la ciudad de Abancay*. Abancay, Apurímac.
- Luján, C. M. (2016). *Proyecto: Diseño del mejoramiento a nivel de afirmado de la carretera Villacruz de Algallama-Candogorco-Tambillo, en el distrito de Santa Cruz de Chuca, provincia de Santiago de Chuco, región La Libertad*. Trujillo - Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- M.T.C. (2018). "Glosario de Términos de Uso Frecuente en Proyectos de Infraestructura Vial".
- Mamani Quispe, R. E. (2019). *Correlaciones del CBR "in situ" PDC y densidad seca-PDC de rellenos compactados con suelos de la cantera de Taparachi de la ciudad de Juliaca* . Juliaca .
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones, . (2014). *Ensayo para determinar la densidad y peso unitario del suelo insitu*. Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones . (2018). *Manual de carreteras: Diseño Geométrico DG-2018*. Perú: El Peruano.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Glosario de términos*. Lima-Perú: El Peruano.
- Moale Quispe, A. (2019). *Estabilización química de suelos arcillosos con cal para su uso como subrasante en vías terrestres de la localidad de Villa Rica*. Lima.
- MTC. (2013). *Manual de carreteras suelos,geología,geotecnia y pavimentos*. Lima: MTC.
- MTC. (2016). *Manual de ensayo de Materiales*. Lima: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
- Orejon Estrada, E. V. (2018). *Propuesta del mejoramiento de la subrasante de pavimentos flexibles usando las geomallas biaxiales en suelos de bajo valor de soporte california - distrito de Ahuac* . Huancayo : Universidad Continental .

- Parra Gomez, M. (2018). *Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- PCC. (14 de marzo de 2023). *¿Cuáles son las propiedades y aplicaciones de la cal apagada?* Obtenido de products.pcc.eu:  
<https://www.products.pcc.eu/es/blog/cuales-son-las-propiedades-y-aplicaciones-de-la-cal-apagada/#:~:text=Es%20un%20polvo%20c%C3%A1ustico%20inflamable,absorbe%20agua%20del%20medio%20ambiente>.
- Piqueras, V. Y. (Febrero de 2021). *Estabilización de Suelos con cal*. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2021/02/08/estabilizacion-de-suelos-con-cal/>
- Quevedo Sanchez , K. A. (2020). *Influencia del jugo de saccharum officinarum en el afirmado del tipo procesado en los suelos para infraestructuras viales, Moyobamba, 2020*. Moyobamba: Universidad Cesar Vallejo.
- Quispe, P. H. (2020). *análisis comparativo del CBR, máxima densidad seca, grado de compactación y hallar el óptimo contenido de humedad que debe poseer el afirmado de la base entre un suelo natural y un suelo estabilizado mediante la utilización de cemento de tipo reciclado*. Lima: Universidad Privada del Norte.
- Ramirez, J. I. (2018). *Estabilización de suelos de la avenida 2 el caserío de Pueblo Libre Nuevo, adicionando 3% y 5% de la ceniza de schinus molle de horno artesanal, Distrito de Pueblo Libre-Huaylas-Ancash*. Caraz-Perú: Universidad San Pedro.
- Roncal, E. A. (2018). *Diseño de la trocha carrozable San Juan – San Francisco - tunal, distrito y provincia de San Ignacio, departamento de Cajamarca, 2016*. Chiclayo.
- Sánchez Delgado, A. Y. (2014). *Propiedades físicas y mecánicas de los suelos*. Villavicencio, Meta: Corporación universitaria del meta.
- SENCICO. (2020). *Norma E.050 Suelos y Cimentaciones*. Lima: Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción .
- Suricachi, C. (2017). *Mejoramiento de las propiedades físico - mecánicas de la subrasante en una vía afirmada de la red vial departamental de la región Junín*

*mediante la estabilización química con óxido de calcio.* Huancayo: Universidad Peruana Los Andes.

TAMAYO, M. (2007). *LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA.* Ciudad de México, México: Limusa.

Tantaquilla Otiniano, E. W., & Valdivia Julca, F. A. (2019). *Comparación entre las influencias de cal hidratada y aditivo QUIM KD-40 para estabilización de suelos arcillosos como capa subrasante en pavimentos flexibles, Huamachuco - Cajabamba 2019.* Trujillo: Universidad Privada del Norte.

Tenorio Segura, L., & Zegarra Flores, j. R. (2021). *Estabilización de suelos cohesivos mediante evaluación técnico económica de aglomerantes naturales, carretera Peña Blanca km.0+000 al km.10+100, Tacabamba, Cajamarca.* Chiclayo: Universidad Cesar Vallejo.

Ugaz Garay, M. J. (2019). *"Influencia de la incorporacion de tres niveles (4%,5% y 6%) de emulsion asfaltica en la resistencia mecanica de un material para afirmado".* Cajamarca .




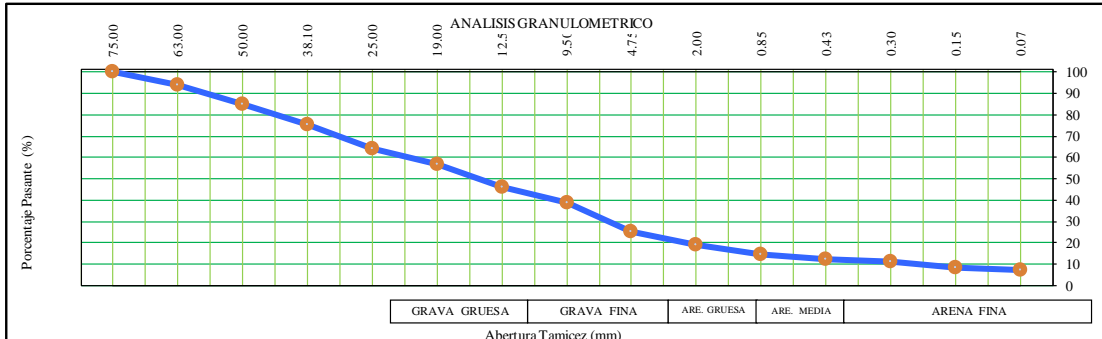


## ANEXO B: PLANO DE LOCALIZACIÓN



## ANEXO B. Instrumento de Recolección de Datos con muestra de cantera.

 <p><b>CONSULTGEOPAV SAC</b> RUC: 20602407021 Sistema Integral de Geotecnia y Pavimentos Telf: 073-783084 Cel: 98982770-94959547Móvil Dirección: Calle Arequipa # 308 Belavista - Sullana - Piura Email: roberto.castro137@gmail.com - diego.castrovilh438@gmail.com - consultgeopav@gmail.com</p>	<p><b>CONSULTGEOPAV SAC - RUC: 20602407021</b></p> <p><b>SISTEMA INTEGRAL DE GEOTECNIA SUELOS Y PAVIMENTOS</b></p>		
<p><b>ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ( ASTM D422 / ASTM D 2487 / MTC E204)</b></p>			
<p><b>DATOS DEL PROYECTO</b></p>			
PROYECTO:	"INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CAL HIDRATADA SOBRE LA PLASTICIDAD, DENSIDAD MÁXIMA Y VALOR DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) EN LA CARRETERA MOSTAZAS-CHOCÁN, PROVINCIA DE AYABACA-PIURA-2022"		
PROVINCIA:	AYABACA	FECHA:	20/07/2022
DEPARTAMENTO:	PIURA		
<p><b>DATOS DE LA MUESTRA</b></p>			
Tipo material:	Grava mal graduada con arcilla y limo		
Profundidad:		Cantera:	SOLE II - HIGUERÓN
		Progresiva:	-
<p><b>ANALISIS GRANULOMETRICO (ASTM D422 / ASTM D 2487 / MTC E204)</b></p>		<p><b>CLASIFICACION DEL SUELO</b></p>	
MALLA (Abertura)	PESO	%	%
PLG.	mm.	RETENIDO (gr.)	RETENIDO ACUMULADO PASANTE
3"	75.00		100.00
2 1/2"	63.00	1468.00	5.79 5.79 94.21
2"	50.00	2336.00	9.21 15.00 85.00
1 1/2"	38.10	2417.00	9.53 24.53 75.47
1"	25.00	2841.00	11.20 35.74 64.26
3/4"	19.00	1920.00	7.57 43.31 56.69
1/2"	12.50	2700.00	10.65 53.96 46.04
3/8"	9.50	1767.00	6.97 60.93 39.07
Nº 4	4.75	3494.00	13.78 74.71 25.29
Nº 10	2.00	145.10	6.17 80.88 19.12
Nº 20	0.85	107.40	4.57 85.45 14.55
Nº 40	0.43	56.80	2.42 87.87 12.13
Nº 50	0.30	27.00	1.15 89.02 10.98
Nº 100	0.15	54.60	2.32 91.34 8.66
Nº 200	0.07	26.60	1.13 92.47 7.53
< 200	Fondo	177.0	7.5 100.0
		<p>S.U.C.S. (ASTM D 2487) GP GC</p> <p>Grava mal graduada con arcilla y limo</p> <p>AASHTO (ASTM D3282) A-1-a (0)</p> <p>Fragmentos de roca, grava y arena</p>	
<p><b>DATOS DE LA MUESTRA</b></p>			
Peso Total del Suelo		25356.00	
Peso de la Fracción		594.50	
D <sub>60</sub>	21.62		
D <sub>30</sub>	6.37		
D <sub>10</sub>	0.24		
C <sub>u</sub>	91.63		
C <sub>c</sub>	7.96		
Lim Líquido (ASTM D4318)	22.20		
Lim Plástico (ASTM D4318)	18.09		
Índice de Plasticidad	4.11		
% Humedad (ASTM D2216)	6.18		
GRAVA (%)	74.71		
ARENA (%)	17.76		
FINOS (%)	7.53		




ANALISIS GRANULOMETRICO

Abertura Tamiz (mm)

GRAVA GRUESA GRAVA FINA ARE GRUESA ARE MEDIA ARENA FINA

OBSERVACIONES:



ROBERTO ELIAS CASTRO AGUIRRE  
JEFE DE LABORATORIO  
INGENIERO CIVIL  
CIP 47 0017

**CONSULTGEOPAV SAC**  
 RUC: 20602407021  
 Sistema Integral  
 de Geotecnia  
 Ingeniería y Construcción  
 Tel: 073-783084 Cel: 96962770-94595647 Movistar  
 Dirección: Calle Arequipa # 308 Belénista - Sullana - Piura  
 Email: roberto.castro117@gmail.com - dpoocastrovialta19@gmail.com - consultgeopav@gmail.com

**CONSULTGEOPAV SAC - RUC: 20602407021**  
**SISTEMA INTEGRAL DE GEOTECNIA SUELOS Y PAVIMENTOS**

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D 4318/ AASHTO T 89/ MTC E 110,111)**

**DATOS DEL PROYECTO**

<b>PROYECTO:</b>	"INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CAL HIDRATADA SOBRE LA PLASTICIDAD, DENSIDAD MÁXIMA Y VALOR DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) EN LA CARRETERA MOSTAZAS-CHOCÁN, PROVINCIA DE AYABACA-PIURA-2022"		
<b>PROVINCIA</b>	AYABACA	<b>FECHA:</b>	20/07/2022
<b>DEPARTAMENTO</b>	PIURA		

**DATOS DE LA MUESTRA**

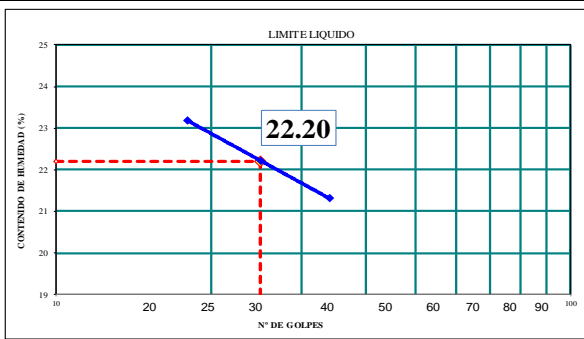
<b>Tipo material:</b>	Grava mal graduada con arcilla y limo		
	Cantera:	SOLE II - HIGUERÓN	
	Progresiva:	-	

**LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)**

RECIPIENTE N°	N°	20	15	6	Observaciones:
N° DE GOLPES	N°	18	25	34	
RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	grs	24.18	24.51	24.93	
RECIPIENTE + SUELO SECO	grs	22.21	22.57	22.92	
PESO DEL RECIPIENTE	grs	13.71	13.84	13.49	
PESO DE AGUA	grs	1.97	1.94	2.01	
PESO DEL SUELO SECO	grs	8.50	8.73	9.43	
% DE HUMEDAD	%	23.18	22.22	21.31	

**LIMITE PLASTICO (ASTM D4318)**

RECIPIENTE N°	N°	12	18		Observaciones:
RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	grs	25.21	19.23		
RECIPIENTE + SUELO SECO	grs	22.45	17.40		
PESO DEL RECIPIENTE	grs	7.21	7.27		
PESO DE AGUA	grs	2.76	1.83		
PESO DEL SUELO SECO	grs	15.24	10.13		
% DE HUMEDAD (Límite Plástico)	%	18.11	18.07		



<b>LIMITE LIQUIDO</b>	<b>LIMITE PLASTICO</b>	<b>INDICE PLASTICIDAD</b>
22.20	18.09	4.11

**Observaciones:**





**ENSAYO DE PROCTOR (ASTM D - 1557 / AASHTO T 180 / MTC E115)**

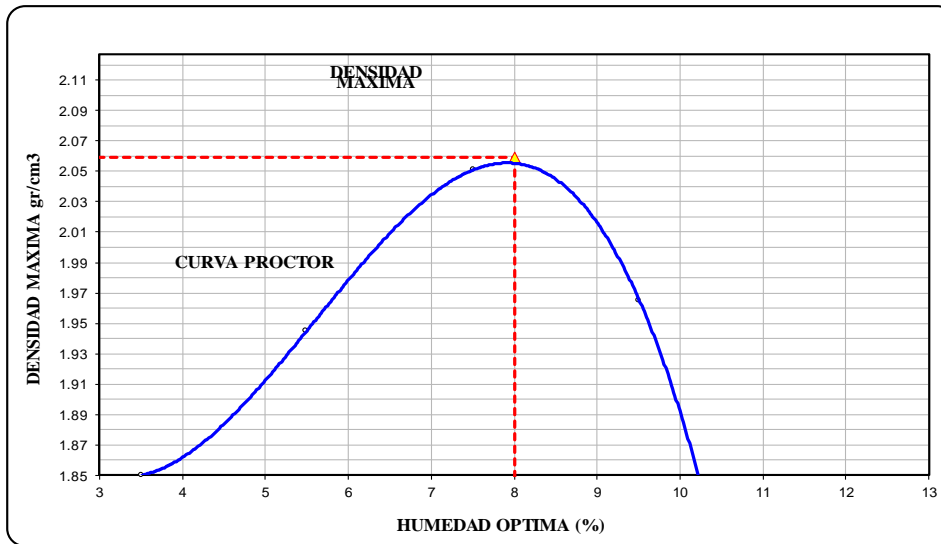
**DATOS DEL PROYECTO**

PROYECTO:	"INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CAL HIDRATADA SOBRE LA PLASTICIDAD, DENSIDAD MÁXIMA Y VALOR DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) EN LA CARRETERA MOSTAZAS-CHOCÁN, PROVINCIA DE AYABACA-PIURA-2022"		
PROVINCIA	AYABACA	FECHA:	20/07/2022
DEPARTAMENTO	PIURA		

**DATOS DE LA MUESTRA**

Cantera:	SOLE II - HIGUERÓN					
Progresiva:	-					
<b>TIPO PROCTOR: (MODIFICADO)</b>	<b>UND</b>	<b>PUNTOS</b>				
		1	2	3	4	Observaciones:
METODO DE COMPACTACION		C	C	C	C	
PESO SUELO + MOLDE	gr.	10859	11151	11478	11365	
PESO MOLDE	gr.	6768	6768	6768	6768	
VOLUMEN DEL MOLDE	cm3	2133	2133	2133	2133	
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	gr.	4091	4383	4710	4597	
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	gr/cm3	1.918	2.055	2.208	2.155	

<b>HUMEDAD</b>	<b>UND</b>	<b>RECIPIENTES</b>				
RECIPIENTE N°	cod.	0	0	0	0	Observaciones:
PESO SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	gr.	632.20	714.20	521.30	625.30	
PESO SUELO SECO + RECIPIENTE	gr.	610.80	677.00	484.90	571.00	
PESO DEL RECIPIENTE	gr.	0.00	0.00	0.00	0.00	
PESO DE AGUA	gr.	21.40	37.20	36.40	54.30	
PESO DE SUELO SECO	gr.	610.80	677.00	484.90	571.00	
CONTENIDO DE AGUA	%	3.50	5.49	7.51	9.51	
PESO VOLUMETRICO SECO	gr/cm3	1.853	1.948	2.054	1.968	



Densidad Maxima	2.06 gr/cm3	Humedad Optima	8.00 %
Densidad Maxima Corregida	gr/cm3	Humedad Optima Corregida	%

Observacion:



**CONSULTGEOPAV SAC - RUC: 20602407021**  
**SISTEMA INTEGRAL DE GEOTECNIA SUELOS Y PAVIMENTOS**

**ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**  
**(ASTM D 1883 / AASHTO T-190 / MTC E 132)**

**DATOS DEL PROYECTO**

**PROYECTO:** "INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CAL HIDRATADA SOBRE LA PLASTICIDAD, DENSIDAD MÁXIMA Y VALOR DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) EN LA CARRETERA MOSTAZAS-CHOCÁN, PROVINCIA DE AYABACA-PIURA-2022"

**PROVINCIA:** AYABACA **FECHA:** 20/07/2022  
**DEPARTAMENTO:** PIURA

**DATOS DE LA MUESTRA**

**Cantera:** SOLE II - HIGUERÓN  
**Progresiva:** -

**COMPACTACION**

	21		18		20	
Molde N°	21		18		20	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12789.00	12117.00	12654.00	12619.00	12275.00	
Peso de molde (g)	8065.00	8065.00	8201.00	8201.00	8020.00	
Peso del suelo húmedo (g)	4724.00	4052.00	4453.00	4418.00	4255.00	
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2123.00	2123.00	2120.00	2120.00	2121.00	
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.225</b>	<b>1.909</b>	<b>2.100</b>	<b>2.084</b>	<b>2.006</b>	
Tara (N°)	0		0		0	
Peso suelo húmedo + tara (g)	715.30	633.20	685.30	655.20	821.20	
Peso suelo seco + tara (g)	662.30	595.10	634.50	608.90	760.40	
Peso de tara (g)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Peso de agua (g)	53.00	38.10	50.80	46.30	60.80	
Peso de suelo seco (g)	662.30		634.50		760.40	
Contenido de humedad (%)	8.00		8.01		8.00	
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.060</b>		<b>1.945</b>		<b>1.858</b>	

**EXPANSION**

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
18/04/2021	16:33	0.00	0	0.000	0.0	0	0.000	0.0	0	0.000	0.0
19/04/2021	16:33	24.00	9	0.090	0.1	15	0.150	0.1	20	0.200	0.2
20/04/2021	16:33	48.00	18	0.180	0.2	21	0.210	0.2	29	0.290	0.3
21/04/2021	16:33	72.00	26	0.260	0.2	33	0.330	0.3	35	0.350	0.3
22/04/2021	16:33	96.00	32	0.320	0.3	39	0.390	0.3	42	0.420	0.4

**PENETRACION**

PENETRACION		CARGA STAND.	MOLDEN° 21				MOLDEN° 18				MOLDEN° 20			
			CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
			Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000	0.000		0	0		0	0		0	0		0		
0.635	0.250		123	122.9		68	67.8		35	34.7				
1.270	0.500		275	275.2		174	174.0		86	85.8				
1.905	0.750		425	425.5		259	259.2		124	123.9				
<b>2.540</b>	<b>1.000</b>	<b>70.455</b>	682	683.0	620.0	<b>43.6</b>	326	326.3	315.0	<b>22.1</b>	150	149.9	135.0	<b>9.5</b>
3.810	1.500		841	842.3			475	475.6			190	190.0		
<b>5.080</b>	<b>2.000</b>	<b>105.680</b>	1056	1057.8	1080.0	<b>50.6</b>	521	521.7	535.0	<b>25.1</b>	251	251.1	248.0	<b>11.6</b>
6.350	2.500		1282	1284.2			592	592.8			284	284.2		
7.620	3.000		1421	1423.5			692	693.0			345	345.3		
10.160	4.000		1562	1564.8			854	855.4			395	395.4		

  
**ROBERTO ELÍAS CASTRO AGUIRRE**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 8077

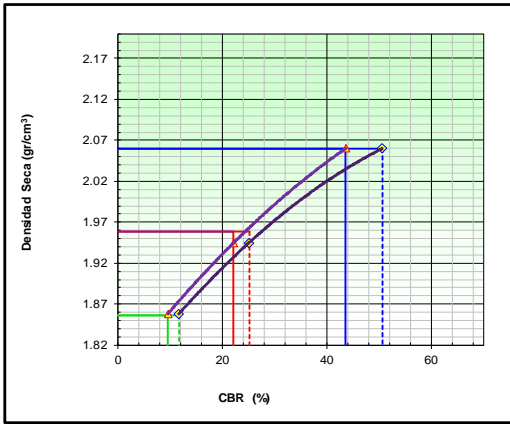
**ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)  
 (ASTM D 1883 / AASHTO T-190 / MTC E 132)**

**DATOS DEL PROYECTO**

PROYECTO:	"INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CAL HIDRATADA SOBRE LA PLASTICIDAD, DENSIDAD MÁXIMA Y VALOR DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) EN LA CARRETERA MOSTAZAS-CHOCÁN, PROVINCIA DE AYABACA-PIURA-2022"		
PROVINCIA	AYABACA	FECHA:	20/07/2022
DEPARTAMENTO	PIURA		

**DATOS DE LA MUESTRA**

Cantera:	SOLE II - HIGUERON
Progresiva:	-



**METODO DE COMPACTACION** : AASHTO T-180

MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 2.062

OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 8.00

95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.959

90% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.856

C.B.R. al 100% de M.D.S. (% 0.1"):	44	0.2":	51
C.B.R. al 95% de M.D.S. (% 0.1"):	22	0.2":	25
C.B.R. al 90% de M.D.S. (% 0.1"):	9	0.2":	12

**RESULTADOS:**

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = **44%**

Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = **22%**

Valor de C.B.R. al 90% de la M.D.S. = **9%**

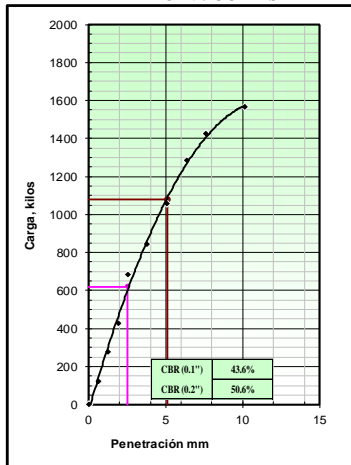
**OBSERVACIONES:**

.....

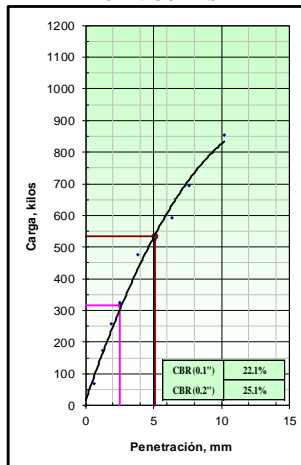
.....

.....

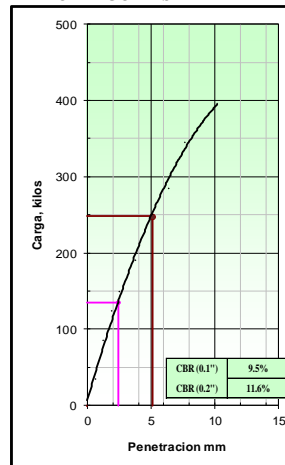
**EC = 56 GOLPES**



**EC = 25 GOLPES**



**EC = 12 GOLPES**



**ROBERTO ELIAS CASTRO AGUIRRE**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 INGENIERO CIVIL  
 INSCRITO Reg. CIP Nº 8097

## ANEXO C. Evidencias de la Ejecución de la Propuesta



Visita de Campo – Carretera Mostazas - Chocán



Obtención de Muestra Patrón





Delimitado de áreas para ensayos



Ensayo de Granulometría ASTM D422



Tamizaje de material de carretera ASTM D422



Secado de muestras en horno



Ensayo Proctor modificado



Ensayo de cohesión ASTM D2166