



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

Geotextil, cal y pavesa de carbón en la estabilización de suelo arena –  
limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia

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

**AUTORES:**

Durand Palomino Daniel ([orcid.org/0000-0001-9716-0614](https://orcid.org/0000-0001-9716-0614))

Trinidad Alvarez Diana Abigail ([orcid.org/0000-0001-6659-7012](https://orcid.org/0000-0001-6659-7012))

**ASESOR:**

M. Sc. Clemente Condori Luis Jimmy ([orcid.org/0000-0002-0250-4363](https://orcid.org/0000-0002-0250-4363))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de Infraestructura Vial

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2024

## DEDICATORIA

A mi Madre y hermanos, quienes me enseñaron el valor esencial de la perseverancia y porque ellos son mi motor y motivo para hacer realidad todas mis metas propuestas

A nuestro asesor, por ser quien nos orientó cada paso de nuestra investigación y nos brindó sus conocimientos sobre el tema planteado y sobre todo por dedicar su tiempo adicional a instruirnos para lograr buenos resultados.

***Diana***

Esta tesis está dedicado a mi familia quien me brindó su respaldo incondicional, confianza y educación, motivándome a no decaer ante las adversidades. A mis docentes por brindarnos sus conocimientos a lo largo de esta etapa profesional. A mis amistades por sus consejos y afecto.

***Daniel***

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por ser el timón que nos guía a lo largo de la vida.

A la Universidad, por brindarnos un acogedor ambiente de clases, y docentes de calidad, lo cual se ve reflejado en nuestro asesor M.Sc. Luis Clemente.

A mi madre Nilda Alvarez, por ser la mujer más luchadora y aguerrida, brindándome su invaluable apoyo desde el momento que llegue a este mundo.

A mis hermanos Judith Trinidad y Sergio Trinidad, quienes admiro y valoro por ser unidos ante las adversidades, siendo mi ejemplo de superación.

***Diana***

Agradezco a Dios por darme voluntad y sabiduría, a mi familia por estar presente en todo momento en este arduo recorrido, de igual manera a mi asesor M.Sc. Luis Clemente, quien con su conocimiento, enseñanza y orientación permitieron la elaboración de esta investigación.

***Daniel***



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

**Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, CLEMENTE CONDORI LUIS JIMMY, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ATE, asesor de Tesis titulada: "Geotextil, cal y pavesa de carbón en la estabilización de suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia", cuyos autores son DURAND PALOMINO DANIEL, TRINIDAD ALVAREZ DIANA ABIGAIL, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 13.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

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

LIMA, 10 de Julio del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
LUIS JIMMY CLEMENTE CONDORI DNI: 09957407 ORCID: 0000-0002-0250-4363	Firmado electrónicamente por: LCLEMENTECO el 30-07-2024 10:19:07

Código documento Trilce: TRI - 0808433





**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

**Declaratoria de Originalidad de los Autores**

Nosotros, DURAND PALOMINO DANIEL, TRINIDAD ALVAREZ DIANA ABIGAIL estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ATE, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Geotextil, cal y pavesa de carbón en la estabilización de suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

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

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

<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Firma</b>
DURAND PALOMINO DANIEL <b>DNI:</b> 74286589 <b>ORCID:</b> 0000-0001-9716-0614	Firmado electrónicamente por: DDURANDP el 26-07-2024 15:47:46
TRINIDAD ALVAREZ DIANA ABIGAIL <b>DNI:</b> 75450386 <b>ORCID:</b> 0000-0001-6659-7012	Firmado electrónicamente por: DTRINIDAD el 26-07-2024 15:40:59

Código documento Trilce: INV - 1673525



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR .....	iv
DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DE LOS AUTORES.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xi
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	7
III. METODOLOGÍA .....	19
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	19
3.2. Variables y operacionalización.....	21
3.3. Población, muestra y muestreo.....	23
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	25
3.5. Procedimientos .....	26
3.6. Método de análisis de datos.....	29
3.7. Aspectos éticos.....	30
IV. RESULTADOS.....	31
V. DISCUSIONES .....	89
VI. CONCLUSIONES .....	92
VII. RECOMENDACIONES.....	94
REFERENCIAS.....	95
ANEXOS .....	100

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de Suelos .....	15
Tabla 2. Zona de estudio.....	31
Tabla 3. Grupo control.....	32
Tabla 4. Resultado del ensayo granulométrico por tamizado .....	34
Tabla 5. Resumen de análisis granulométrico .....	35
Tabla 6. Valores de límite líquido y límite plástico .....	36
Tabla 7. Resultados de limite de consistencia .....	37
Tabla 8. Especificaciones fisicoquímicas .....	40
Tabla 9. Grupo experimental .....	40
Tabla 10. Grupo experimental convertido .....	41
Tabla 11. Valores del Proctor Modificado patrón .....	42
Tabla 12. Valores del Proctor Modificado grupo 1.....	44
Tabla 13. Resultados del Proctor grupo 1 .....	45
Tabla 14. Valores del Proctor Modificado grupo 2.....	46
Tabla 15. Resultados del Proctor grupo 2 .....	46
Tabla 16. Valores del Proctor Modificado grupo 3.....	47
Tabla 17. Resultados del Proctor grupo 3 .....	48
Tabla 18. Valores del Proctor Modificado grupo 4.....	49
Tabla 19. Resultados del Proctor grupo 4 .....	50
Tabla 20. Valores del Proctor Modificado grupo 5.....	51
Tabla 21. Resultados del Proctor grupo 5 .....	51
Tabla 22. Valores del Proctor Modificado grupo 6.....	52
Tabla 23. Resultados del Proctor grupo 6 .....	53
Tabla 24. Valores del Proctor Modificado grupo 7.....	54
Tabla 25. Resultados del Proctor grupo 7 .....	55
Tabla 26. Valores del Proctor Modificado grupo 8.....	56
Tabla 27. Resultados del Proctor grupo 8 .....	56
Tabla 28. Resumen general del Proctor – Grupo experimental .....	57
Tabla 29. Resultados de la densidad seca y humedad óptima (Patrón) .....	59
Tabla 30. Esfuerzo aplicado al CBR (Patrón).....	59
Tabla 31. Resultados del ensayo del CBR (Patrón) .....	59
Tabla 32. Resultados de la DS y HO (Dosif. 1) .....	61

Tabla 33. Esfuerzo aplicado al CBR (Dosif. 1) .....	62
Tabla 34. Penetración de CBR a 0.2" y 0.1" (Dosif. 1) .....	62
Tabla 35. Resultados de la DS y HO (Dosif. 2) .....	64
Tabla 36. Esfuerzo aplicado al CBR (Dosif. 2) .....	64
Tabla 37. Penetración de CBR a 0.2" y 0.1" (Dosif. 2) .....	64
Tabla 38. Resultados de la DS y HO (Dosif. 3) .....	66
Tabla 39. Esfuerzo aplicado al CBR (Dosif. 3) .....	67
Tabla 40. Penetración de CBR a 0.2" y 0.1" (Dosif. 3) .....	67
Tabla 41. <i>Resultados de la DS y HO</i> (Dosif. 4) .....	69
Tabla 42. Esfuerzo aplicado al CBR (Dosif. 4) .....	69
Tabla 43. Penetración de CBR a 0.2" y 0.1" (Dosif. 4) .....	69
Tabla 44. Resultados de la DS y HO (Dosif. 5) .....	71
Tabla 45. Esfuerzo aplicado al CBR (Dosif. 5) .....	72
Tabla 46. Penetración de CBR a 0.2" y 0.1" (Dosif. 5) .....	72
Tabla 47. <i>Resultados de la DS y HO</i> (Dosif. 6) .....	74
Tabla 48. Esfuerzo aplicado al CBR (Dosif. 6) .....	74
Tabla 49. Penetración de CBR a 0.2" y 0.1" (Dosif. 6) .....	74
Tabla 50. Resultados de la DS y HO (Dosif. 7) .....	76
Tabla 51. Esfuerzo aplicado al CBR (Dosif. 7) .....	77
Tabla 52. Penetración de CBR a 0.2" y 0.1" (Dosif. 7) .....	77
Tabla 53. <i>Resultados de la DS y HO</i> (Dosif. 8) .....	79
Tabla 54. Esfuerzo aplicado al CBR (Dosif. 8) .....	79
Tabla 55. Penetración de CBR a 0.2" y 0.1" (Dosif. 8) .....	79
Tabla 56. Resumen general del CBR .....	80
Tabla 57. Resumen del CBR al 95% y 100% .....	82
Tabla 58. Análisis de varianza del CBR .....	83
Tabla 59. Prueba de hipótesis del CBR .....	83
Tabla 60. Resumen del MDS al 95% y 100% .....	86
Tabla 61. Análisis de varianza del Proctor .....	87
Tabla 62. Prueba de hipótesis del Proctor .....	87



## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 .</i> Condicion actual de la calle Buenos Aires .....	3
<i>Figura 2.</i> Vista de la ubicación de la Zona de estudio .....	6
<i>Figura 3.</i> Pavimento flexible con y sin geosintéticos .....	8
<i>Figura 4.</i> Esquema del equipo CBR .....	10
<i>Figura 5.</i> Equipos del ensayo de compactación .....	16
<i>Figura 6.</i> Representación del diseño factorial $2^3$ .....	18
<i>Figura 7.</i> Vista de la zona de estudio para la extracción de las calicatas.....	24
<i>Figura 8.</i> Vista de calle Buenos Aires.....	32
<i>Figura 9.</i> Calicatas a 0+140km – 0+390 km.....	33
<i>Figura 10.</i> Poblacion beneficiada .....	33
<i>Figura 11.</i> Ensayo granulometrico en el laboratorio de la UCV .....	34
<i>Figura 12.</i> Curva granulometrica de suelo inalterado.....	35
<i>Figura 13.</i> Ensayo de limite liquido.....	36
<i>Figura 14.</i> Porcentaje de humedad del material.....	37
<i>Figura 15.</i> Selección de geotextil tipo 200 y 400 .....	38
<i>Figura 16.</i> Propiedades del geotextil no tejido tipo 200.....	38
<i>Figura 17.</i> Propiedades del geotextil no tejido tipo 400.....	39
<i>Figura 18.</i> Cal hidratada.....	39
<i>Figura 19.</i> Manipulación de la cal hidratada.....	39
<i>Figura 20.</i> Aditivos utilizados durante los ensayos.....	41
<i>Figura 21.</i> Ensayo de Proctor Modificado de muestra patrón .....	42
<i>Figura 22.</i> Peso de la muestra patrón .....	42
<i>Figura 23.</i> Curva de Proctor Modificado de muestra natural .....	43
<i>Figura 24.</i> Combinacion grupo 1 .....	44
<i>Figura 25.</i> Curva de Proctor Modificado de combinacion 1 .....	44
<i>Figura 26.</i> Combinacion grupo 2 .....	45
<i>Figura 27.</i> Curva de Proctor Modificado de combinacion 2.....	46
<i>Figura 28.</i> Combinacion grupo 3 .....	47
<i>Figura 29.</i> Curva de Proctor Modificado de combinacion 3.....	48
<i>Figura 30.</i> Combinacion grupo 4 .....	49
<i>Figura 31.</i> Curva de Proctor Modificado de combinacion 4.....	49
<i>Figura 32.</i> Combinacion grupo 5 .....	50

<i>Figura 33.</i> Curva de Proctor Modificado de combinacion 5.....	51
<i>Figura 34.</i> Combinacion grupo 6 .....	52
<i>Figura 35.</i> Curva de Proctor Modificado de combinacion 6.....	53
<i>Figura 36.</i> Combinacion grupo 7 .....	54
<i>Figura 37.</i> Curva de Proctor Modificado de combinacion 7.....	54
<i>Figura 38.</i> Combinacion grupo 8 .....	55
<i>Figura 39.</i> Curva de Proctor Modificado de combinacion 8.....	56
<i>Figura 40.</i> Resumen general del Proctor.....	57
<i>Figura 41.</i> Ensayo de CBR patrón.....	58
<i>Figura 42.</i> Comparación de resultados (Patrón).....	60
<i>Figura 43.</i> Ensayo de CBR (Dosificación 1) .....	61
<i>Figura 44.</i> Comparación de resultados (Dosif. 1) .....	62
<i>Figura 45.</i> Ensayo de CBR (Dosificación 2) .....	63
<i>Figura 46.</i> Comparación de resultados (Dosif. 2) .....	65
<i>Figura 47.</i> Ensayo de CBR (Dosificación 3) .....	66
<i>Figura 48.</i> Comparación de resultados (Dosif. 3) .....	67
<i>Figura 49.</i> Ensayo de CBR (Dosificación 4) .....	68
<i>Figura 50.</i> Comparación de resultados (Dosif. 4) .....	70
<i>Figura 51.</i> Ensayo de CBR (Dosificación 5) .....	71
<i>Figura 52.</i> Comparación de resultados (Dosif. 5) .....	72
<i>Figura 53.</i> Ensayo de CBR (Dosificación 6) .....	73
<i>Figura 54.</i> Comparación de resultados (Dosif. 6) .....	75
<i>Figura 55.</i> Ensayo de CBR (Dosificación 7) .....	76
<i>Figura 56.</i> Comparación de resultados (Dosif. 7) .....	77
<i>Figura 57.</i> Ensayo de CBR (Dosificación 8) .....	78
<i>Figura 58.</i> Comparación de resultados (Dosif. 8) .....	80
<i>Figura 59.</i> Prueba de normalidad (CBR) .....	84
<i>Figura 60.</i> Comparación de IP.....	85
<i>Figura 61.</i> Simulación de lluvia.....	85
<i>Figura 62.</i> Prueba de normalidad (Proctor) .....	88

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

**ARM:** Análisis de regresión múltiple.

**CBR:** Relación de rodamiento California.

**SPCT:** Pruebas de compactación Proctor estándar.

**UCS:** Resistencia a la compresión no confinada.

**WCA:** Cenizas de carbón residual.

**OMC:** Contenido de humedad óptimo.

**UCV:** Universidad Cesar Vallejo

**MDS:** Máxima densidad seca

**OCH:** Optimo contenido de humedad

**IP:** índice de plasticidad

**Hi:** Hipótesis alternativa

**Ho:** Hipótesis Nulo

**D:** Densidad

**HO:** Humedad óptima

**UCV:** Universidad Cesar Vallejo

**MTC:** Ministerio de Transportes y Comunicaciones

**DSO:** Densidad seca óptima

**LL:** Limite líquido

**LP:** Limite plástico

**SGC:** Sistema de gestión de calidad

**CaO:** Oxido de calcio

**MgO:** Oxido de magnesio

**K<sub>2</sub>O:** Oxido de potasio

**W:** Peso

**V:** Volumen

**PM:** Proctor Modificado

## RESUMEN

La presente tesis titulada: “Geotextil, cal y pavesa de carbón en la estabilización de suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia”, es de enfoque cuantitativo, se empleó una metodología de tipo aplicada, nivel correlacional, el método de estudio fue hipotético deductivo y el diseño de investigación es experimental. Tiene como finalidad de mejorar la estabilización del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia, mediante la incorporación del geotextil, cal y pavesa de carbón. Para ello se realizó una serie de ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas tales como MTC E 107-2000 (Granulometría) ASTM D 422, MTC E 110-2000 (Límite líquido de los Suelos) ASTM D 4318, MTC E111-2000 (Límite plástico, índice de plasticidad) ASTM D 4318, MTC E 115-2000 (Proctor Modificado) ASTM D 1557, MTC E 132-2000 (Capacidad de soporte) ASTM D 1883. Los resultados demostraron que el suelo natural es SM según la clasificación SUCS, contiene un límite líquido de 41.32%, límite plástico 19.05% y el IP de 22.3%, también arrojó un CBR promedio de 4.13, el cual según el Manual de carreteras es una subrasante insuficiente. Con la adición de 7% cal+ 14% pavesa de carbón, 9% cal +14% pavesa de carbón y 9% cal +16% pavesa de carbón respectivamente con 2.3 mm o 4.3 mm de geotextil se obtuvieron resultados de 8.17%,8.67%, 8.50%, 7.97%, 8.33%, 8.63%, al 95% de la MDS en CBR. Por concluyente el CBR incrementó un 100.26% respecto al 95% de la MDS con una penetración de 0.1 pulg. Así también, con la dosificación de 9% cal + 14% carbón + 2.3 mm geotextil o 9% cal + 14% carbón +4.3 mm geotextil se logra una densidad máxima de 1.92 g/cm<sup>3</sup> de un suelo arena limoso al ser compactado con una humedad óptima de 8.29%, a diferencia de la muestra natural con una MDS de 1.78 g/cm<sup>3</sup>. Se concluye que la mezcla de geotextil, cal y pavesa de carbón mejora significativamente la estabilización del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia.

**Palabras claves:** Suelo arena limosa, estabilización, subrasante, densidad seca, capacidad de soporte.

## ABSTRACT

The present thesis entitled: "Geotextile, lime and charcoal in the stabilization of sand-silty soil for subgrades resistant to rain erosion", has a quantitative approach, an applied methodology, correlational level, the study method was used. It was hypothetical-deductive and the research design is experimental. Its purpose is to improve the stabilization of sandy-silty soil for subgrades resistant to rain erosion, by incorporating geotextile, lime and charcoal ash. For this, a series of tests were carried out to determine the physical and mechanical properties such as MTC E 107-2000 (Granulometry) ASTM D 422, MTC E 110-2000 (Liquid Limit of Soils) ASTM D 4318, MTC E111-2000 ( Plastic limit, plasticity index) ASTM D 4318, MTC E 115-2000 (Modified Proctor) ASTM D 1557, MTC E 132-2000 (Bearing capacity) ASTM D 1883. The results showed that the natural soil is SM according to the classification SUCS, contains a liquid limit of 41.32%, plastic limit 19.05% and the IP of 22.3%, also showed an average CBR of 4.13, which according to the Highway Manual is an insufficient subgrade. With the addition of 7% lime + 14% carbon ash, 9% lime +14% carbon ash and 9% lime +16% carbon ash respectively with 2.3 mm or 4.3 mm of geotextile, results of 8.17%, 8.67 were obtained. %, 8.50%, 7.97%, 8.33%, 8.63%, at 95% of the MDS in CBR. Conclusively, the CBR increased by 100.26% compared to the 95% of the MDS with a penetration of 0.1 in. Likewise, with the dosage of 9% lime + 14% carbon + 2.3 mm geotextile or 9% lime + 14% carbon +4.3 mm geotextile, a maximum density of 1.92 g/cm<sup>3</sup> of a silty sandy soil is achieved when compacted with a Optimal humidity of 8.29%, unlike the natural sample with an MDS of 1.78 g/cm<sup>3</sup>. It is concluded that the mixture of geotextile, lime and charcoal pave significantly improves the stabilization of sand-silt soil for subgrades resistant to rain erosion.

**Keywords:** Silty sand soil, stabilization, subgrade, dry density, support capacity.

## I. INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial es una pieza fundamental para el progreso de la ciudadanía moderna, ya que permite la interconexión de pueblos y ciudades a fin de transportar personas y mercancías. La red de carreteras sigue siendo la solución que mejor combina coste y eficiencia para llegar a lugares a los que de otro modo no llegaría la red ferroviaria (Moscoso Thompson, et al. 2022).

Sin embargo, el deterioro de la infraestructura vial se ha convertido en un problema multifísico típico. Debido al comportamiento real acoplado de la congestión vehicular y las circunstancias ambientales, las pronósticaciones de la vida útil de un pavimento se han vuelto cada vez más complejas y requieren de conocimientos más extensos acerca del estudio de los materiales del pavimento. (Chen, et al. 2021). Es por ello que la vulnerabilidad de la infraestructura vial a los cambios en las condiciones ambientales ha recibido una atención cada vez más amplia (Chen, et al. 2023).

En ese mismo contexto, En el mundo de la construcción uno de los materiales de gran importancia es el suelo. Es por ello que se ha explotado eficazmente para diversos fines, como la construcción de infraestructuras sociales, agricultura y el estímulo de muchas otras actividades importantes que pueden ser útiles para la vida humana. La naturaleza del suelo es incierta de un lugar a otro conforme a sus características químicas, físicas y mecánicas (Gidebo, Yasuhara, Kinoshita 2023).

No obstante, La construcción de carreteras se ha visto muy afectada debido a la débil subrasante. Ahora bien, durante la fase de diseño de la carretera, se requieren las propiedades índices y diversas investigaciones para verificar la resistencia de la subrasante. Es por ello que, en diferentes tipos de subrasantes de suelo, sometidos a su débil resistencia, se han venido realizando diversos tipos de estabilización en todo el mundo (Kumar y Kumar Singh 2023).

Cabe mencionar que en algunos departamentos del Perú poseen suelos Arena - Limosas, el cual se particulariza por su baja capacidad de soporte ante la presencia de erosión, ya sea por la acción del agua o humedad. Por lo que altera sus

características tanto físicas como mecánicas de la subrasante, llevándolo a perder su aspecto inicial.

En tal sentido, modificar las características químicas, físicas y mecánicas de la subrasante, con productos tales como el geotextil, mejora su capacidad de soporte efectiva y sirve como un método alternativo de estabilidad económica (Kumar y Kumar Singh 2023). Adicionado a ello, La pavesa de carbón o también llamado cenizas volantes el cual mejora la eficiencia de la estabilización de suelos utilizando aditivos secundarios (Karami, et al. 2021).

China es uno de los países con precipitaciones fluviales más altas del mundo, principalmente en la zona Sur con clima Húmedo. De modo que, representa un problema muy realista para el sector de construcción. Ya que ante la presencia de elevada humedad influye en el estado de sus pavimentos. Sin embargo, con los conocimientos y tecnologías que poseen vienen ejecutando soluciones innovadoras a dicha problemática (Hu, Zhou y Chen 2023).

De igual manera, En el Perú se viene realizando Proyectos como de construcción o rehabilitación de la red vial de los distintos Departamentos, Gestionado por el MTC. Por consiguiente, la red Vial es de suma relevancia para el crecimiento de la economía del País, la cual traerá consigo una mejor calidad de vida de los centros Poblados. De eso se desprende, el diseño adecuado las vías con una buena estabilización de subrasante, añadiendo los componentes necesarios previamente evaluados, de acuerdo al tipo de suelo y a las debilidades que lo caracterizan.

Por otro lado, en el distrito de Lurigancho - Chosica, región de lima, la preocupación de los pobladores va creciendo cada vez más, puesto que las carreteras que existen allí, tienen una vida útil muy corto por tres razones principales: Su cercanía a la Sierra; hace que en temporada de lluvias, la humedad y erosión en el pavimento muestre su lado más ruin a los pavimentos existentes; tal como se observa en la figura 1.

En segundo lugar; Ser una zona de alto riesgo de huayco, donde al activarse las quebradas producto del huayco este tiende a terminar en las carreteras deteriorándolas gran parte de su infraestructura. En tercer lugar; el diseño de subrasante es convencional, lo cual no evita o amortigua las inclemencias del clima.

Todo esto genera una situación precaria para los vecinos de las distintas zonas de Chosica. Pero el mayor problema, incide en la falta de infraestructuras viarias de calidad. Por eso, la población pide a las autoridades que mejoren sus carreteras y a la vez cuenten con un diseño especial para evitar la erosión inherente al sitio.



(a)



(b)

*Figura 1.* Condición actual de la calle Buenos Aires, Lurigancho - Chosica.

Fuente: Propia

Por tanto, este trabajo de investigación se enfocó en la estabilización del suelo arena – limosa para subrasantes incorporando geotextil, cal y pavesa de carbón, para su resistencia a la erosión. Ubicado en el asentamiento humano Moyopampa en el distrito Lurigancho – Chosica, a fin de mejorar los elementos de soporte que disponen estos suelos limosos en base a la subrasante, Adicionalmente se tomó una iniciativa para la evaluación continua de la importancia del uso de geotextil, cal y pavesa de carbón como alternativa para estabilizar subrasantes, debido a que este tipo de situaciones se dan en diferentes puntos del país. Es por ello que se formula los siguientes problemas:

### **Problema General**

¿Cómo la mezcla de geotextil, cal y pavesa de carbón podrían mejorar la estabilización del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia?



## Problemas específicos

- ¿Por medio de una dosificación estimada de geotextil, cal y pavesa de carbón se podría magnificar la capacidad de soporte del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia?
- ¿Mediante una proporción óptima de cal y pavesa de carbón se podría modificar las propiedades físicas del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia?
- ¿Incorporando cantidades definidas de geotextil, cal y pavesa de carbón se podría mejorar la máxima densidad seca del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia?

En relación a la **Justificación teórica**: La presente investigación nos permitió aplicar los conocimientos y técnicas adquirido durante los años de estudio de la Facultad de Ingeniería Civil y el cual está vinculado al estudio de carreteras y suelos, de manera que sumamos nuevos conocimientos respecto a la estabilización de suelos para subrasantes con geotextil, cal y pavesa de carbón. Ahora bien, esto beneficiará a las investigaciones futuras actuando como base de datos. **Justificación Práctica**: Se dio solución a las fallas de la subrasante ante la erosión producto de la humedad. Con la incorporación de geotextil, cal y pavesa de carbón en la estabilización de la subrasante, aminorando dichos efectos. **Metodológica**: El tipo de investigación es experimental-descriptivo y de nivel cuantitativo. Porque se recoge y tabula los datos para luego analizarlos e interpretarlos. En ese mismo contexto, se somete y manipula a la variable independiente para observar la repercusión que produce en la variable dependiente. **Social**: En este aspecto permitió mejorar la subrasante y en efecto acrecentará la calidad de los pavimentos ante la erosión. Ya que se focaliza en las carreteras vecinales puntualizando la incidencia que podría tener cuando hay una estabilización con Geotextil, cal y pavesa de carbón. **Ambiental**: disminuyó el desperfecto de las carreteras y reduciendo el desperdicio de la demolición del mismo, ya que en muchas circunstancias terminan en botaderos ilegales o incluso en las laderas de ríos, contaminando el medio ambiente. **Económica**: El estudio posibilitó adicionar cal y ceniza de carbón al mercado, ya que son materiales de bajo coste, y excelentes estabilizantes junto al geotextil, logrando un proyecto de

calidad que cumpla los estándares en lo que concierne a su capacidad portante en presencia de humedad.

### **Objetivo General**

- Mejorar la estabilización del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia, mediante la incorporación del geotextil, cal y pavesa de carbón.

### **Objetivos Específicos**

- Magnificar la capacidad de soporte del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia mediante una dosificación estimada de geotextil, cal y pavesa de carbón.
- Modificar las propiedades físicas del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia mediante una proporción óptima de cal y pavesa de carbón.
- Mejorar la máxima densidad del suelo arena - limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia, a través de la adición del geotextil, cal y pavesa de carbón.

Así también se tiene como **Hipótesis general:**

La mezcla de geotextil, cal y pavesa de carbón mejora significativamente la estabilización del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia.

### **Hipótesis específicas**

- Una dosificación estimada de geotextil, cal y pavesa de carbón, magnifica la capacidad de soporte del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia.
- Una proporción óptima de cal y pavesa carbón modifica las propiedades físicas del suelo arena-limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia.

- Las cantidades definidas geotextil, cal y pavesa de carbón mejora la máxima densidad seca de la subrasante arena – limosas para subrasantes resistentes a erosión por lluvia.

## Delimitaciones

### Delimitación temporal

Esta investigación se llevó a efecto durante nueve meses, empezando en el mes de setiembre y se prevé concluir fines de julio de 2024, en este lapsus de tiempo, se cotejó información de gran envergadura, la cual sirvió como fuente de dato para ser aplicadas en el laboratorio de la UCV. Posterior a ello, los resultados se analizaron de manera de teórica.

### Delimitación espacial

La zona específica donde se ejecutó la presente investigación es en la calle Buenos Aires del asentamiento humano Moyopampa, ubicada en el distrito de Lurigancho - Chosica, provincia y región de Lima, tal como se observa en la figura 2. En tal sentido, se dio relevancia a las características mecánicas y físicas del suelo, ya que es la base fundamental de este estudio.



Figura 2. Vista de la ubicación de la zona de estudio.

Fuente: SIGRID

## II. MARCO TEÓRICO

### Antecedentes Internacionales

Vivek y sus colaboradores en su artículo “*Subgrade stabilization with geosynthetics and coal ash with multiple regression modeling: an experimental study*” (Estabilización de subrasante con geosintéticos y ceniza de carbón con modelamiento de regresión múltiple: un estudio experimental), donde emplearon una metodología experimental, el cual tuvo como finalidad aplicar el ARM para estudiar el suelo y determinar la incorporación óptima geosintéticos y cenizas de carbón. Se realizaron pruebas en el laboratorio con la muestra de suelo recolectada para categorizar el suelo, evaluar su índice y propiedades de ingeniería y examinar los atributos de compactación. Se realizaron pruebas de compactación Proctor estándar (SPCT), prueba UCS, pruebas CBR (sin remojar y empapado) en muestras con 10%, 20%, 30%, 40%, 50% de adición de cenizas de carbón y combinaciones de geosintéticos. A partir de los valores del CBR obtenido, se concluyó que a partir del valor CBR obtenido, el suelo con una adición de 10% a 20% de ceniza de carbón podría usarse efectivamente como subrasante estabilizada. Los resultados del CBR se incrementó, al igual que las capas de geotextil a las muestras tratadas con WCA. El índice de compresión (Cc) y el OMC del suelo se han determinado como una correlación lineal (Vivek, et al. 2022).

Malicki y sus colaboradores en su investigación titulada “*Improving the bearing capacity of the subgrade with the influence of recycled polyester geosynthetic: Laboratory investigations*” (Mejora de la capacidad portante de la subrasante con la Influencia del geosintético de poliéster reciclado: Investigaciones de laboratorio), aplicaron un método experimental, la cual su finalidad fue demostrar si los geosintéticos de demolición antiguos se podían utilizar como material reciclado para reforzar el subsuelo de carreteras y ferrocarriles. También se consideró la influencia de la forma del corte del geosintético. Para ello realizaron pruebas de laboratorio del efecto de la geomalla reciclada sobre la capacidad portante de los suelos utilizando una prueba CBR. Se seleccionó un geosintético de poliéster para las pruebas debido a su alta resistencia a la biodegradación y su amplia aplicación. De las pruebas de laboratorio, en una serie se utilizaron dos tipos de subrasante de

carreteras y vías férreas, mezclados con recortes de geosintéticos en dos concentraciones de peso diferentes. Los resultados obtenidos confirmaron la posibilidad de utilizar geomallas recicladas para acrecentar el CBR de la subrasante del pavimento, al menos en estas condiciones de laboratorio. En el caso de la arena, el uso de un 2,0% de aditivo provoca que el suelo mal compactado obtenga suficiente capacidad portante para la capa de subrasante mejorada de la carretera. Como era de esperar, el nivel de esta mejora acorde al tipo de suelo y de la forma de los recortes de geomalla (Malicki, et al. 2021).

Los geosintéticos se aplican para brindar un mejoramiento en las propiedades del suelo. Estos son materiales poliméricos utilizados junto con la subrasante del suelo para actuar como separador y material de refuerzo como se visualiza en la figura 3.

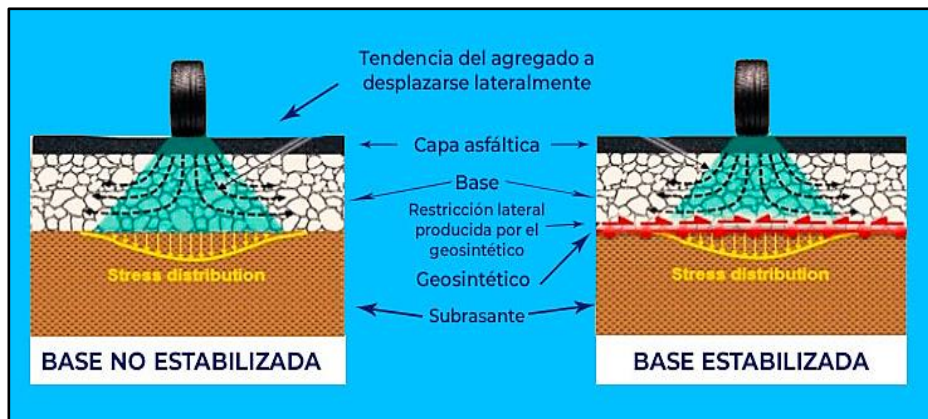


Figura 3. Pavimento flexible sin geosintético y con geosintético.

Fuente: <https://bit.ly/3GnrOJI>

Gissila y Mittal en su artículo *Incorporation of lime to optimize soil properties in dispersive subgrades* (Incorporación de cal para optimizar las propiedades del suelo en subrasantes dispersivos), se realizó una metodología experimental, la cual tuvo como finalidad identificar y mejorar el rendimiento del suelo dispersivo cuando se estabiliza con cal hidratada para mejorar la subrasante. Se realizaron pruebas en el laboratorio con la muestra del suelo como material primario como la prueba de doble hidrómetro para la determinación de la dispersión con un hidrómetro estándar y una prueba de hidrómetro paralelo. Se concluyó que la cal hidratada proporciona resultados prometedores en el progreso de las propiedades de ingeniería del suelo de subrasante. La dosis del 7% al 9% de cal hidratada es

suficiente para estabilizar el pavimento dispersivo del suelo de la base de la carretera (Gissila Gidday y Mittal 2020).

Selvi menciona que los firmes formados por suelos de subrasante costeros débiles, sometidos a cambios en el contenido de humedad debido a la humedad y al secado estacional o por cualquier otro motivo, sufren cambios volumétricos que conducen al deterioro del pavimento . Dos factores importantes que gobiernan el diseño de pavimentos son la resistencia del suelo y la carga del tráfico. Ha habido un movimiento hacia el uso del enfoque mecanicista en el diseño de pavimentos en muchos países desarrollados, es por ello que en su investigación “*Study of deformation and fatigue due to rutting in lime-stabilized subgrades to prepare a pavement design diagram* (Estudio de deformación y fatiga por ahuellamiento en subrasantes estabilizadas con cal para elaborar un diagrama de diseño de pavimento)”, su finalidad fue aumentar la resistencia de la subrasante con la incorporación de cal para cumplir con las especificaciones de diseño, para lo cual llevó a cabo un análisis elástico multicapa utilizando el programa informático KENLAYER para determinar la deformación por tracción en el fondo de capas bituminosas estabilizadas con cal y la deformación por compresión en subrasantes estabilizadas con cal. Finalmente como resultado de la investigación, se observó que la deformación por tracción en el fondo de las capas bituminosas estabilizadas con cal y la deformación por compresión en subrasantes estabilizadas con cal se reducen considerablemente en subrasantes estabilizadas (Selvi, 2015).

Guo y sus colaboradores en su artículo *Experimental evaluation of soils stabilized with geotextile on the subgrade under simulation of rainfall and cyclic loading*. (Valoración experimental de suelos estabilizados con geotextil sobre la subrasante bajo simulación de lluvia y carga cíclica), empleó un método experimental, la cual su propósito fue mejorar las bases estabilizadas con geotextiles después de lluvias simuladas. Se realizaron una serie de pruebas de carga de placas cíclicas a gran escala en las secciones de prueba sin o con un geotextil absorbente o no absorbente. Cada prueba de carga cíclica se realizó después de un período simulado de lluvia y drenaje. Se analizaron las deformaciones permanentes de la superficie para evaluar los beneficios del geotextil absorbente para estabilizar la base agregada sobre dos suelos de subrasante diferentes. Se concluyó que el

geotextil absorbente proporcionó un drenaje eficaz durante e inmediatamente después de la simulación de lluvia, ya que el agua se movía más fácilmente en la dirección de las fibras absorbentes (Guo, et al. 2021).

### Antecedentes Nacionales

Goñas y Saldañas en su investigación: “Subrasante mejorada con pavesa de carbón: Estabilización de suelos” empleó una metodología experimental, con la intención de acrecentar las características de soporte del suelo utilizando ceniza de carbón. Estudiaron la mecánica del suelo mediante pruebas de laboratorio para obtener resultados físicos y mecánicos de las muestras de suelos tomadas de las calicatas, la capacidad de carga se evaluó mediante la prueba CBR, seguida del ensayo de Proctor, que ayudó a determinar el OCH de la muestra y su DSO. Se concluyó que al adicionar el 25% de cenizas de carbón brinda un mejor rendimiento al subsuelo del suelo (Goñas Labajos y Saldañas Nuñez 2020).

En ese mismo contexto, en la Figura 4 nos presenta el equipo del CBR, La cual dicho ensayo en el equipo, proporciona información sobre las propiedades mecánicas del suelo, como su capacidad de soporte, compactación y drenaje. Estos datos son fundamentales para el diseño de estructuras adecuadas y seguras. Asimismo, nos indica el resultado de la capacidad de soporte del suelo, la cual es utilizado con fines de diseño para el pavimento.

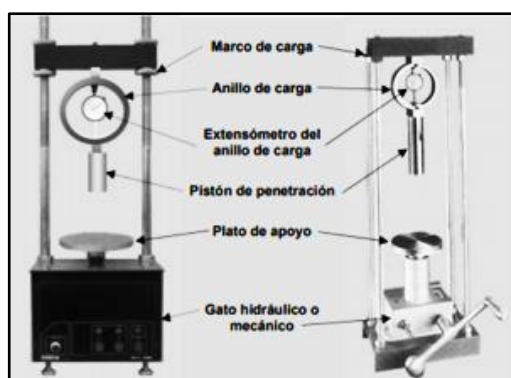


Figura 4. Esquema del equipo del CBR

Fuente: <https://bit.ly/3R4KlItt>

Mamani y sus colaboradores afirman que hay una carencia de carreteras asfaltadas que conecten los núcleos de población de la ciudad de Puno en Perú; gran parte

de las vías de unión son trochas carrozables. Adicionalmente, estas vías dificultan la circulación continuada y segura de los vehículos debido a los baches y el deterioro causado por la lluvia. Por lo tanto, tuvo como objetivo determinar la efectividad al combinar cal y ceniza de quinua en la estabilización del suelo. Para ello, se empleó una metodología experimental pura y un enfoque cuantitativo. Tras procesar las muestras y los datos, se apreció una pequeña variación en los límites de atterberg en comparación con el suelo patrón al adicionar un 5% de cal y 9% de ceniza de quinua. Acorde al análisis se mostró una disminución del 9% en el contenido de humedad y un aumento del  $1,902 \text{ g/cm}^3$  en la densidad seca. El CBR también acrecentó llegando resultados del 32,0% al 100% de la DS y un 25,6% al 95% de la DS. Por lo tanto, al adicionar cal y ceniza de quinua brindan un mejoramiento en las características del suelo cohesivo. En conclusión, al incorporar ceniza de quinua y cal mejoran las características mecánicas del suelo (Mamani Gonzalo, et al. 2023).

Longa y Sánchez en su investigación “Mejoramiento de subrasante con el uso de pavesa de carbón del Asentamiento Humano, Ciudad del Niño, distrito de Castilla, Piura, 2021” se empleó un estudio experimental, la cual tuvo como finalidad evaluar la incidencia de la pavesa de carbón respecto a la mejora de la subrasante. Se realizaron ensayos como la granulometría, LL y LP, Proctor modificado y por último el CBR. Se concluyó que al adicionar el 15% de ceniza de carbón a la calicata 1 de la muestra extraída, aumento significativamente el CBR (+7.9%), al  $1.660 \text{ gr/cm}^3$  de la MDS y OCH de 16.18 % y para la calicata 2 el CBR aumento (+8.1%) con una MDS de  $1.722 \text{ gr/cm}^3$  y un OCH de 14.11 % (Longa y Sánchez, 2021).

Cano en su investigación “Aplicación de geomallas triaxiales y geotextiles en la estabilización de la subrasante en la Av. Antúnez de Mayolo, Los Olivos, Lima-2021” donde se emplearon una metodología cuasiexperimental, su finalidad fue determinar la influencia al aplicar los geotextiles y geomallas triaxiales para estabilizar la subrasante del pavimento flexible. Por lo que se hicieron ensayos de Proctor, corte directo y CBR. Se concluyó que el índice del CBR de la subrasante aumentó en un 42.56% y 46.37% respectivamente, y antes de aplicar era de 8.87% (Cano, 2021).



## **Bases teóricas**

### **Teoría del Origen de las rocas**

Las piedras es un tema de gran rigor que ha sido objeto de debate y estudio en diferentes disciplinas científicas. Existen diferentes teorías que pretenden explicar la misma forma y el origen de las piedras. Permíteme mencionarte algunas de las teorías más conocidas:

- ✓ Teoría geológica: Según esta teoría, las piedras se forman a través de procesos geológicos naturales, como la solidificación de magma o lava volcánica, la sedimentación de partículas minerales en ríos y océanos, la compresión. Los sedimentos se encuentran con un kilómetro de años de antigüedad y la cristalización de los minerales se produce en un entorno uniforme de temperatura y presión.
- ✓ Teoría tectónica de placas: Esta teoría explica que las piedras pueden formarse debido a la actividad de las placas tectónicas en la corteza terrestre. Por este motivo, la selección de los paneles se puede realizar por las montañas y los elementos que conducen a la formación de rocas metamórficas. Además, el movimiento de las placas puede crear caídas y fracturas en la corteza terrestre, lo que facilita la formación de rocas y sedimentos.

En relación a la presente investigación, la arena limosa se forma a partir de la descomposición y erosión de rocas y minerales a lo largo del tiempo. Está compuesta principalmente por partículas de arena fina y limo, que son fragmentos de rocas y minerales de tamaño reducido.

Ahora bien, el origen de la arena limosa puede variar dependiendo de la ubicación geográfica. En general, se puede encontrar en áreas costeras, deltas de ríos, lechos de lagos y depósitos fluviales. Estos lugares son propensos a la acumulación de sedimentos debido a la acción del agua y el viento.

## **Teoría de los agregados del suelo**

La teoría considera que los agregados del suelo son la base fundamental de toda estructura, ya que cumplen un rol importante en determinar la estabilidad estructural, así como en las características del suelo ya sea físicas o químicas. Por consiguiente, se convierten en un punto de preocupación en lo que respecta a la relación entre la infiltración de la lluvia y la erosión del suelo (Gan, et al. 2022).

La teoría de los agregados del suelo se basa en la idea de que los agregados están compuestos por partes individuales que se ensamblan en estructuras agregadas de mayor tamaño. Estos agregados se forman por la unión de partes primarias, entre ellas la arena, limo y la arcilla, junto con materia orgánica y otros componentes. Asimismo, la formación de los agregados del suelo está influenciada por varios factores, como la actividad biológica, la presencia de sustancias orgánicas, la humedad y la interacción entre las partículas del suelo. Estos agregados son importantes porque afectan la porosidad, retención, permeabilidad y la resistencia a la lluvia.

En resumen, la teoría de los agregados del suelo se basa en la comparación de lo que componen los suelos con los agregados formados por la unión de partículas primarias y otros componentes.

## **Teoría de Mohr-Coulomb (Resistencia a la fuerza de compactación)**

Según esta teoría, la resistencia al corte de un suelo puede describirse en virtud de un criterio de falla que relaciona al esfuerzo de corte (EC), con el esfuerzo normal en un plano de corte. El criterio de Mohr-Coulomb nos establece que el EC falla cuando en un plano alcanza su punto máximo, que depende de la cohesión del suelo y del ángulo de fricción interna. por otro lado, representa la resistencia del suelo ante la fuerza de “compactación” que es sometida y la dependencia de la tensión normal.

La teoría de la resistencia al corte de un suelo se puede calcular mediante el modelo de Mohr-Coulomb:

$$\tau = c + \sigma * \tan (\varphi)$$

Donde:

$\tau$ : es el esfuerzo cortante

$\sigma$ : es el esfuerzo normal

$c$ : es la cohesión

$\varphi$ : es el ángulo de fricción interna.

En ese mismo contexto, la cohesión es una propiedad del suelo que representa su capacidad para resistir el corte y la presión es normal. Así también, se aplica en el diseño de estructuras y materiales, así como en el análisis de la estabilidad de estructuras y excavaciones. Sin embargo, es importante tener en cuenta que este modelo simplifica algunas características complejas del comportamiento del suelo y puede no ser aplicable en todos los casos. Por lo tanto, recomendamos utilizar estos métodos y considerar las condiciones específicas del piso y del proyecto en la pregunta.

Es imprescindible mencionar que, Desde el siglo XVIII, los ingenieros mecánicos y químicos se han esforzado por gestionar las numerosas dificultades del manejo de cereales, la mayoría de las cuales están relacionadas con problemas de flujo (Cares Pacheco y Falk 2023).

### **Teoría de la estabilización de suelos**

El ajuste o modificación física, mecánica, hidráulica, eléctrica o química de las características principales de los suelos pobres se conoce como estabilización del suelo. Es una técnica antigua para colocar cimientos estables lo suficientemente fuertes como para soportar las cargas impuestas por la subestructura y superestructura de edificios, carreteras, puentes, terraplenes y sistemas hidráulicos (Jiarui, et al. 2023)

Asimismo, se utilizan en ingeniería civil y geotécnica para brindar una mejora en las características de los suelos de manera que sean más adecuados para la creación de estructuras, puentes, carreteras y edificios con la finalidad de incrementar su capacidad de carga y durabilidad.

### **Marco conceptual**

(Reyes, 2017 pág. 59) Explica que "los tipos de suelo podrían definirse como patrones con determinadas características como el color, tamaño y consistencia de las partículas, que mayormente son firmes o blandos, compactos o sueltos", visto en la tabla 1:

**Tabla 1:** *Clasificación de suelos*

Tipo de suelo	Subgrupo
Grava (G)	Bien gradada (W)
Arena (S)	Pobrementemente gradada (P)
Limo (M)	Limoso (M)
Arcilla (C)	Arcilloso (C)

Fuente: MTC - 2013

El geotextil absorbente se ha utilizado cada vez más en proyectos de campo para mitigar los problemas viales relacionados con el agua. Los estudios anteriores demostraron que el geotextil absorbente podría proporcionar estabilización mecánica, servir como barrera capilar y mejorar el drenaje lateral. El geotextil absorbente se diferencia de los geotextiles no absorbentes al proporcionar drenaje capilar o por mecha en condiciones no saturadas, mientras que los geotextiles no absorbentes solo brindan drenaje gravitacional en condiciones saturadas o casi saturadas (Guo, et al. 2021).

El ensayo de Proctor modificado, se utiliza con la intención de estimar las propiedades de un suelo al ser compactadas, la cual nos permite evaluar la densidad máxima húmeda óptima de un suelo.

Asimismo, durante el ensayo se selecciona una muestra peculiar del suelo y se compacta en capas utilizando un martillo o una máquina de compactación como se aprecia en la figura 5. Luego se aplica una serie de golpes o presiones controladas

para simular las condiciones de carga a las que estará expuesto el suelo en la vida real. Luego de ser compactado cada nivel, se calcula la densidad seca del suelo y se registra la humedad. Por consiguiente, estos valores son utilizados para realizar la curva de compactación, la cual nos brinda la concordancia entre humedad y densidad del suelo.

En tal sentido, los resultados del ensayo son importantes para el diseño de estructuras y cimientos, ya que permite evaluar la capacidad de soporte (CS) y la firmeza del suelo.



Figura 5. Equipos del ensayo de compactación.

Fuente: <https://bit.ly/3Gmdpgp>

La presencia de cal para estabilizar suelos tiene muchos beneficios como se menciona a continuación:

- ✓ Mejora de la plasticidad: La cal puede reducir la plasticidad de los suelos arcillosos, lo que ayuda a disminuir la contracción y la expansión del suelo debido a los cambios de humedad. Esto mejora la estabilidad del suelo y reduce la gran cantidad de asentamientos diferentes.
- ✓ Aumento del CS: La cal puede aumentar el CS del suelo al mayor su resistencia y cohesión. Es particularmente útil en suelos blandos o poco cohesivos, donde la cal puede aumentar la resistencia y permitir una mayor distribución de las cargas.
- ✓ Mejora de la durabilidad: La cal puede aumentar la durabilidad del suelo al reducir la susceptibilidad a la erosión y la descomposición. Es

particularmente importante en áreas con alta exposición al agua o condiciones ambientales adversas.

- ✓ Reducción de la expansión por sulfatos: La cal puede reaccionar con los sulfatos presentes en el suelo, reduciendo así la expansión y el daño causado por la reacción sulfato-soporte. Es particularmente relevante en los suelos con altos contenidos en sulfatos, como los suelos arcillosos expansivos.
- ✓ Es importante tener en cuenta que los efectos del cálculo estabilizan los pisos y varían dependiendo de las características específicas del piso y las condiciones del proyecto. Por lo tanto, se recomienda realizar estudios y pruebas de laboratorio para determinar la dosificación adecuada de cal y evaluar los efectos esperados en cada caso particular.

El carbón posee alta porosidad y capacidad de absorción, lo que ayuda a retener la humedad y los nutrientes en el suelo, evitando su lixiviación. Además, el carbón puede ayudar a estabilizar el suelo al mejorar su capacidad de retención de partículas. Ya que, tiene una carga eléctrica negativa, lo que le permite atraer y retener partículas cargadas positivamente, como arcillas y limos, en el suelo. Esto ayuda a aumentar la cohesión y la estabilidad del suelo, reduciendo la erosión y el deslizamiento.

Otra forma en que el carbón puede actuar como estabilizante de suelo es mediante la reducción de la compactación. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los efectos del carbón como estabilizante de suelo varían acorde a la peculiaridad del suelo y el tipo de carbón utilizado.

### **Diseño factorial 2<sup>k</sup>**

El diseño factorial es una técnica empleada en la experimentación e investigación, con el objetivo de analizar los múltiples efectos que tienen las variables independientes en una variable dependiente. Consiste en manipular y combinar diferentes niveles de cada variable independiente para analizar cómo interactúan entre sí y cómo afectan al resultado final. Es una herramienta poderosa para comprender las relaciones causales y optimizar los resultados en diversos campos, como la ciencia, la ingeniería y la psicología.

En ese mismo contexto, El diseño factorial  $2^3$  es una variante del diseño factorial en el que se estudian tres variables independientes, cada una con dos niveles, véase en la figura 6. Esto implica que se realizan ocho combinaciones posibles de los niveles de las variables. El objetivo es analizar cómo estas variables se relacionan entre sí y cómo repercutan en la variable dependiente. Este tipo de diseño permite reconocer los efectos primordiales de cada variable, así como las interrelación entre ellas, lo que proporciona una percepción más plena de los elementos que participan en el resultado final. Por consiguiente en la presente investigación presenta tres variables como el geotextil, cal y pavesa de carbón.

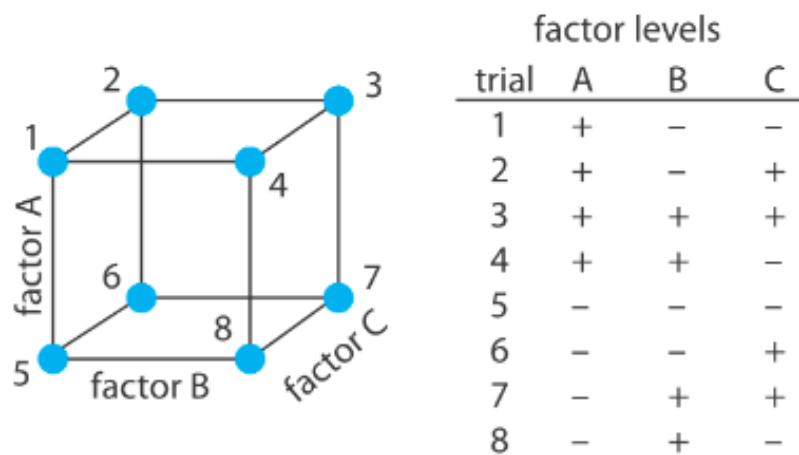


Figura 6. Representación del diseño factorial  $2^3$

Fuente: <https://bit.ly/483WKtM>

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

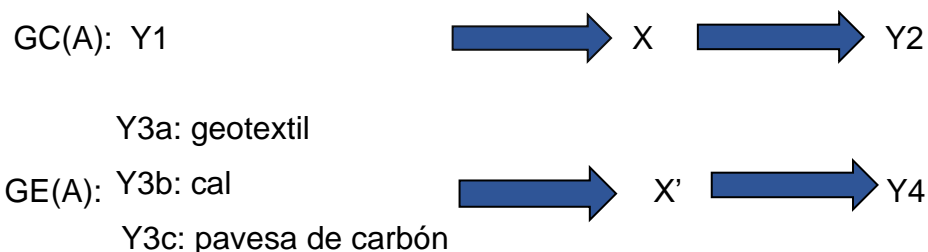
##### Tipo de Investigación

Sanca (2011) nos menciona que la investigación científica se desarrolla de manera deliberada con el objetivo de explorar posibles respuestas a una pregunta específica. En este contexto, la investigación estructura la metodología de estudio utilizando formas organizadas de conocimiento basadas en eventos relevantes. La configuración de este modelo varía según la profundidad del conocimiento que se busca obtener.

En ese mismo contexto, Lozada (2014) menciona que finalidad de una investigación aplicada es generar que pueda aplicarse directamente a los desafíos sociales o productivos. Se basa principalmente en los descubrimientos tecnológicos provenientes de la investigación básica, con un enfoque en promover el vínculo teoría-producto. En relación a estas nociones, la presente se centró en investigación *aplicada*, debido a que se proporciona alternativas de solución a la inestabilidad del suelo arena limosa ante la presencia de lluvia.

##### Diseño de Investigación

Para Ramos (2021), la investigación experimental se describe por la manipular de manera intencionada a la variable independiente y analizar su repercusión en una variable dependiente. Acorde a esta asección el diseño está conformado por la estructura proyectada a continuación:





Donde:

GC: Grupo control

GE: Grupo experimental

X: Variable independiente

X': Variable dependiente

Y1, Y3a, Y3b, Y3c: pretest (prueba previa)

Y2, Y4: posttest (prueba previa)

Donde se averiguó el vínculo entre los impactos del geotextil, cal y pavesa de carbón en la estabilización de suelo arena limosa.

### **Método de Investigación**

En contraste con los métodos teóricos que se centran en el desarrollo de conceptos y teorías, el método empírico se enfoca en la experiencia y la evidencia práctica. Asimismo, dentro de ella se encuentra el hipotético deductivo el cual tiene un enfoque de investigación científica que implica la formulación de hipótesis, la predicción de resultados observables a partir de esas hipótesis y la realización de pruebas empíricas para evaluar la validez de las predicciones. Asu vez, busca comprender los fenómenos y proporcionar explicaciones sobre su origen o las causas que los provocan. Además, tiene como metas la predicción y el control, siendo este último uno de los usos más significativos respaldado por leyes y teorías científicas (Sánchez 2019). Por consecuente esta investigación se define como el método *hipotético deductivo* debido que se formularon varias hipótesis que son afirmaciones tentativas sobre relaciones entre variables o explicaciones para fenómenos observados.

### **Nivel de Investigación**

Según Ramos (2020), La finalidad del proceso de investigación es hallar respuestas a las variadas necesidades humanas. En este procedimiento, el alcance de la investigación puede abarcar diferentes niveles, que van desde lo exploratorio y descriptivo hasta lo correlacional, culminando en un alcance explicativo, donde se busca comprender y explicar el fenómeno objeto de estudio. Esta investigación es

de *nivel correlacional* dado que se manipuló las variables como el geotextil, cal y pavesa de carbón y su repercusión en la variable dependiente el cual es la estabilización del suelo.

### **Enfoque de Investigación**

Sánchez (2019) menciona que la investigación cuantitativa se caracteriza por abordar fenómenos que son cuantificables, es decir, que pueden expresarse mediante números, como por ejemplo: edad, cantidad de hijos, peso, aceleración, estatura, masa, cociente intelectual, nivel de hemoglobina, etc. Esta modalidad de investigación utiliza técnicas estadísticas para evaluar datos recopilados, y su finalidad es explicar, describir, prever y controlar de manera objetiva las causas de estos fenómenos, así como anticipar su ocurrencia a partir de la revelación de dichas causas.

Este trabajo de investigación pertenece al *enfoque cuantitativo*, ya que nuestros resultados se enfocaron en la medición precisa de variables mediante datos numéricos. Asimismo, Este enfoque se singulariza por su realce en la medición, estadística y objetividad.

### **3.2. Variables y operacionalización**

**Variable independiente:** Geotextil

**Definición conceptual:** Un geosintético es un material geotécnico y de ingeniería civil que tiene la forma de una estructura tridimensional o una lámina filtrante de manto con al menos un componente compuesto de polímero natural o sintético, así como de acero (Kumar 2023).

Así también, Los geotextiles son algunos tipos de geosintéticos que ayudan a distribuir las cargas sobre la estructura del pavimento de manera más eficiente. Según los estudios, acrecenta la capacidad de carga efectiva de la subrasante del suelo y sirve como un método alternativo de estabilidad económica (Kumar 2023)

**Definición operacional:**

En una muestra de suelo de la calle Buenos Aires se aplicó el geotextil, para poder apreciar su comportamiento frente a los distintos ensayos y poder determinar sus ventajas y diferencias.

**Variable independiente:** cal

**Definición conceptual:** La cal es un compuesto químico que se obtiene principalmente a partir de la roca caliza. La cual es un componente ampliamente aplicado en la ingeniería civil y su uso en subrasantes tiene varias ventajas significativas (Kikut, Baldi y Elizondo 2020).

En tal sentido, el grado de estabilización depende de la reacción suelo-cal. Las principales influencias de esta reacción son la capacidad de carga y una reducción de la dispersividad de los suelos (Gissila Gidday y Mittal 2020).

**Definición operacional:** Para medir la variable cal se evaluó fundamentalmente la compactación, aplicando cal en dosificación del 7% y 9%, a través del ensayo California Bearing Ratio. Asimismo, es relevante proseguir las normas y estándares específicos, como los establecidos por la norma ASTM D1883, para asegurar la consistencia y la precisión de los valores obtenidos del ensayo CBR.

**Variable independiente:** pavesa de carbón

**Definición conceptual:** La ceniza de carbón es un subproducto que se forma como resultado de la combustión del carbón, ya sea en centrales eléctricas, fábricas que utilizan carbón como fuente de energía y han sido utilizadas en el pasado como un material para acrecentar las propiedades de la subrasante en proyectos de construcción de carreteras.

Aunado a esto, la pavesa de carbón incrementa las propiedades de resistencia, reducen el potencial de hinchazón y mejoran el rendimiento hidráulico y de durabilidad, lo que da como resultado un pavimento de alta calidad (Zimar, et al. 2022).

**Definición operacional:** Para medir la variable pavesa de carbón se evaluó esencialmente los límites de Atterberg, empleando pavesa de carbón en proporción del 14% y 16%, mediante el ensayo de LI, Lp e Ip. En tal sentido, es crucial seguir el procedimiento de la norma ASTM D4318.

**Variable dependiente:** Estabilización del suelo

**Definición conceptual:** La estabilización del suelo es un proceso en ingeniería civil que implica la mejora de las propiedades del suelo natural que constituye la base de una carretera, una estructura o cualquier otra superficie sobre la que se va a construir.

Ahora bien, la estabilización con diferentes tipos de estabilizadores puede mejorar las propiedades técnicas del suelo. Cuando se utilizan materiales industriales o naturales disponibles localmente, los suelos estabilizados son materiales de construcción muy útiles (Ikeagwuani y Nwonu 2019).

**Definición operacional:** Se llevaron a cabo una serie de ensayos a fin de determinar si las muestras de la subrasante consiguieron estabilizarse. Por ende, esta variable se operacionalizó por medio de sus dimensiones como la compactación límites de atterberg y proctor modificado.

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

#### **Población**

Según Ñaupas y sus colaboradores menciona que una población puede describirse como un conjunto de unidades de estudio que tienen las características necesarias para ser considerada como tal. Estas unidades pueden ser objetos, escenas, eventos, fenómenos o personas que tengan características asociadas a la investigación. (Ñaupas, et al. 2018).

En esta investigación la población ha sido la calle Buenos Aires del asentamiento humano Moyopampa, del distrito de Lurigancho – Chosica.

- **Criterios de inclusión:** Zonas donde se han observado deterioro de la subrasante producto de la erosión por lluvia.
- **Criterios de exclusión:** Zona donde no se han observado deterioro de subrasante producto de la erosión por lluvia.

## Muestra

Para Hernández Fernández y Baptista (2014) La muestra es un grupo reducido dentro de la población de interés del cual se obtendrán datos, y es esencial definirla y delimitarla con precisión antes de la recopilación de datos. Asimismo, resulta fundamental que la muestra represente de manera adecuada a toda la población en consideración. En tal sentido, para esta investigación las muestras fueron obtenidas precisamente de la trocha carrozable, en el cual se extrajeron 2 calicatas, y se llevó a cabo los ensayos respectivos, según sus porcentajes de pavesa de carbón 14% - 16%, de cal al 7% - 9% y 2.3 mm - 4.3mm de geotextil.

El tramo donde las muestras fueron extraídas es la siguiente:



Figura 7. Vista de la zona de estudio para la extracción de las calicatas.

Fuente: Google Earth

## Muestreo

Serna (2019) menciona que el propósito del muestreo es reunir la amplitud y diversidad de los estudios de casos para revelar diferencias fundamentales entre grupos, logrando así una "saturación" de categorías que no resulta del número acumulativo de casos, sino que ocurre a medida que surgen nuevos casos. En ese mismo contexto, para esta investigación se efectuó la técnica de muestreo no probabilístico intencional.

## **Unidad de análisis**

Según Ñaupas y sus colaboradores, afirman que la unidad de análisis para un estudio tienen características similares en una área determinada. Empíricamente se puede afirmar que son las cualidades, características de una persona, fenómeno, hecho u objeto lo cual se usan instrumentos para medir la variable en una investigación.

En concordancia a lo mencionado, se tomó como unidad de análisis al número de calicatas que se extrajo para disponer de muestras de suelo, la cual fueron evaluadas en laboratorio. Asimismo, se usaron 2 calicatas que nos proporcionaron la información necesaria para el progreso de la investigación.

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

#### **Técnica**

Orellana y Sánchez (2006) afirma que las técnicas de recolección de datos se fundamentan en la observación y participación, que se llevan a cabo en condiciones rutinarias e implican a los investigadores, que examinen la situación social en estudio y realizan un análisis directo y completo de situación tal como sucede, su participación de acuerdo con el propósito previsto del diseño de investigación.

En paralelo, es una técnica que implica observar y registrar eventos o fenómenos en un entorno controlado. Es por esta razón que; se efectuó la técnica *observación experimental*, con el propósito de recopilar datos y obtener información para el análisis y conclusiones.

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

Hernández y Duana (2020) nos indica que en una investigación científica cualquier instrumento empleado en la recolección de datos debe ser objetivo, confiable y tener validez. Sin embargo, si no se cumplen algunos de estos elementos, no será útil y los resultados obtenidos no serán legítimos.

Por lo tanto, los instrumentos que se empleó para esta investigación son las *fichas técnicas de laboratorio*. Por otro lado, también se utilizaron formatos adicionales de ensayos o procedimientos no previstos, para fortalecer la información recopilada.

### **Validez**

Sürücü y Maslakçi (2020) nos menciona que la validez se trata de determinar si el instrumento de medición realmente evalúa el comportamiento o la calidad que se intenta medir, y representa qué tan efectivamente cumple su propósito el instrumento de medición.

Dentro de este marco, los instrumentos del presente informe se llevaron a cabo mediante la técnica de *validación de expertos* en caso algunos ensayos o procedimientos no previstos, no se encuentren validados por INACAL. Asimismo, dicha técnica es un método utilizado para evaluar la precisión y confiabilidad de la información o los resultados, tal como se muestra en el anexo 4. Ahora bien, los expertos son seleccionados por su experiencia y conocimientos en el área en cuestión. Asimismo, su participación garantiza y respalda la calidad de información.

### **Confiabilidad**

Ñaupas, et al. (2018) Un instrumento se considera confiable cuando las mediciones realizadas muestran una consistencia notable, tanto a lo largo del tiempo como al aplicarse a diferentes individuos con un nivel similar de instrucción.

En efecto, la confiabilidad se alude a la consistencia y estabilidad de los resultados alcanzados. En esta investigación se buscó que los resultados sean *consistentes y reproducibles*. Esto implica utilizar métodos y procedimientos estandarizados, así como asegurarse de que los datos sean recopilados y analizados de manera precisa. Para ello se documentó todos los pasos y decisiones tomadas durante el proceso de investigación para que otros investigadores puedan evaluar y replicar los resultados.

### **3.5. Procedimientos**

Para cumplir con nuestros objetivos planteados inicialmente, se realizó una serie de procesos en distintas etapas detallados a continuación:

### **a) Caracterización del tipo de suelo**

En esta investigación, la identificación del tipo de suelo es el paso crucial para comprender las características del suelo de estudio. Esto proporciona información esencial para los diversos ensayos posteriores.

Para conocer el tipo de suelo, se inspeccionó el terreno natural para observar características como el color, la textura y la composición del suelo. Luego, con la granulometría se determinó el tamaño de las partículas de la muestra de suelo.

El conocimiento y la interpretación apropiado del resultado de las pruebas son fundamentales para una identificación precisa del tipo de suelo y una comprensión completa de sus características y comportamiento.

### **b) Ejecución de calicatas**

Para esta etapa se analizó y evaluó la ubicación y el número de las calicatas, el cual se efectuó en puntos estratégicos que nos sirvió como muestra ejemplar en toda la distribución de la calle Buenos Aires, para después establecer las características del suelo. Para ello, realizamos los trabajos en campo y en laboratorio para poder determinar la estratigrafía que presenta la zona.

Asimismo, se realizó el uso de herramientas como pico, pala y barreta ya que según la norma MTC E 101, nos indica que como mínimo tenemos que hacer una excavación a 1.50 m, además se usaron bolsas de plástico, así como sacos para el traslado de muestras.

Posteriormente se compró la cal, pavesa de carbón y el geotextil la cual fueron trasladados para el laboratorio. Con los especímenes extraídos de las 2 calicatas, se prosiguió con los ensayos de laboratorio, la cual se comenzó por la granulometría y los límites de consistencia.



**c) Ensayo de granulometría: MTC E 107**

Para este ensayo, se efectuó un cuarteo a la muestra. La cual se realizó de manera manual. Para conseguir una muestra significativa y apto para nuestro ensayo.

Luego, se procedió a lavar la muestra de suelo fino con el uso de la malla N° 200, luego fue secado en el horno con una temperatura de  $110\pm 5^{\circ}$ , cuando la muestra estuvo seca se efectuó el tamizado por medio de un grupo de tamices de distintas aberturas por un periodo de 15 minutos.

**d) Ensayo de límites de consistencia: MTC E 110, MTC E 111**

**Limite liquido**

Una vez que fue tamizado la muestra por el tamiz más fina N° 40, un 200g aproximadamente. Se aplicó la muestra en la cuchara de Casagrande, que debe ser previamente humedecida con agua destilada. Posteriormente, mediante una espátula, mezclamos la muestra de manera homogénea. Así de preparada la muestra se puso en la cuchara de Casagrande, y utilizando un acanalador, procedimos a dividirla en 2 partes. Luego, haciendo uso de la manecilla realizamos dos vueltas en un segundo en la cuchara de Casagrande, repitiendo hasta lograr que cierre la manecilla entre 15 y 25 golpes en un intervalo de 20 a 30 golpes, y finalmente, 25 a 35 golpes.

**Límite plástico.**

En el procedimiento para determinar el Lp, se utilizó el suelo remanente del ensayo de Limite líquido Este suelo se empleó para crear con el barro una forma esférica, que al caer sobre la base, mantendrá su integridad sin desmoronarse. Asimismo, se realizaron pequeñas barras con un espesor de 3 mm hasta mostrar fisura transversal, la cual fueron llevados al horno para luego determinar el CH.

### **e) Ensayo de Proctor modificado: MTC E 115**

Para el Proctor se efectuó con la intención de determinar el OCH, para ello la muestra utilizada fue de 2.5 kg, el cual se pesó y posteriormente a esto se seleccionó el método que se va a emplear, la cual se agregaron cierta cantidad de agua destilada, luego de la mezcla de ambos componentes se colocó una capa inicial y se la apisonaron con 56 golpes, este proceso se imitó para las 4 capas siguientes. Luego al molde se retiró el collarín para luego enzararlo y pesar en la balanza electrónica, asimismo se sacó una parte de esa misma muestra para determinar su CH.

### **f) Ensayo de CBR: MTC E 132**

En este ensayo se procedió a humidificar a las muestras que se filtraron en el tamiz N° 3/4.

Asimismo, con la muestra húmeda se puso en un envase para ser divididos en 5 partes homogéneas y fueron colocados al molde y este mismo para los 12, 25 y 56 golpes.

Después se apartó el collarín del CBR a la muestra compactada, enseguida se comenzó alisar, la cual se volteó la muestra y se colocaron aros metálicos que semejen al recubrimiento granular.

Luego las muestras estuvieron sumergidas alrededor de 4 días, se tomó lectura cada 24 horas de su expansión volumétrica controlados por el dial y trípode. Culminado ese proceso se filtró el agua unos 15 minutos y rápidamente colocadas en la prensa de CBR a un ritmo de 1.27mm/min y se tomaron mediciones alrededor de 10 minutos, la cual se hizo la anotación de los datos obtenidos.

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

Esta investigación se centró en el distrito de Lurigancho – Chosica, región de Lima, particularmente en la calle Buenos Aires. Donde los ensayos fueron ejecutados y evaluados en un laboratorio de suelos de la UCV, el cual cuenta con el equipamiento necesario para el encausamiento de cada ensayo antedicho. En tal

sentido, los resultados estuvieron procesados con herramientas estadísticas de análisis de datos (anova, media, desviación estándar, probabilidad, grados de libertad, correlación de pearson). La prueba de hipótesis en Minitab, Rstudio o Desing Expert. Asimismo, los gráficos y tablas en el software OriginPro y Grapher.

### **3.7. Aspectos éticos**

La ética en la investigación es esencial para garantizar que se lleven a cabo estudios de manera responsable y respetuosa, resguardando el bienestar y derechos de los participantes con el fin de asegurar la integridad de los datos y resultados. En tal sentido, para este proyecto de investigación se concretará acatando el código de ética de la UCV, el artículo 7 está relacionado con el rigor científico el cual es esencial en todo proyecto de investigación para brindar seguridad a la validez y confiabilidad de los resultados. Así también, en el artículo 14 hace mención que toda investigación debe ser publicado en algún medio a fin compartir los resultados con la población científica y el público en general. Esto contribuye a la difusión del conocimiento y permite que otros investigadores se beneficien de los hallazgos. Es por ello que toda la información será sometida al Turnitin y las citas de los autores deberán estar acorde a la norma ISO-690 cumpliendo de esa manera con la calidad de una adecuada investigación.

#### IV. RESULTADOS

Para consumir todos los objetivos planteados de esta investigación se efectuó el ensayo Granulométrico, Límites de Atterberg, Proctor Modificado, CBR y simulación de lluvia, la cual fueron efectuados en el laboratorio de la UCV - Sede Ate

Los ensayos antes mencionados fueron divididos en dos grupos, uno de ellos es el grupo control, en el cual cada paso de los ensayos se trabajó en base a la muestra natural y por otro lado al grupo experimental se le incorporó 7% de cal, 14% de pavesa de carbón y 2.3mm de geotextil respecto a la consideración mínima, y para el máximo se adicionó 9% de cal, 16% carbón y 4.3 mm de geotextil en relación al ensayo patrón. Para dar marcha a los ensayos se realizó los siguientes pasos:

#### **Obtención de la muestra en campo**

Información geográfica

Los datos más eminentes de la ubicación se contemplan en la tabla 2 y en la figura 8.

**Tabla 2:** Zona de estudio

Comunidad	Asentamiento Humano Moyopampa
Nombre de la vía	Calle Buenos Aires
Distrito	Lurigancho
Provincia y Departamento	Lima

Fuente: Elaboración propia

Coordenadas UTM del tramo en estudio:

- Altitud : 716 m.s.n.m.
- Latitud : 11°55'50.04"S
- Longitud : 76°41'31.73"O
- Zona : 18L

Características de la vía:

- Longitud : 600m
- Ancho de calzada: 6.70m
- Ambos sentidos sin separador
-



Figura 8. Vista de calle Buenos Aires.

Fuente: Google Earth

En ese mismo contexto, para efectuar los ensayos de laboratorio se excavó 02 calicatas a una profundidad de 1.50m y ambas calicatas separadas a una distancia de 250 m. Acorde al Manual de suelos geología, geotecnia y pavimentos, para carreteras de segunda clase se debe excavar como mínimo 3 calicatas por 1 km. No obstante, la zona de estudio tiene un tramo de 600 m, por ende, se extrajo 02 calicatas visto en la tabla 3, figura 9.

**Tabla 3:** Grupo control

Calicata	Distancia	Profundidad
C-1	0+140 Km	1.50 m
C-2	0+390 Km	1.50 m

Fuente: Elaboración propia



Figura 9. Calicatas a 0+140 km y 0+390 km

Fuente: Elaboración propia

La población estimada es de 240,814.00 habitantes aproximadamente en el distrito de Chosica la cual hacen uso de la calle Buenos Aires, esta información ha sido obtenida a través de la web del SIGRID, la cual se basa en los datos brindados por el INEI en las encuestas de los años 2017, visto en la figura 10.

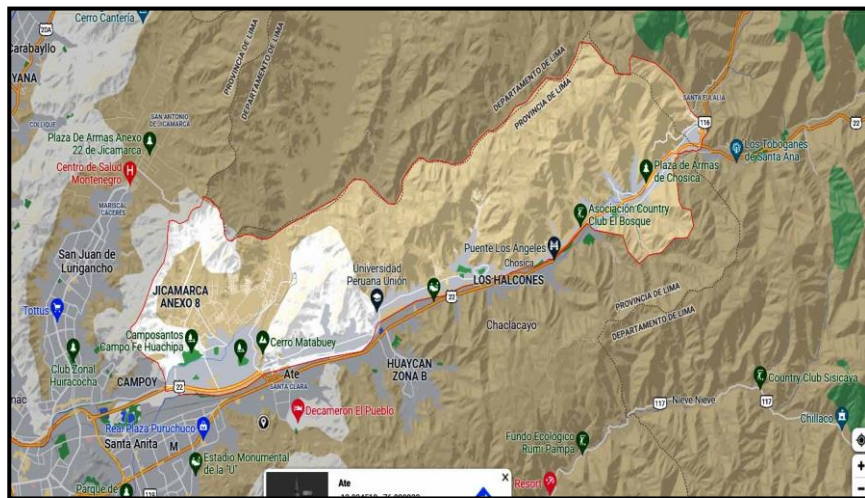


Figura 10. Población beneficiada

Fuente: SIGRID

## Granulometría

En el ensayo granulométrico se extrajo 4 kilos de las calicatas, por el cual se dejó en ambiente libre y se realizó un cuarteo tomando 2100 gramos de muestra, se pasó la por las mallas según la norma NTP. 339.128, a partir del tamiz número 4 se empieza a retener la muestra en los tamices que se encuentra debajo del tamiz 4, parte del procedimiento se aprecia en las figuras 11.



(a)



(b)

Figura 11. Ensayo Granulométrico en el laboratorio de la UCV

Fuente: Propia

**Tabla 4:** Resultado del ensayo granulométrico por tamizado

Tamiz	Abertura (mm)	Pesos Retenidos	% Pesos Retenidos	% Acumulado positivo	% Acumulado negativo
3"	76.200	0	0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500	0	0.0	0.0	100.0
2"	50.800	0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100	0	0.0	0.0	100.0
1"	25.400	0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.050	0	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.525	0	0.0	0.0	100.0
1/4"	6.350	0	0.0	0.0	100.0
N° 4	4.760	102	5.1	5.1	94.9
N° 8	2.380	300	14.9	20.0	80.0
N°10	2.000	100	5.0	24.9	75.1
N°16	1.190	203	10.1	35.0	65.0
N° 30	0.590	300	14.9	49.9	50.1
N° 40	0.420	129	6.4	56.3	43.7
N° 50	0.297	79	3.9	60.3	39.7
N° 100	0.149	100	5.0	65.2	34.8
N° 200	0.074	100	5.0	70.2	29.8
< N° 200		600	29.8	100.0	0.0
		2013	100.0		

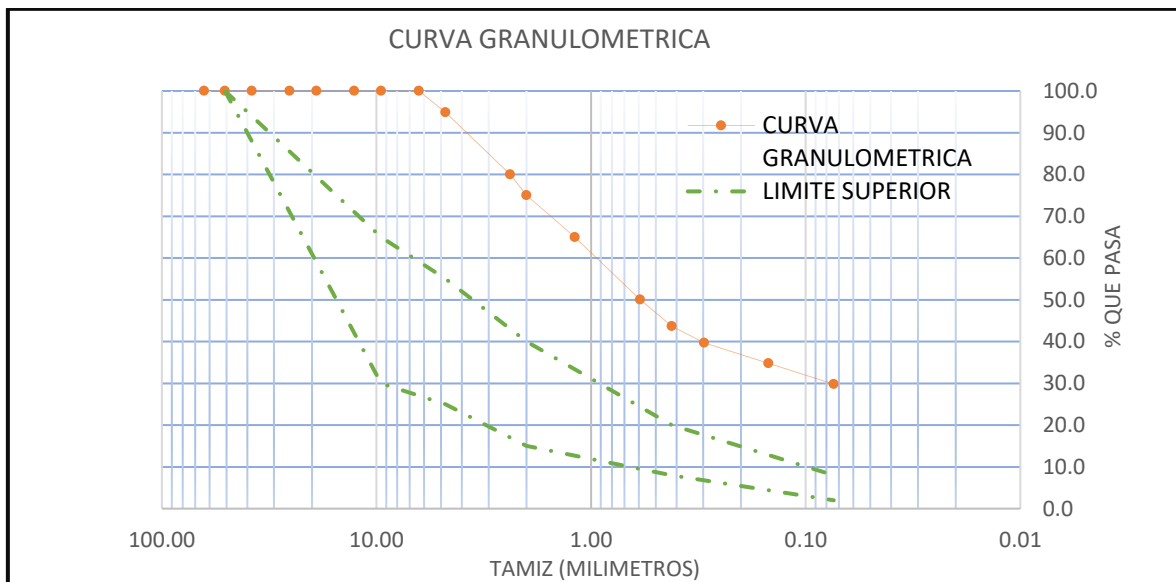
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5: Resumen de análisis granulométrico**

% Grava	% Arena	% Fino
5.07	65.13	29.81

Fuente: Elaboración propia

Clasificación SUCS: SM  $\longrightarrow$  Suelo arena limoso





Asimismo, para el límite plástico se utilizó de la misma muestra formando esferas con un peso de 1.5 a 2 gramos, luego se desliza formando palito de 3 mm, aunado a la situación, los valores fueron evaluados visto en la tabla 6.



Figura 13. Ensayo de límite líquido

Fuente: Propia

**Tabla 6:** valores de límite líquido y límite plástico

	Unidad	LI			Lp		
		1	2	3	1	2	3
Tara							
Cantidad de golpes		15	20	30	---	---	---
Peso tara	g	29.2	29.3	30.4	29.2	29.2	30.4
Peso tara + suelo húmedo	g	60.7	68.5	73.3	30.6	31.8	31.8
Peso tara + muestra seca	g	49.5	56.4	62.5	30.4	31.3	31.6
Peso del agua	g	11.2	12.1	10.8	0.2	0.5	0.2
Peso suelo seco	g	20.3	27.1	32.1	1.2	2.1	1.2
Contenido de humedad	%	55.17	44.65	33.64	16.67	23.81	16.67

Fuente: Elaboración propia

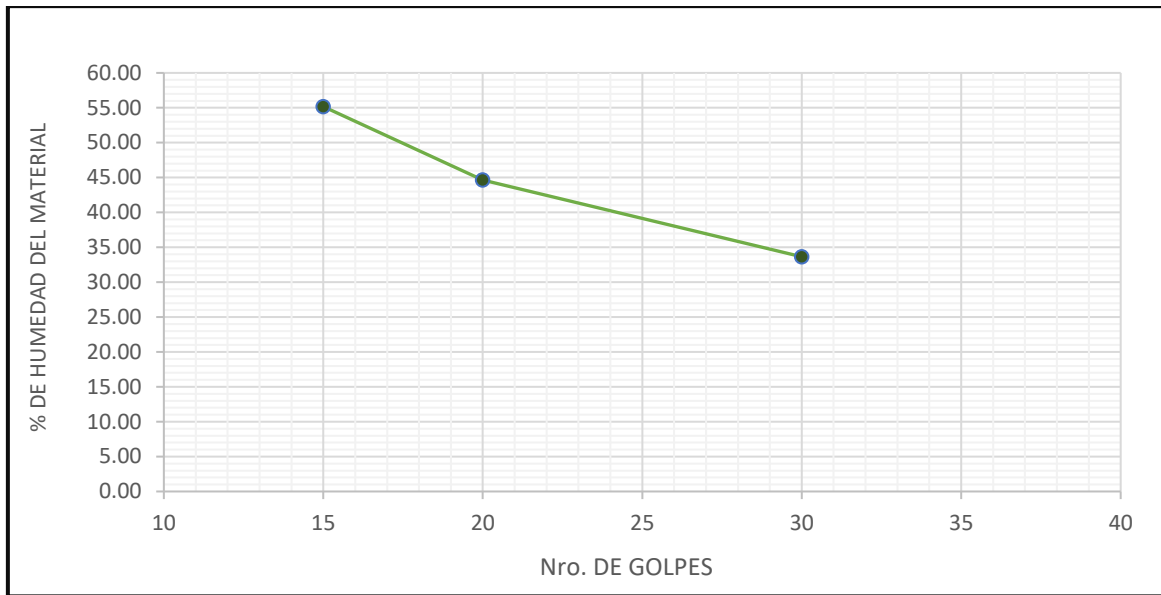


Figura 14. Porcentaje de humedad del material

Fuente: Propia

**Tabla 7: Resultados de Limite de Consistencia**

LL (%)	LP (%)	IP (%)
41.32	19.05	22.3

Fuente: Propia

Los valores obtenidos del ensayo de límite de consistencia se muestran en la tabla 7 donde el IP es producto de la resta del LL y LP, representado con su respectiva gráfica en la figura 14.

### **Geotextil no tejido**

El geotextil de poliéster no tejido utilizado en los ensayos, está compuesto por una estructura de fibras, punzonado por agujas. Es sumamente resistente a la degradación química y biológica, que usualmente se ubica en el suelo. Ya que se produce bajo un SGC, 2 de sus principales propiedades que influyó en esta investigación son:

- Filtración: El geotextil no tejido, permitió el paso del agua y a la vez retuvo las partículas del suelo. Esto fue útil para el control de la erosión y para filtrar el agua en la simulación de lluvia.

- Resistencia a la degradación: Los geotextiles no tejidos están diseñados para resistir la degradación química y biológica, lo que los hace duraderos y adecuados para una variedad de condiciones ambientales

Por esta razón, se compró 2m<sup>2</sup> de cada tipo de geotextil 200 y 400, la cual se muestra en la figura 15, aunado a ello en la figura 16 y 17, se visualiza las fichas técnicas con sus respectivas propiedades del geotextil no tejido.



(a)



(b)

Figura 15. Selección de Geotextil tipo 200 y 400

Fuente: Elaboración propia

	PROPIEDADES	NORMA	UNIDAD	VALOR TÍPICO <sup>2</sup>
PROPIEDADES	Método Grab			
	Resistencia a la Tensión	ASTM D 4632	<b>N (LB)</b>	<b>520 (117)</b>
	Elongación		<b>%</b>	<b>&gt;85</b>
	Resistencia al Punzonamiento	ASTM D 4833	<b>N (LB)</b>	<b>285 (65)</b>
	Resistencia al Rasgado Trapezoidal	ASTM D 4533	<b>N (LB)</b>	<b>230 (52)</b>
HIDRAULICAS	Método Mullen Burst			
	Resistencia al Estallido	ASTM D 3786	<b>KPA (PSI)</b>	<b>1800 (261)</b>
	Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D 4751	<b>MM (NO TAMIZ)</b>	<b>0.125 (120)</b>
	Permeabilidad	ASTM D 4491	<b>CM/S</b>	<b>50 X 10<sup>-2</sup></b>
FISICAS	Permitividad	ASTM D 4491	<b>S<sup>-1</sup></b>	<b>2.2</b>
	Tasa de flujo	ASTM D 4491	<b>L/MIN/M<sup>2</sup></b>	<b>6500</b>
	Masa por Unidad de Área	ASTM D 5261	<b>G/M<sup>2</sup></b>	<b>200</b>
	Espesor	ASTM D 5199	<b>MM</b>	<b>2.3</b>
	Resistencia UV (% retenido @ 500 hr)	ASTM D 4355	<b>%</b>	<b>&gt;70</b>
	Rollo Ancho	Medido	<b>M</b>	<b>4.0</b>
	Rollo Largo	Medido	<b>M</b>	<b>130</b>
	<b>ROLLO ÁREA</b>	<b>CALCULADO</b>	<b>M<sup>2</sup></b>	<b>520</b>

Figura 16. Propiedades del geotextil no tejido tipo 200

Fuente: Ficha técnica del geotextil - Lihar Perú S.A.C

PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA	UNIDAD	VALOR TÍPICO <sup>1</sup>
Método Grab Elongación	ASTM D 4632	N %	1200 > 50
Resistencia al Punzonamiento	ASTM D 4833	N	750
Resistencia al Punzonamiento CBR	ASTM D 6241	kN	3.0
Método Mullen Burst Resistencia al Estallido	ASTM D 3786	Kpa	2900
PROPIEDADES HIDRÁULICAS	NORMA	UNIDAD	VALOR TÍPICO <sup>1</sup>
Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D 4751	mm (No Tamiz)	0.106 (140)
Permeabilidad	ASTM D 4491	cm/s	0.5
Permitividad	ASTM D 4491	s <sup>-1</sup>	1.2
Tasa de flujo	ASTM D 4491	L/min/m <sup>2</sup>	3650
PROPIEDADES FÍSICAS	NORMA	UNIDAD	VALOR TÍPICO <sup>1</sup>
Masa por Unidad de Area	ASTM D 5261	g/m <sup>2</sup>	400
Espesor	ASTM D 5199	mm	4.3
Resistencia UV (% retenido @ 500 hr)	ASTM D 4355	%	> 70
Rollo Ancho	Medido	m	4
Rollo Largo	Medido	m	70
Rollo Área	Calculado	m <sup>2</sup>	280

Figura 17. Propiedades del geotextil no tejido tipo 400

Fuente: Ficha técnica del geotextil - Lihar Perú S.A.C

## Cal hidratada

La cal hidratada, también conocida como hidróxido de calcio, suele utilizarse para estabilizar el suelo en ciertas condiciones. Cuando se combina con el suelo, la cal hidratada responde con el agua presente para formar hidróxido de calcio, lo que aumenta la plasticidad y la cohesión del suelo. Asimismo, se aprecia en la figura 18 y 19, donde se procedió con la dosificación de la cal hidratada para los distintos ensayos realizados.



Figura 18. Cal Hidratada

Fuente: <https://bit.ly/3R2OaFQ>



Figura 19. Manipulación de la cal hidratada

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8: Especificaciones Fisicoquímicas**

ESPECIFICACIONES FISICOQUÍMICAS		
Descripción	Unidad	Típico
Humedad	%	Max. 5.00
Retenido en tamiz N° 100 ASTM (150 µm)	%	Max. 1.00
Ph (Solución acuosa al 10%)	---	7.0 – 10.0
CaO	%	30.290
MgO	%	21.500
K <sub>2</sub> O	%	0.050
Hierro total (Fe)	%	0.068

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las especificaciones fisicoquímicas mostrados en tabla 8, la cal hidratada es beneficioso en la construcción de carreteras, donde la estabilidad del suelo es crucial. Así también reduce la expansión del suelo limoso y mejorar su capacidad de soporte de carga.

### Proctor Modificado

El Proctor modificado proporciona datos sobre la densidad máxima que se puede lograr con diferentes niveles de compactación, lo que ayuda en el diseño de proyectos de construcción. En efecto, previamente del ensayo del Proctor, se procedió a organizar las dosificaciones del diseño factorial 2<sup>3</sup>, mostrado en la tabla 9 y en la figura 20.

**Tabla 9: Grupo experimental**

Diseño experimental 2 <sup>3</sup>				Combinaciones		
	A	B	C	Cal (%)	Carbón (%)	Geotextil (mm)
1	-	-	-	7	14	2.3
2	+	-	-	9	14	2.3
3	-	+	-	7	16	2.3
4	+	+	-	9	16	2.3
5	-	-	+	7	14	4.3
6	+	-	+	9	14	4.3
7	-	+	+	7	16	4.3
8	+	+	+	9	16	4.3

Fuente: Elaboración propia



Figura 20. Aditivos utilizados durante los ensayos

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 10:** Grupo experimental convertido

Diseño experimental 2 <sup>3</sup>			Combinaciones			
	A	B	C	Cal (g)	Carbón (g)	Geotextil (mm)
1	-	-	-	210	420	2.3
2	+	-	-	270	420	2.3
3	-	+	-	210	480	2.3
4	+	+	-	270	480	2.3
5	-	-	+	210	420	4.3
6	+	-	+	270	420	4.3
7	-	+	+	210	480	4.3
8	+	+	+	270	480	4.3

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al método "A", se usó una muestra de 3 kg para el desarrollo de cada ensayo de Proctor Modificado respecto a las diversas dosificaciones, lo cual se procedió con la conversión de unidades de porcentajes a gramos tal como se aprecia en la tabla 10.

### Resultados obtenidos del Proctor patrón

El suelo natural tiene la capacidad de soportar una estructura, dicho de otra manera, es la muestra natural inalterada sin adición alguna. En ese sentido, para la muestra patrón se efectuó el ensayo PM, con la intención de evaluar la DS del suelo y CH a través de la curva, acorde a las normas (NTP 339.141/ ASTM D1557/AASHTO T-180/MTC E-115), para luego ser comparado con los Proctor Modificado que sí contienen porcentajes de cal y pavesa de carbón. En ese mismo contexto se procede a mostrar los datos obtenidos y calculados de la muestra patrón en la figura 21, 22 y tabla 11.



(a)



(b)

Figura 21. Ensayo de Proctor Modificado de muestra patrón

Fuente: Propia

Tabla 11: Valores del Proctor Modificado patrón

Vol. del molde: 944.00 cm <sup>3</sup>		Prueba			
Descripción	Unidad	1	2	3	4
Molde + W de suelo	g	3441	3583	3692	3688
Peso molde	g	1720	1720	1720	1720
Peso suelo húmedo compactado	g	1721	1863	1972	1968
Peso suelo húmedo + tara	g	797.5	805.5	712	731.5
Peso del suelo seco + tara	g	764	755	655.5	659
Tara	g	173.5	179.5	176	170.5
Peso del agua	g	33.5	50.5	56.5	72.5
Peso seco del suelo	g	590.5	575.5	479.5	488.5
Contenido de agua	%	5.67	8.77	11.78	14.84
Wv húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.82	1.97	2.09	2.08
Ws volumétrico	g/cm <sup>3</sup>	1.73	1.81	1.87	1.82
MDS (g/cm <sup>3</sup> )	g/cm <sup>3</sup>	1.875			
OCH (%)	(%)	11.79			

Fuente: Propia



Figura 22. Peso de la muestra patrón

Fuente: Propia

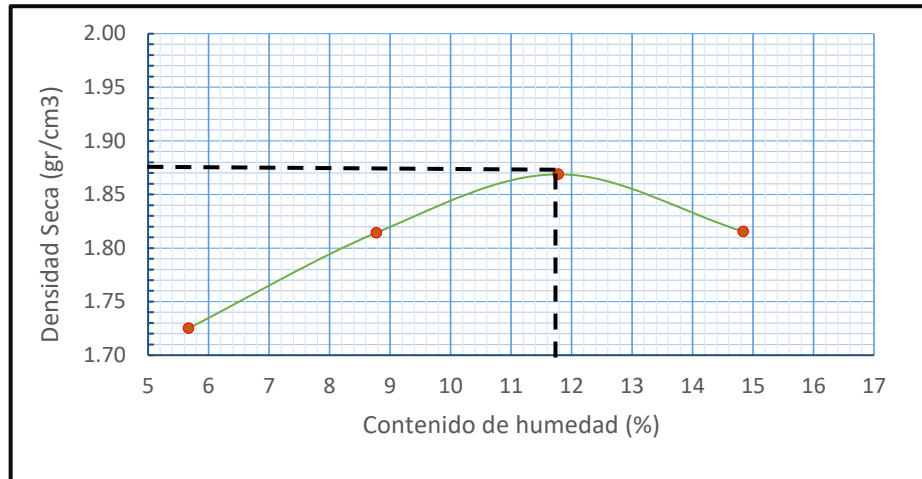


Figura 23. Curva de Proctor Modificado de muestra natural

Fuente: Propia

En la tabla 11, se presenta los resultados del ensayo de Proctor del grupo patrón, donde la MDS del suelo patrón alcanzó un valor de 1.875 g/cm<sup>3</sup>, y el OCH fue de 11.79 %. Los valores mencionados fueron representados en la curva que enlaza el punto más elevado del peso específico seco con la humedad visto en la figura 23

Es imprescindible mencionar que se realizó el ensayo de Proctor a las distintas dosificaciones con la finalidad de comparar los múltiples resultados entre el grupo experimental y el suelo patrón.

### **Resultados obtenidos del Proctor Modificado (7% cal - 14% pavesa de carbón, 2.3 mm geotextil)**

Se procedió de forma rápida a efectuar el ensayo de PM el cual está compuesta de 4 repeticiones considerando los siguientes porcentajes 7% de cal, 14% de carbón y 2.3 mm de geotextil, respecto a la combinación N°1, dicha incorporación se realizó a fin de calcular el OCH y su MDS, todo ello mostrado en la figura 25, donde se empezó a realizar las combinaciones de dichos porcentajes y los datos recopilados del ensayo plasmado en la tabla 12 , según la norma (MTC E-115/NTP 33941/ ASTM D1557).





(a)



(b)

Figura 24. Combinación grupo 1

Fuente: Propia

Tabla 12: Valores del Proctor Modificado grupo 1

Vol. del molde: 944.00 cm <sup>3</sup>		Prueba			
Descripción	Unidad	1	2	3	4
Molde + W de suelo	g	3443	3538	3666	3624
Peso molde	g	1720	1720	1720	1720
Peso suelo húmedo compactado	g	1723	1818	1946	1904
Peso suelo húmedo + tara	g	1616.5	1793.5	1940.5	1701
Peso del suelo seco + tara	g	1583	1710	1804	1546
Tara	g	173.5	179.5	176	170.5
Peso del agua	g	33.5	83.5	136.5	155
Peso seco del suelo	g	1409.5	1530.5	1628	1375.5
Contenido de agua	%	2.38	5.46	8.38	11.27
W <sub>v</sub> húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.83	1.93	2.06	2.02
W <sub>s</sub> volumétrico	g/cm <sup>3</sup>	1.78	1.83	1.90	1.81

Fuente: Propia

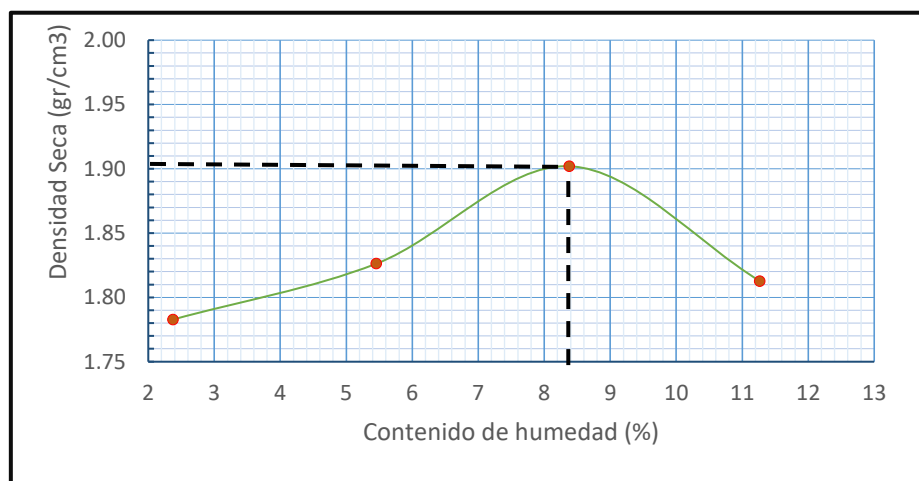


Figura 25. Curva de Proctor Modificado de combinación 1

Fuente: Propia

**Tabla 13: Resultados del Proctor grupo 1**

MDS (g/cm <sup>3</sup> )	OCH (%)
1.913	8.35

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la combinación 1 conformado por 7% de cal, 14% de carbón y 2.3 mm de geotextil se obtuvo como resultado la MDS de 1.91 g/cm<sup>3</sup>, y el OCH de 8.35 % visualizado en la tabla 13. En relación a la muestra patrón tuvo un incremento de 1.875 a 1.913 g/cm<sup>3</sup> de la MDS, visto en la figura 25.3

**Resultados obtenidos del Proctor Modificado (9% cal , 14% pavesa de carbón, 2.3mm geotextil)**

Para la dosificación 2, se incorporó 9% de cal, 14% de carbón y 2.3 mm de geotextil, teniendo en cuenta que las dosificaciones fueron convertidas de porcentaje a gramos, para luego restar al total de la muestra de 3kg, en este caso se utilizó 2370 g de suelo natural, visualizado en la figura 26 y la tabla 14.



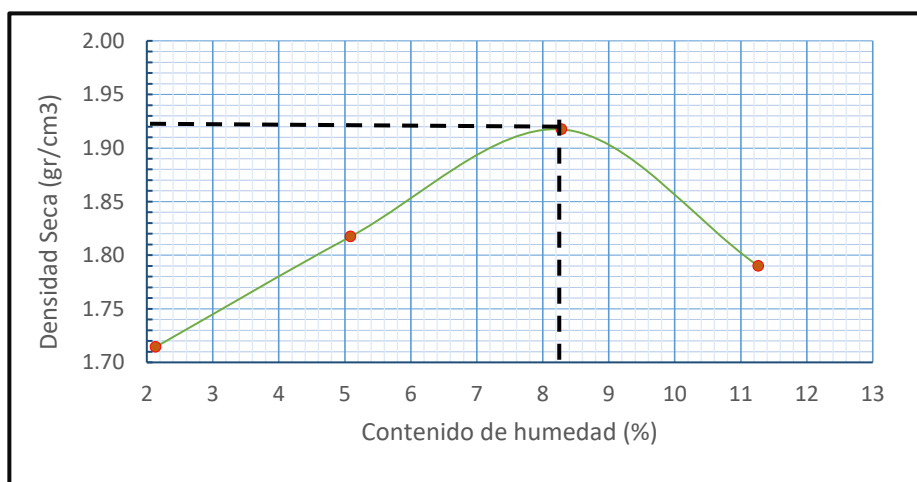
*Figura 26. Combinación grupo 2*

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 14:** Valores del Proctor Modificado grupo 2

Vol. del molde: 944.00 cm <sup>3</sup>		Prueba			
Descripción	Unidad	1	2	3	4
Molde + W de suelo	g	3373	3523	3680	3600
Peso molde	g	1720	1720	1720	1720
Peso suelo húmedo compactado	g	1653	1803	1960	1880
Peso suelo húmedo + tara	g	1680	1656.5	1940.5	1701
Peso del suelo seco + tara	g	1648.5	1584.5	1805	1546
Tara	g	173.5	170	170	170.5
Peso del agua	g	31.5	72	135.5	155
Peso seco del suelo	g	1475	1414.5	1635	1375.5
Contenido de agua	%	2.14	5.09	8.29	11.27
Wv húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.75	1.91	2.08	1.99
Ws volumétrico	g/cm <sup>3</sup>	1.71	1.82	1.92	1.79

Fuente: Propia



*Figura 27.* Curva de Proctor Modificado de combinación 2

Fuente: Propia

**Tabla 15:** Resultados del Proctor grupo 2

MDS (g/cm <sup>3</sup> )	OCH (%)
1.923	8.29

Fuente: Elaboración propia

En respuesta de la combinación 2 conformado por 9% de cal, 14% de carbón y 2.3 mm de geotextil la MDS fue 1.923 g/cm<sup>3</sup>, y el OCH de 8.29 % visualizado en la tabla 15. En relación a la muestra patrón tuvo un incremento de 1.875 a 1.913 g/cm<sup>3</sup> de la MDS, visto en la figura 27.

**Resultados obtenidos del Proctor Modificado (7% cal , 16% pavesa de carbón, 2.3 mm geotextil)**

Se efectuó acorde a las normas (/MTC E-115 / ASTM D1557), con la incorporación del 7% de cal, el 16% de carbón y 2.3 mm de geotextil, este último componente fue aplicado en a capa número 2 del Proctor, los datos hallados se aprecian en la tabla 16.



Figura 28. Combinación grupo 3

Fuente: Propia

**Tabla 16:** Valores del Proctor Modificado grupo 3

Vol. del molde: 944.00 cm <sup>3</sup>		Prueba			
Descripción	Unidad	1	2	3	4
Molde + W de suelo	g	3500	3583	3660	3688
Peso molde	g	1720	1720	1720	1720
Peso suelo húmedo compactado	g	1780	1863	1940	1968
Peso suelo húmedo + tara	g	797.5	805.5	712	731.5
Peso del suelo seco + tara	g	764	755	655.5	659
Tara	g	173.5	179.5	176	170.5
Peso del agua	g	33.5	50.5	56.5	72.5
Peso seco del suelo	g	590.5	575.5	479.5	488.5
Contenido de agua	%	5.67	8.77	11.78	14.84
Wv húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.89	1.97	2.06	2.08
Ws volumétrico	g/cm <sup>3</sup>	1.78	1.81	1.84	1.82

Fuente: Propia

Para esta combinación N°3 se incorporó 210g de cal y 480g de pavesa de carbón:

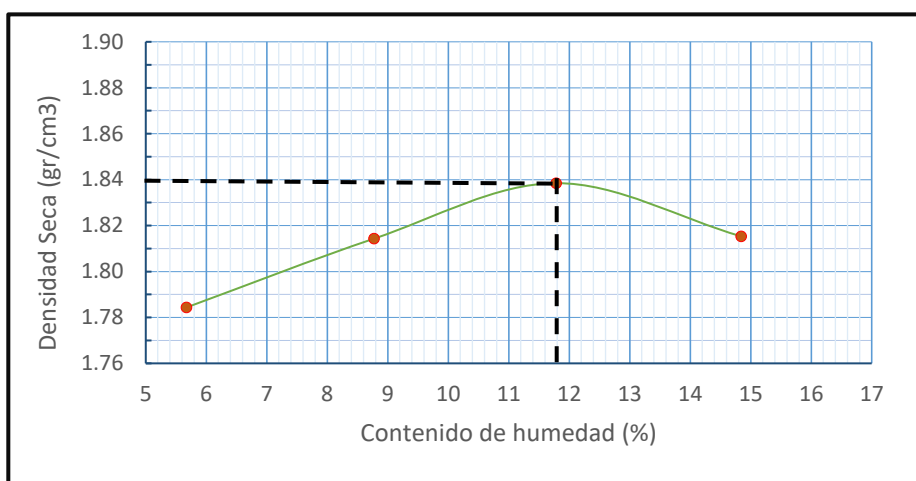


Figura 29. Curva de Proctor Modificado de combinación 3

Fuente: Propia

**Tabla 17: Resultados del Proctor grupo 3**

MDS (g/cm <sup>3</sup> )	OCH (%)
1.84	11.9

Fuente: Propia

Como resultado del ensayo respecto a la combinación 3 la cual se muestra en la tabla 17, se obtuvo la MDS de 1.84 (g/cm<sup>3</sup>) y un OCH del 11.9%. En relación a la muestra patrón disminuyó de 1.875 a 1.84 g/cm<sup>3</sup> de la MDS, visto en la figura 29.

**Resultados obtenidos del Proctor Modificado (9% cal - 16% pavesa de carbón, 2.3mm geotextil)**

Secuencialmente, se efectuó el ensayo de PM con la dosificación 9% de cal, 16% de carbón y 2.3 mm de geotextil, respecto a la combinación N°4, dicha incorporación se realizó con la intención de calcular el OCH y su MDS todo ello mostrado en la figura 30, donde se empezó a realizar las combinaciones de dichos porcentajes y los datos recopilados del ensayo plasmado en la tabla 18, según la norma (MTC E-115/NTP 33941/ ASTM D1557).

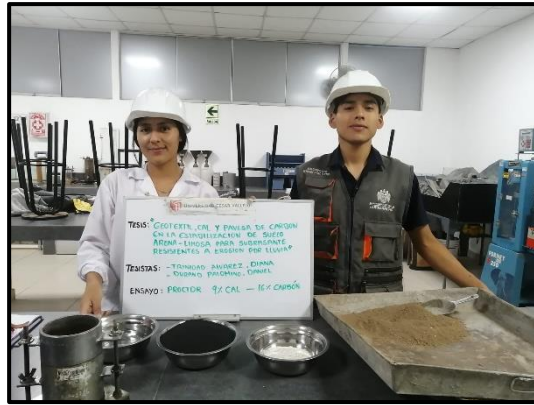


Figura 30. Combinación grupo 4

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 18: Valores del Proctor Modificado grupo 4**

Vol. del molde: 944.00 cm <sup>3</sup>		Prueba			
Descripción	Unidad	1	2	3	4
Molde + W de suelo	g	3460	3625	3704	3688
Peso molde	g	1720	1720	1720	1720
Peso suelo húmedo compactado	g	1740	1905	1984	1968
Peso suelo húmedo + tara	g	797.5	805.5	712	731.5
Peso del suelo seco + tara	g	764	755	657	659
Tara	g	173.5	179.5	176	170.5
Peso del agua	g	33.5	50.5	55	72.5
Peso seco del suelo	g	590.5	575.5	481	488.5
Contenido de agua	%	5.67	8.77	11.43	14.84
Wv húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.84	2.02	2.10	2.08
Ws volumétrico	g/cm <sup>3</sup>	1.74	1.86	1.89	1.82

Fuente: Propia

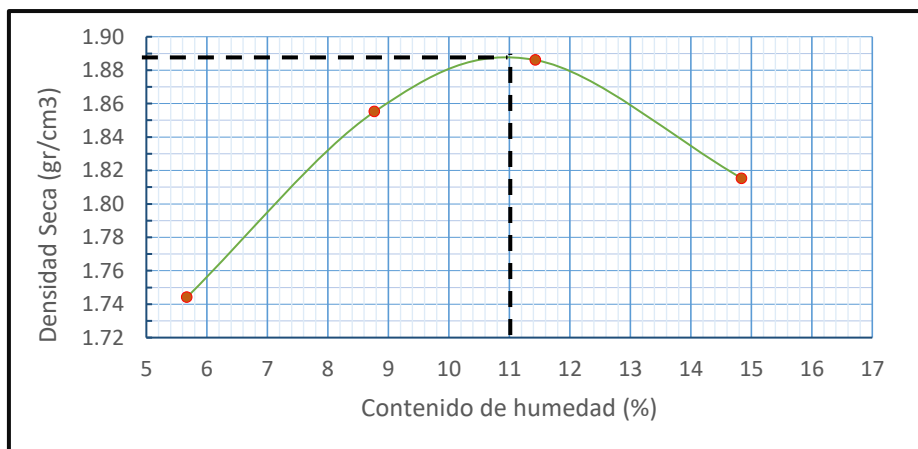


Figura 31. Curva de Proctor Modificado de combinación 4

Fuente: Propia

**Tabla 19: Resultados del Proctor grupo 4**

MDS (g/cm <sup>3</sup> )	OCH (%)
1.889	11.00

Fuente: Propia

En cuanto a la combinación 4, se obtuvo como resultado la MDS de 1.889 g/cm<sup>3</sup>, y el OCH de 11.00 % visualizado en la tabla 19. Respecto a la muestra patrón la MDS incrementó ligeramente de 1.875 a 1.889 g/cm<sup>3</sup>, visto en la figura 31.

**Resultados obtenidos del Proctor Modificado (7% cal - 14% pavesa de carbón, 4.3 mm geotextil)**

Se procedió a evaluar la reacción del suelo natural ante la presencia de 7% de cal, 14% pavesa de carbón y 4.3 mm de geotextil, en base a la resultante de la MDS y el OCH tal cual se muestra en la figura 32 y la tabla 20.



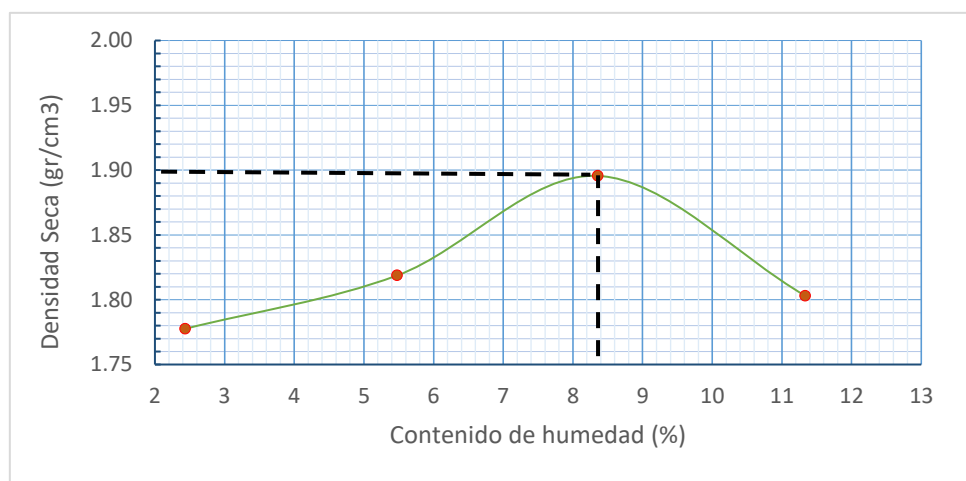
*Figura 32. Combinación grupo 5*

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 20: Proctor Modificado grupo 5**

Vol. del molde: 944.00 cm <sup>3</sup>		Prueba			
Descripción	Unidad	1	2	3	4
Molde + W de suelo	g	3439	3531	3659	3615
Peso molde	g	1720	1720	1720	1720
Peso suelo húmedo compactado	g	1719	1811	1939	1895
Peso suelo húmedo + tara	g	1609.3	1782.5	1930.5	1690
Peso del suelo seco + tara	g	1575	1699	1795	1535
Tara	g	168.5	175.2	174.2	167.8
Peso del agua	g	34.3	83.5	135.5	155
Peso seco del suelo	g	1406.5	1523.8	1620.8	1367.2
Contenido de agua	%	2.44	5.48	8.36	11.34
Wv húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.82	1.92	2.05	2.01
Ws volumétrico	g/cm <sup>3</sup>	1.78	1.82	1.90	1.80

Fuente: Propia



*Figura 33. Curva de Proctor Modificado de combinación 5*

Fuente: Propia

**Tabla 21: Resultados del Proctor grupo 5**

MDS (g/cm <sup>3</sup> )	OCH (%)
1.90	8.40

Fuente: Elaboración propia

Como resultado del ensayo respecto a la combinación 5 la cual se muestra en la tabla 21, se obtuvo la MDS de 1.891 (g/cm<sup>3</sup>) y un OCH del 8.4. Respecto a la muestra patrón acrecentó ligeramente de 1.875 a 1.891 g/cm<sup>3</sup> de la MDS, visto en la figura 33.



**Resultados obtenidos del Proctor Modificado (9% cal , 14% pavesa de carbón, 4.3 mm geotextil)**

Para este proceso se efectuó el ensayo de PM para la dosificación 9% de cal, 14% de carbón y 4.3 mm de geotextil, respecto a la combinación N°6, dicha incorporación se realizó para calcular el OCH y su MDS, en base a la norma (MTC E-115 / ASTM D1557), así también mostrado en la figura 34 y tabla 22.



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 22:** *Proctor Modificado grupo 6*

Vol. del molde: 944.00 cm <sup>3</sup>		Prueba			
Descripción	Unidad	1	2	3	4
Molde + W de suelo	g	3365	3517	3675	3596
Peso molde	g	1720	1720	1720	1720
Peso suelo húmedo compactado	g	1645	1797	1955	1876
Peso suelo húmedo + tara	g	1670	1648.7	1938.8	1698
Peso del suelo seco + tara	g	1648.5	1584.5	1805	1546
Tara	g	172.6	171	170	170.1
Peso del agua	g	21.5	64.2	133.8	152
Peso seco del suelo	g	1475.9	1413.5	1635	1375.9
Contenido de agua	%	1.46	4.54	8.18	11.05
Wv húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.74	1.90	2.07	1.99
Ws volumétrico	g/cm <sup>3</sup>	1.72	1.82	1.91	1.79

Fuente: Propia

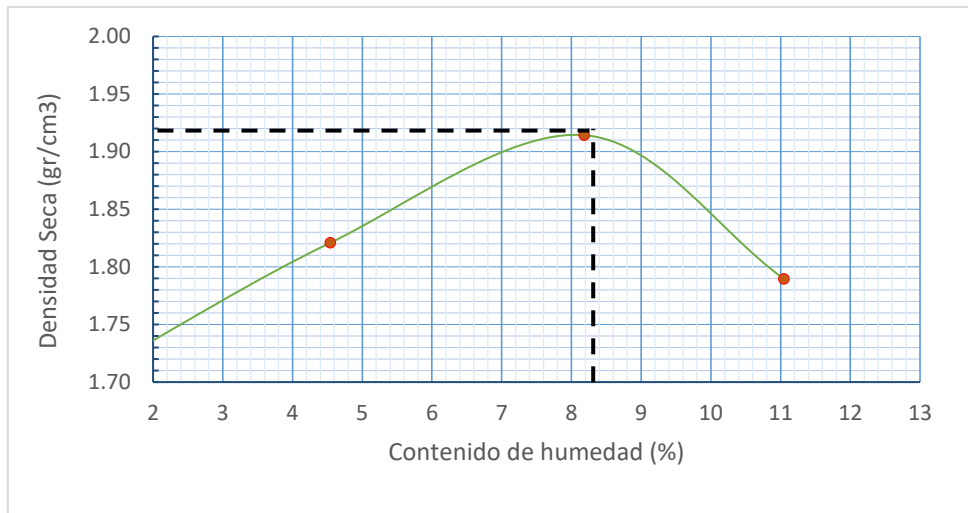


Figura 35. Curva de Proctor Modificado de combinación 6

Fuente: Propia

**Tabla 23: Resultados del Proctor grupo 6**

MDS (g/cm <sup>3</sup> )	OCH (%)
1.920	8.294

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la combinación 6 conformado por 9% de cal, 14% de carbón y 4.3 mm de geotextil se obtuvo como resultado la MDS de 1.915 g/cm<sup>3</sup>, y el OCH de 8.10% visualizado en la tabla 23. En relación a la muestra patrón tuvo un ligero incremento de 1.875 a 1.92 g/cm<sup>3</sup> de la MDS, visto en la figura 35.

**Resultados obtenidos del Proctor Modificado (7% cal , 16% pavesa de carbón, 4.3 mm geotextil)**

El ensayo del PM se realizó acorde a las normas (MTC E-115 / ASTM D1557), en este caso se adicionó del 7% de cal, el 16% de carbón y 4.3 mm de geotextil, dosificado minuciosamente con los equipos y elementos que brinda la UCV, luego se procesó y evaluó los valores mostrados en la figura 36 y tabla 24.



Figura 36. Combinación grupo 7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24: Proctor Modificado grupo 7

Vol. del molde: 944.00 cm <sup>3</sup>		Prueba			
Descripción	Unidad	1	2	3	4
Molde + W de suelo	g	3510	3592	3670	3667
Peso molde	g	1720	1720	1720	1720
Peso suelo húmedo compactado	g	1790	1872	1950	1947
Peso suelo húmedo + tara	g	796.4	804.6	712	730.8
Peso del suelo seco + tara	g	765	754	653.1	659
Tara	g	173.5	179.5	179	170.5
Peso del agua	g	31.4	50.6	58.9	71.8
Peso seco del suelo	g	591.5	574.5	474.1	488.5
Contenido de agua	%	5.31	8.81	12.42	14.70
Wv húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.90	1.98	2.07	2.06
Ws volumétrico	g/cm <sup>3</sup>	1.80	1.82	1.84	1.80

Fuente: Elaboración propia

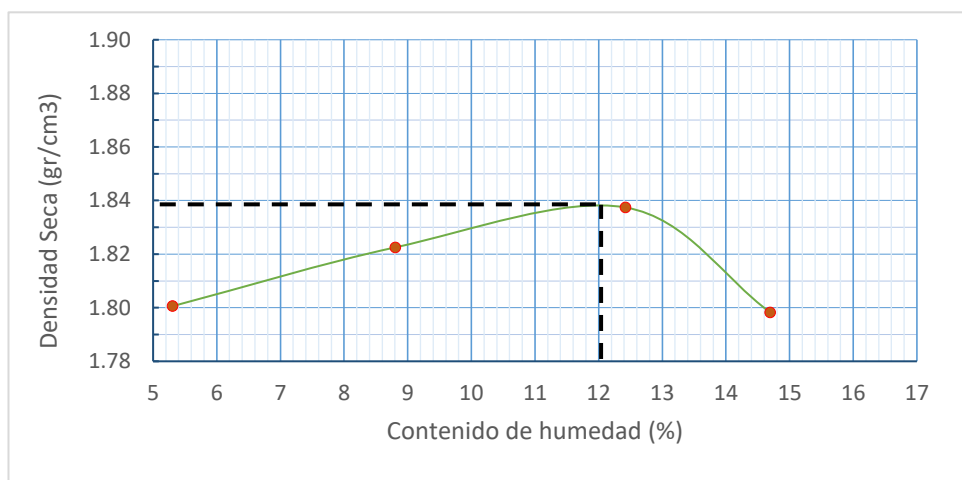


Figura 37. Curva de Proctor Modificado de combinación 7

Fuente: Propia

**Tabla 25: Resultados del Proctor grupo 7**

MDS (g/cm <sup>3</sup> )	OCH (%)
1.839	12.00

Fuente: Propia

Como resultado del ensayo de PM respecto a la combinación 7 la cual se muestra en la tabla 25, se obtuvo la MDS de 1.839 (g/cm<sup>3</sup>) y un OCH del 12.00%. Respecto a la muestra patrón bajó de 1.875 a 1.839 g/cm<sup>3</sup> de la MDS, visto en la figura 37.

**Resultados obtenidos del Proctor Modificado (9% cal, 16% pavesa de carbón, 4.3 mm geotextil)**

Para este proceso de la última combinación del diseño factorial 2<sup>3</sup> proyectado, se efectuó el ensayo de PM para la dosificación 9% de cal, 16% de carbón y 4.3 mm de geotextil, dicha incorporación se realizó para calcular el OCH y se MDS, conforme a la norma (MTC E-115 / ASTM D1557), observado en la figura 38 y tabla 26.



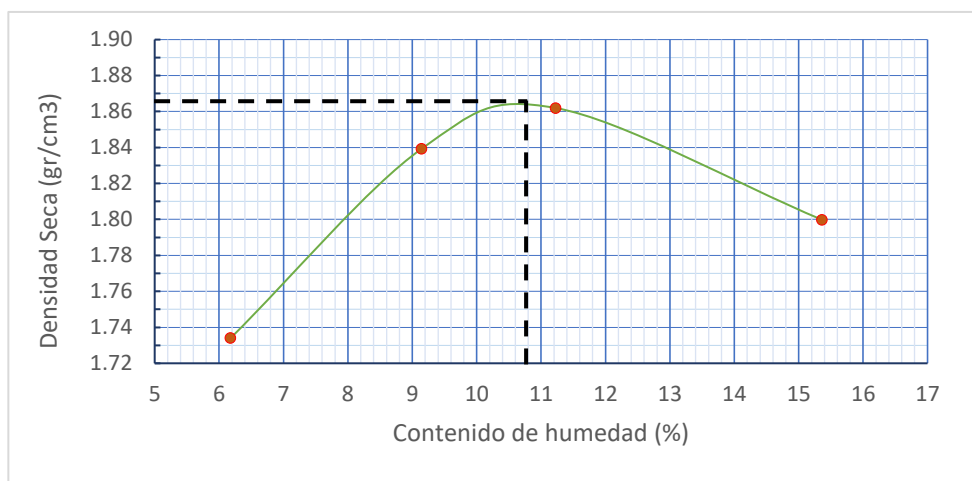
*Figura 38. Combinación grupo 8*

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 26: Proctor Modificado grupo 8**

Vol. del molde: 944.00 cm <sup>3</sup>		Prueba			
Descripción	Unidad	1	2	3	4
Molde + W de suelo	g	3458	3615	3675	3680
Peso molde	g	1720	1720	1720	1720
Peso suelo húmedo compactado	g	1738	1895	1955	1960
Peso suelo húmedo + tara	g	796.3	801.2	707	721.4
Peso del suelo seco + tara	g	760	749	653	648
Tara	g	172.4	178.1	172	170.2
Peso del agua	g	36.3	52.2	54	73.4
Peso seco del suelo	g	587.6	570.9	481	477.8
Contenido de agua	%	6.18	9.14	11.23	15.36
Wv húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1.84	2.01	2.07	2.08
Ws volumétrico	g/cm <sup>3</sup>	1.73	1.84	1.86	1.80

Fuente: Propia



*Figura 39. Curva de Proctor Modificado de combinación 8*

Fuente: Propia

**Tabla 27: Resultados del Proctor grupo 8**

MDS (g/cm <sup>3</sup> )	OCH (%)
1.867	10.80

Fuente: Propia

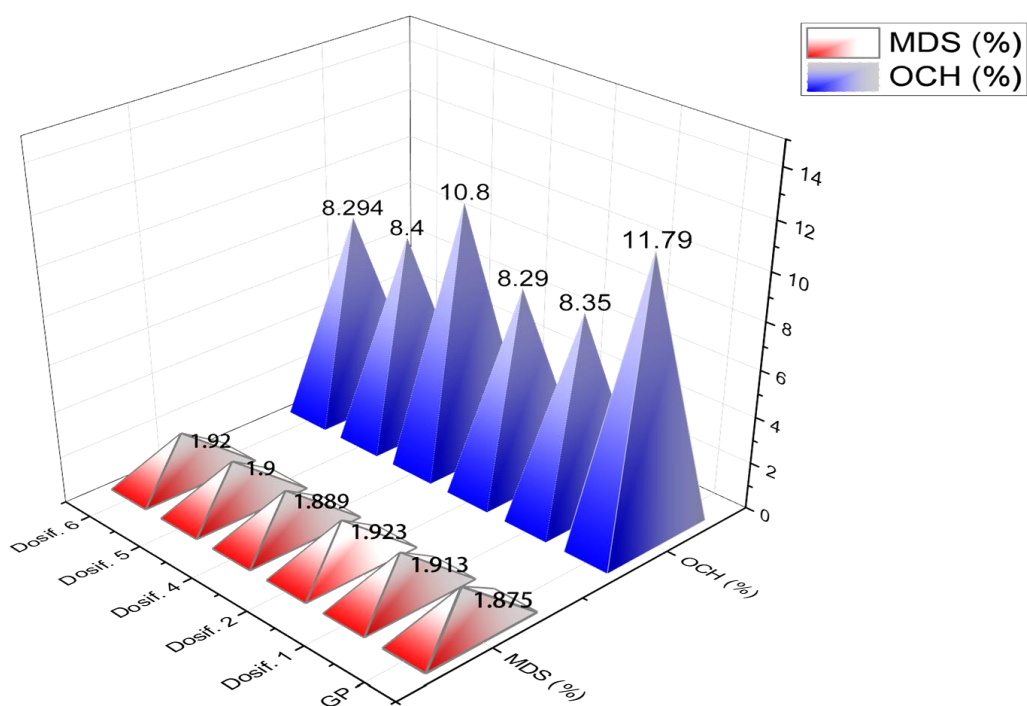
En cuanto a la combinación final conformado por 9% de cal, 16% de carbón y 4.3 mm de geotextil se obtuvo como resultado la MDS de 1.867 g/cm<sup>3</sup>, y el OCH de 10.80% visualizado en la tabla 27. Respecto a la muestra patrón disminuyó ligeramente de 1.875 a 1.867 g/cm<sup>3</sup> de la MDS, visto en la figura 39.

En la tabla 28 y 29 se muestra el resumen general respecto a los Óptimos contenidos de humedad y máximas densidad seca del grupo experimental y el grupo patrón de acuerdo al análisis de cada uno de ellos se realizó el CBR teniendo como base los valores calculados

**Tabla 28: Resumen General del Proctor**

Dosificación (Dosif.)	Cal (%)	Carbón (%)	Geotextil (mm)	OCH (%)	MDS (g/cm3)
1	7	14	2.3	8.35	1.913
2	9	14	2.3	8.29	1.923
3	7	16	2.3	11.90	1.840
4	9	16	2.3	10.80	1.889
5	7	14	4.3	8.40	1.90
6	9	14	4.3	8.294	1.920
7	7	16	4.3	12.00	1.839
8	9	16	4.3	11.00	1.867
Grupo Patrón (GP)				11.79	1.875

Fuente: Propia



**Figura 40. Resumen general del Proctor**

Fuente: Propia

Como resultado del ensayo Proctor Modificado, el grupo experimental 1, 2,4,5 y 6 presento un aumento significativo en sus MDS en relación al grupo patrón, tal como

se visualiza en la figura 40. De igual manera, en los grupos 3,7 y 8 no se obtuvo la misma respuesta, por el contrario su MDS disminuyó.

### **CBR del grupo patrón**

En esta etapa para el suelo natural se determinó la capacidad de soporte, mediante el ensayo de CBR, para lo cual las muestras pasaron por el tamiz N°3/4, en este caso se humedeció la muestra de 6000 g con 8.35% de agua, se procedió a fraccionar en 5 partes homogéneas para ser colocados al molde de CBR y posteriormente compactados, este procedimiento se imitó como 3 veces, para 12, 25 y 56 golpes, visto en la figura 41.

Las muestras estuvieron sumergidas durante 4 días, una vez culminado el tiempo se dejó escurrir el agua por 15 minutos y seguidamente llevado a la prensa de CBR a una velocidad de 1.27 mm/min y se anotó la medición por un tiempo de 10 minutos.



*Figura 41.* Ensayo de CBR patrón

Fuente: Propia

**Tabla 29: Resultados de la DS y HO (Patrón)**

Densidad seca y humedad óptima				
Descripción	Unidad	Prueba		
		1	2	3
Molde		1	2	3
Cantidad de capas		5	5	5
Cantidad de golpes por capa		12	26	55
Humedad óptima (Proctor)	%	11.79	11.79	11.79
Molde + W de suelo húmedo	g	9642	9549	9636
W de molde	g	4743	4737	4743
W del suelo humedecido	g	4899	4812	4893
V del molde	cm <sup>3</sup>	2,316.667	2,316.667	2,316.667
D. Húmeda	g/cm <sup>3</sup>	2.115	2.077	2.112
Nº de lata		1	3	1
W de la lata	g	27	27	37
Peso lata + suelo húmedo	g	275	242	457
Suelo seco + peso de lata	g	253	222	398
W del agua	g	22	20	59
W del suelo seco	g	226	195	361
Humedad	%	9.73	10.26	16.34
D. Seca	g/cm <sup>3</sup>	1.93	1.88	1.82

Fuente: Propia

**Tabla 30: Esfuerzo aplicado al CBR (Patrón)**

k = 3		Molde 1		Molde 2		Molde 3	
Penetración en pulgadas	Tiempo (s)	Lectura	Lb/in <sup>2</sup>	Lectura	Lb/in <sup>2</sup>	Lectura	Lb/in <sup>2</sup>
0.025	30	12	4.00	8	2.67	10	3.33
0.050	60	32	10.67	16	5.33	19	6.33
0.075	90	65	21.67	31	10.33	40	13.33
0.100	120	111	37.00	51	17.00	55	18.33
0.125	150	227	75.67	115	38.33	130	43.33
0.150	180	282	94.00	208	69.33	290	96.67
0.200	240	480	160.00	340	113.33	380	126.67
0.300	360	605	201.67	470	156.67	500	166.67
0.400	480	820	273.33	730	243.33	742	247.33
0.500	600	1055	351.67	960	320	990	330.00

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 31: Penetración de CBR a 0.2" y 0.1" (Patrón)**

	Penetración a 0.2"	Penetración a 0.1"
CBR al 100% de su MDS	8.44%	1.83%
CBR al 95% de su MDS	7.56%	1.7%

Fuente: Elaboración propia



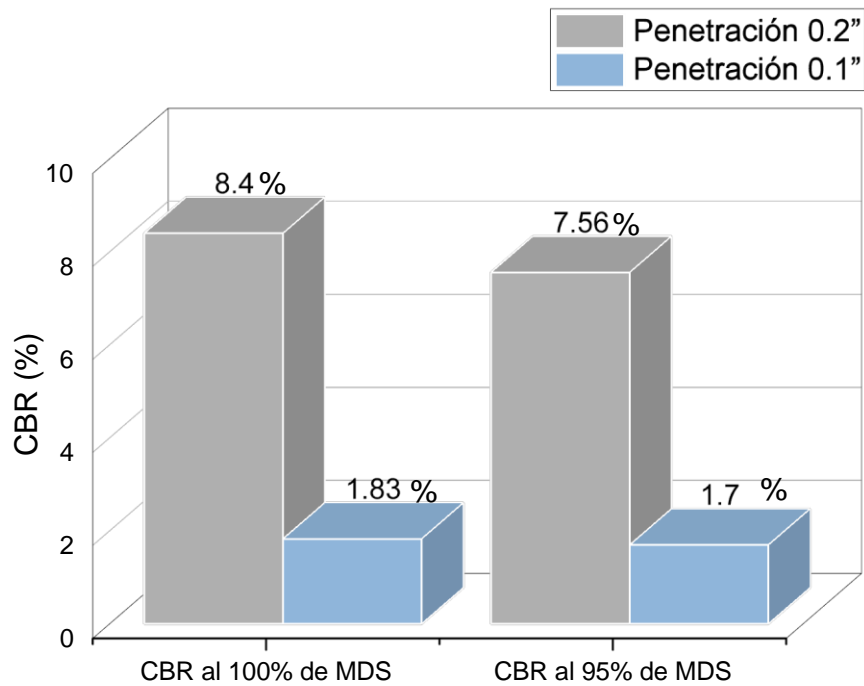


Figura 42. Comparación de resultados (Patrón)

Fuente: Propia

En el cuadro se logró evidenciar el CBR a una penetración de 0.1" es 1.83% al 100% de su MDS y 1.7% al 95% de su MDS, el cual se representó gráficamente en la figura 42. Por lo tanto, de acuerdo a las categorías de subrasantes vale decir que los valores del CBR obtenido de la muestra patrón es considerado subrasante inadecuado.

#### **CBR de la dosificación 1 (7% cal, 14% pavesa de carbón, 2.3 mm geotextil)**

Se determinó la capacidad portante para el grupo 1 a través del ensayo de CBR visto en la tabla 32, dicho grupo consta de la incorporación de 7% (cal) + 14% (pavesa de carbón) + 2.3 mm de geotextil + 79% (suelo natural), todas las dosificaciones restado al suelo natural de 6000g. Asimismo el ensayo se realizó en tres moldes para 12, 25 y 56 golpes. En ese mismo contexto la muestra una vez ensayada, fueron sumergidos en agua durante 4 días, culminado ello se procedió a tomar los datos de la prensa CBR mostrados en la tabla 33 y figura 43.



(a)



(b)

Figura 43. Ensayo de CBR (Dosificación 1)

Fuente: Propia

Tabla 32: Resultados de la DS y HO (Dosif. 1)

Densidad seca y humedad óptima				
Descripción	Unidad	Prueba		
Molde		1	2	3
Cantidad de capas		5	5	5
Cantidad de golpes por capa		12	26	55
Humedad óptima (Proctor)	%	8.35	8.35	8.35
Molde + W de suelo húmedo	g	8660	8750	8900
W de molde	g	4743	4713	4737
W del suelo humedecido	g	3917	4037	4163
V del molde	cm <sup>3</sup>	2,316.67	2,316.67	2,316.67
D. Húmeda	g/cm <sup>3</sup>	1.691	1.743	1.797
Nº de lata		1	3	6
W de la lata	g	70	80	80
Peso lata + suelo húmedo	g	535	719	726
Suelo seco + peso de lata	g	490	670	670
W del agua	g	45	49	56
W del suelo seco	g	420	590	590
Humedad	%	10.71	8.31	9.49
D. Seca	g/cm <sup>3</sup>	1.53	1.61	1.64

Fuente: Propia

**Tabla 33:** Esfuerzo aplicado al CBR (Dosif. 1)

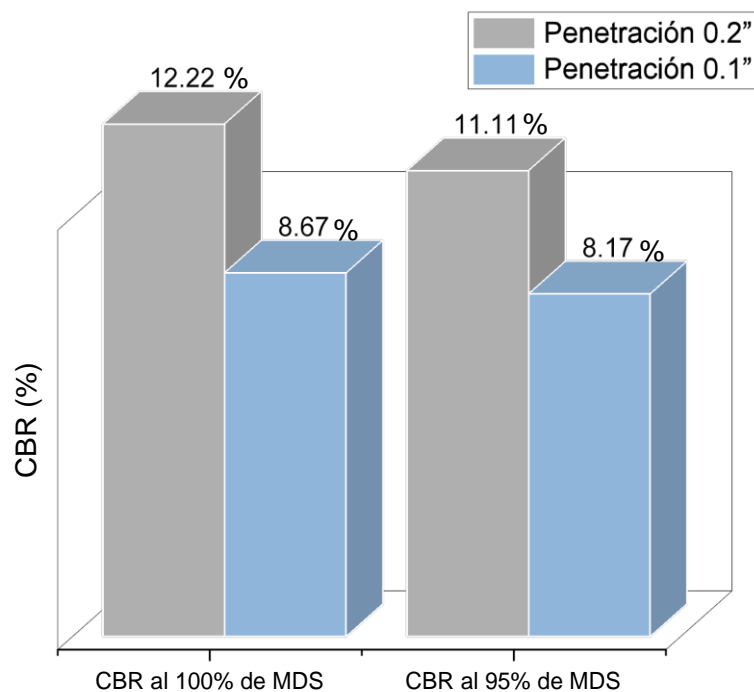
k = 3		Molde 1		Molde 2		Molde 3	
Penetración en pulgadas	Tiempo (s)	Lectura	Lb/in2	Lectura	Lb/in2	Lectura	Lb/in2
0.025	30	46	15.33	21	7.00	15	5.00
0.050	60	78	26.00	70	23.33	40	13.33
0.075	90	170	56.67	200	66.67	60	20.00
0.100	120	200	66.67	245	81.67	260	86.67
0.125	150	290	96.67	500	166.67	550	183.33
0.150	180	465	155.00	640	213.33	650	216.67
0.200	240	580	193.33	735	245.00	760	253.33
0.300	360	680	226.67	850	283.33	870	290.00
0.400	480	875	291.67	1060	353.33	1070	356.67
0.500	600	1000	333.33	1280	426.67	1290	430.00

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 34:** Penetración de CBR a 0.2" y 0.1" (Dosif. 1)

	Penetración a 0.2"	Penetración a 0.1"
CBR al 100% de su MDS	12.22%	8.67%
CBR al 95% de su MDS	11.11%	8.17%

Fuente: Elaboración propia



**Figura 44.** Comparación de resultados (Dosif. 1)

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 34 se evidenció el CBR a una penetración de 0.1" es 8.67% al 100% de su MDS y 8.17% al 95% de su MDS, el cual se representó gráficamente en la figura 44. Por lo tanto, de acuerdo a las categorías de subrasantes vale decir que el suelo de la dosificación 1 tiene una subrasante buena, ya que supera al 6%(menores al 6% son subrasantes inadecuados e insuficientes).

### **CBR de la dosificación 2 (9% cal, 14% pavesa de carbón, 2.3 mm geotextil)**

Se determinó la capacidad portante para el grupo 2 a través del ensayo de CBR visto en la tabla 35, dicho grupo consta de la incorporación de 9% (cal) + 14% (pavesa de carbón) + 2.3 mm de geotextil + 77% (suelo natural), todas las dosificaciones restado al suelo natural de 6000g. Asimismo el ensayo se realizó en tres moldes para 12, 25 y 56 golpes. En ese mismo contexto, las muestra una vez ensayada, fueron sumergidos en agua durante 4 días, culminado ello se procedió a tomar los datos de la prensa CBR mostrados en la tabla 36 y figura 45.



*Figura 45.* Ensayo de CBR (Dosificación 2)

Fuente: Propia

**Tabla 35: Resultados de la DS y HO (Dosif. 2)**

Densidad seca y humedad óptima				
Descripción	Unidad	Prueba		
		1	2	3
Molde		1	2	3
Cantidad de capas		5	5	5
Cantidad de golpes por capa		12	26	55
Humedad óptima (Proctor)	%	8.29	8.29	8.29
Molde + W de suelo húmedo	g	8620	8770	8900
W de molde	g	4743	4713	4737
W del suelo humedecido	g	3877	4057	4163
V del molde	cm <sup>3</sup>	2316.67	2316.67	2316.67
D. Húmeda	g/cm <sup>3</sup>	1.67	1.75	1.80
Nº de lata		1	3	6
W de la lata	g	70	80	80
Peso lata + suelo húmedo	g	535	719	726
Suelo seco + peso de lata	g	490	670	670
W del agua	g	45	49	56
W del suelo seco	g	420	590	590
Humedad	%	10.71	8.31	9.49
D. Seca	g/cm <sup>3</sup>	1.51	1.62	1.64

Fuente: Propia

**Tabla 36: Esfuerzo aplicado al CBR (Dosif. 2)**

k = 3	Penetración en pulgadas	Tiempo (s)	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
			Lectura	Lb/in <sup>2</sup>	Lectura	Lb/in <sup>2</sup>	Lectura	Lb/in <sup>2</sup>
	0.025	30	54	18.00	21	7.00	10	3.33
	0.050	60	80	26.67	60	20.00	40	13.33
	0.075	90	176	58.67	200	66.67	80	26.67
	0.100	120	200	66.67	260	86.67	265	88.33
	0.125	150	300	100.00	480	160.00	560	186.67
	0.150	180	465	155.00	630	210.00	650	216.67
	0.200	240	580	193.33	735	245.00	760	253.33
	0.300	360	680	226.67	850	283.33	870	290.00
	0.400	480	870	290.00	1060	353.33	1060	353.33
	0.500	600	1100	366.67	1250	416.67	1290	440.00

Fuente: Propia

**Tabla 37: Penetración de CBR a 0.2" y 0.1" (Dosif. 2)**

	Penetración a 0.2"	Penetración a 0.1"
CBR al 100% de su MDS	12.44%	8.83%
CBR al 95% de su MDS	10.67%	8.67%

Fuente: Elaboración propia

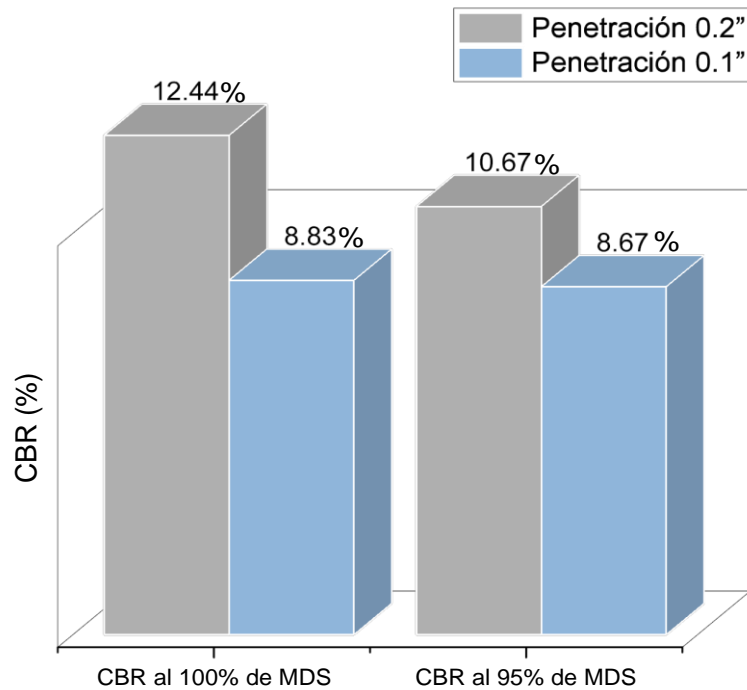


Figura 46. Comparación de resultados (Dosif. 2)

Fuente: Propia

En la tabla 37 se evidenció el CBR a una penetración de 0.1" es 8.83% al 100% de su MDS y 8.67% al 95% de su MDS, el cual se representó gráficamente en la figura 46. Por lo tanto, de acuerdo a las categorías de subrasantes vale decir que el suelo de la dosificación 2 tiene una subrasante buena, ya que supera al 6% (menores al 6% son subrasantes inadecuados e insuficientes).

### **CBR de la dosificación 3 (7% cal, 16% pavesa de carbón, 2.3 mm geotextil)**

Se determinó la capacidad portante para el grupo 3 a través del ensayo de CBR visto en la tabla 38, dicho grupo consta de la incorporación de 7% (cal) + 16% (pavesa de carbón) + 2.3 mm de geotextil + 77% (suelo natural), todas las dosificaciones restado al suelo natural de 6000g. Asimismo el ensayo se realizó en tres moldes para 12, 25 y 56 golpes. En ese mismo contexto, las muestra una vez ensayada, fueron sumergidos en agua durante 4 días, culminado ello se procedió a tomar los datos de la prensa CBR mostrados en la tabla 39.



Figura 47. Ensayo de CBR (Dosificación 3)

Fuente: Propia

Tabla 38: Resultados de la DS y HO (Dosif. 3)

Densidad seca y humedad óptima				
Descripción	Unidad	Prueba		
Molde		1	2	3
Cantidad de capas		5	5	5
Cantidad de golpes por capa		12	26	55
Humedad óptima (Proctor)	%	11.9	11.9	11.9
Molde + W de suelo húmedo	g	9610	9540	9636
W de molde	g	4743	4737	4743
W del suelo humedecido	g	4867	4803	4893
V del molde	cm <sup>3</sup>	2316.67	2316.67	2316.67
D. Húmeda	g/cm <sup>3</sup>	2.10	2.07	2.11
Nº de lata		1	3	1
W de la lata	g	27	27	37
Peso lata + suelo húmedo	g	274	284	490
Suelo seco + peso de lata	g	253	211	400
W del agua	g	21	73	90
W del suelo seco	g	226	184	363
Humedad	%	9.29	39.67	24.79
D. Seca	g/cm <sup>3</sup>	1.92	1.48	1.69

Fuente: Propia

**Tabla 39: Esfuerzo aplicado al CBR (Dosif. 3)**

k = 3		Molde 1		Molde 2		Molde 3	
Penetración en pulgadas	Tiempo (s)	Lectura	Lb/in2	Lectura	Lb/in2	Lectura	Lb/in2
0.025	30	14	4.67	9	3.00	10	3.33
0.050	60	32	10.67	12	4.00	19	6.33
0.075	90	65	21.67	35	11.67	40	13.33
0.100	120	111	37.00	90	30.00	95	31.67
0.125	150	227	75.67	115	38.33	130	43.33
0.150	180	282	94.00	208	69.33	250	83.33
0.200	240	480	160.00	295	98.33	300	100.00
0.300	360	605	201.67	470	156.67	500	166.67
0.400	480	820	273.33	730	243.33	742	247.33
0.500	600	1055	351.67	960	320	990	330.00

Fuente: Propia

**Tabla 40: Penetración de CBR a 0.2" y 0.1" (Dosif. 3)**

	Penetración a 0.2"	Penetración a 0.1"
CBR al 100% de su MDS	6.67%	3.17%
CBR al 95% de su MDS	6.56%	3.00%

Fuente: Propia

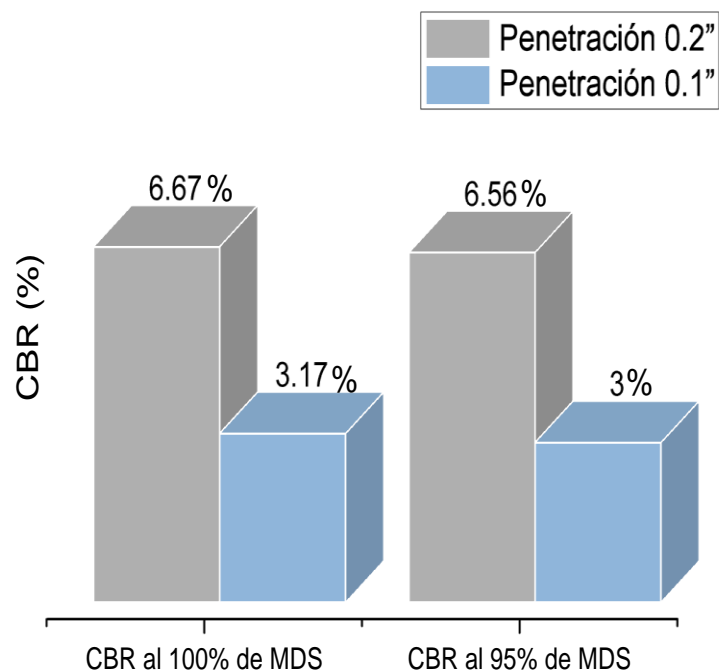


Figura 48. Comparación de resultados (Dosif. 3)

Fuente: Propia



En tabla 40 se evidenció el CBR a una penetración de 0.1" es 3.17% al 100% de su MDS y 3% al 95% de su MDS, el cual se representó gráficamente en la figura 48. Por lo tanto, de acuerdo a las categorías de subrasantes vale decir que el suelo de la dosificación 3 tiene una subrasante inadecuado, ya que está por debajo del 6%(menores al 6% son subrasantes inadecuados e insuficientes).

#### **CBR de la dosificación 4 (9% cal, 16% pavesa de carbón, 2.3 mm geotextil)**

Se determinó la capacidad portante para el grupo 3 a través del ensayo de CBR visto en la tabla 41, dicho grupo consta de la incorporación de 9% (cal) + 16% (pavesa de carbón) + 2.3 mm de geotextil + 75% (suelo natural), todas las dosificaciones restado al suelo natural de 6000g. Asimismo el ensayo se realizó en tres moldes para 12, 25 y 56 golpes. En ese mismo contexto, las muestra una vez ensayada, fueron sumergidos en agua durante 4 días, culminado ello se procedió a tomar los datos de la prensa CBR mostrados en la tabla 42.



*Figura 49.* Ensayo de CBR (Dosificación 4)

Fuente: Propia

**Tabla 41: Resultados de la DS y HO (Dosif. 4)**

Densidad seca y humedad óptima				
Descripción	Unidad	Prueba		
		1	2	3
Molde		1	2	3
Cantidad de capas		5	5	5
Cantidad de golpes por capa		12	26	55
Humedad óptima (Proctor)	%	10.8	10.8	10.8
Molde + W de suelo húmedo	g	8860	8900	8980
W de molde	g	4690	4747	4683
W del suelo humedecido	g	4170	4153	4297
V del molde	cm <sup>3</sup>	2316.67	2316.67	2316.67
D. Húmeda	g/cm <sup>3</sup>	1.80	1.79	1.85
Nº de lata		1	3	6
W de la lata	g	70	70	70
Peso lata + suelo húmedo	g	678	680	750
Suelo seco + peso de lata	g	630	600	700
W del agua	g	48	80	50
W del suelo seco	g	560	530	630
Humedad	%	8.57	15.09	7.94
D. Seca	g/cm <sup>3</sup>	1.66	1.56	1.72

Fuente: Propia

**Tabla 42: Esfuerzo aplicado al CBR (Dosif. 4)**

k = 3	Tiempo (s)	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
		Lectura	Lb/in <sup>2</sup>	Lectura	Lb/in <sup>2</sup>	Lectura	Lb/in <sup>2</sup>
0.025	30	50	16.67	22	7.33	15	5.00
0.050	60	70	23.33	60	20.00	40	13.33
0.075	90	176	58.67	200	66.67	80	26.67
0.100	120	200	66.67	255	85.00	260	86.67
0.125	150	300	100.00	480	160.00	560	186.67
0.150	180	465	155.00	600	200.00	650	216.67
0.200	240	580	193.33	680	226.67	690	230.00
0.300	360	680	226.67	850	283.33	870	290.00
0.400	480	870	290.00	1060	353.33	1060	353.33
0.500	600	1100	366.67	1200	400.00	1250	440.00

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 43: Penetración de CBR a 0.2" y 0.1" (Dosif. 4)**

	Penetración a 0.2"	Penetración a 0.1"
CBR al 100% de su MDS	15.33%	8.67%
CBR al 95% de su MDS	15.11%	8.50%

Fuente: Elaboración propia

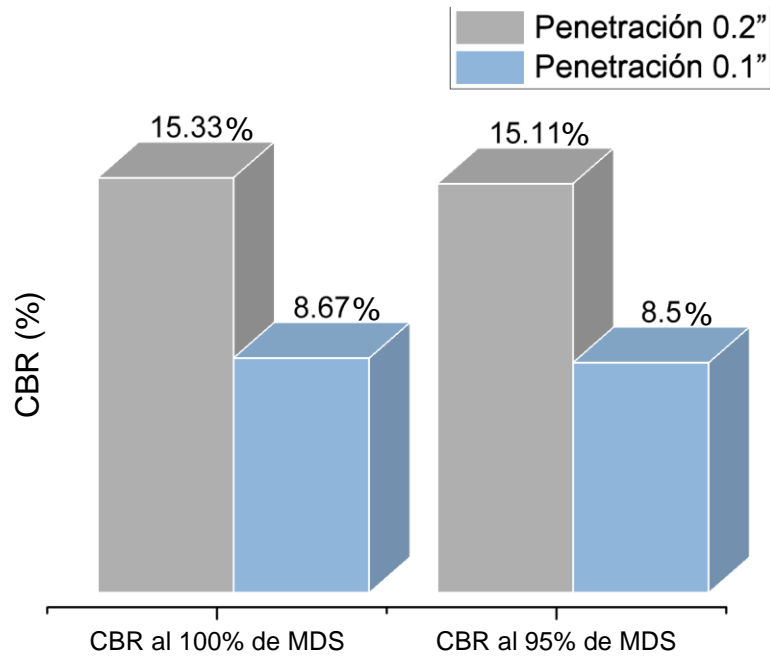


Figura 50. Comparación de resultados (Dosif. 4)

Fuente: Propia

En la tabla 43 se evidenció el CBR a una penetración de 0.1" es 8.67% al 100% de su MDS y 8.5% al 95% de su MDS, el cual se representó gráficamente en la figura 50. Por lo tanto, de acuerdo a las categorías de subrasantes vale decir que el suelo de la dosificación 4 tiene una subrasante buena, ya que supera al 6%(menores al 6% son subrasantes inadecuados e insuficientes).

#### **CBR de la dosificación 5 (7% cal, 14% pavesa de carbón, 4.3 mm geotextil)**

Se determinó la capacidad portante para el grupo 1 a través del ensayo de CBR visto en la tabla 44, dicho grupo consta de la incorporación de 7% (cal) + 14% (pavesa de carbón) + 4.3 mm de geotextil + 79% (suelo natural), todas las dosificaciones restado al suelo natural de 6000g. Asimismo el ensayo se realizó en tres moldes para 12, 25 y 56 golpes. En ese mismo contexto la muestra una vez ensayada, fueron sumergidos en agua durante 4 días, culminado ello se procedió a tomar los datos de la prensa CBR mostrados en la tabla 45.



Figura 51. Ensayo de CBR (Dosificación 5)

Fuente: Propia

Tabla 44: Resultados de la DS y HO (Dosif. 5)

Densidad seca y humedad óptima				
Descripción	Unidad	Prueba		
Molde		1	2	3
Cantidad de capas		5	5	5
Cantidad de golpes por capa		12	26	55
Humedad óptima (Proctor)	%	8.4	8.4	8.4
Molde + W de suelo húmedo	g	8640	8700	8890
W de molde	g	4743	4713	4737
W del suelo humedecido	g	3897	3987	4153
V del molde	cm <sup>3</sup>	2316.67	2316.67	2316.67
D. Húmeda	g/cm <sup>3</sup>	1.68	1.72	1.79
Nº de lata		1	3	6
W de la lata	g	70	80	80
Peso lata + suelo húmedo	g	530	700	710
Suelo seco + peso de lata	g	480	665	670
W del agua	g	50	35	40
W del suelo seco	g	410	585	590
Humedad	%	12.20	5.98	6.78
D. Seca	g/cm <sup>3</sup>	1.50	1.62	1.68

Fuente: Propia

**Tabla 45: Esfuerzo aplicado al CBR (Dosif. 5)**

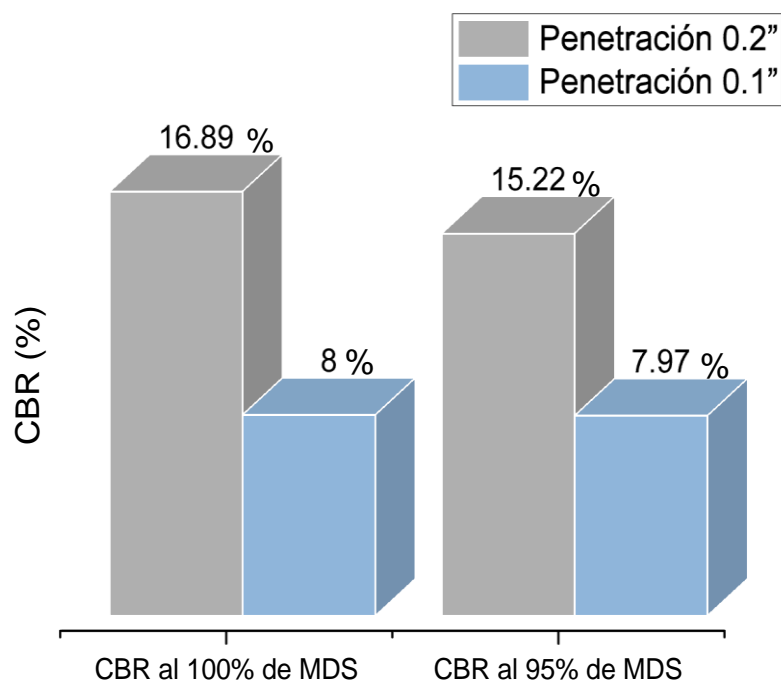
k = 3		Molde 1		Molde 2		Molde 3	
Penetración en pulgadas	Tiempo (s)	Lectura	Lb/in2	Lectura	Lb/in2	Lectura	Lb/in2
0.025	30	35	11.67	20	6.67	15	5.00
0.050	60	70	23.33	65	21.67	35	11.67
0.075	90	160	53.33	190	63.33	60	20.00
0.100	120	190	63.33	239	79.67	240	80.00
0.125	150	290	96.67	490	163.33	550	183.33
0.150	180	465	155.00	620	206.67	600	200.00
0.200	240	560	186.67	685	228.33	760	253.33
0.300	360	675	225.00	840	280.00	865	288.33
0.400	480	875	291.67	1050.00	350.00	1070.00	356.67
0.500	600	1010	336.67	1240.00	413.33	1280.00	426.67

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 46: Penetración de CBR a 0.2" y 0.1" (Dosif. 5)**

	Penetración a 0.2"	Penetración a 0.1"
CBR al 100% de su MDS	16.89%	8.00%
CBR al 95% de su MDS	15.22%	7.97%

Fuente: Elaboración propia



*Figura 52. Comparación de resultados (Dosif. 5)*

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 46 se evidenció el CBR a una penetración de 0.1" es 8.00% al 100% de su MDS y 7.97% al 95% de su MDS, el cual se representó gráficamente en la figura 52. Por lo tanto, de acuerdo a las categorías de subrasantes vale decir que el suelo de la dosificación 1 tiene una subrasante buena, ya que supera al 6%(menores al 6% son subrasantes inadecuados e insuficientes).

### **CBR de la dosificación 6 (9% cal, 14% pavesa de carbón, 4.3 mm geotextil)**

Se determinó la capacidad portante para el grupo 2 a través del ensayo de CBR visto en la tabla 47, dicho grupo consta de la incorporación de 9% (cal) + 14% (pavesa de carbón) + 2.3 mm de geotextil + 77% (suelo natural), todas las dosificaciones restado al suelo natural de 6000g. Asimismo el ensayo se realizó en tres moldes para 12, 25 y 56 golpes. En ese mismo contexto, las muestra una vez ensayada, fueron sumergidos en agua durante 4 días, culminado ello se procedió a tomar los datos de la prensa CBR mostrados en la tabla 48 y figura 53.



*Figura 53. Ensayo de CBR (Dosificación 6)*

Fuente: Propia

**Tabla 47: Resultados de la DS y HO (Dosif. 6)**

Densidad seca y humedad óptima				
Descripción	Unidad	Prueba		
Molde		1	2	3
Cantidad de capas		5	5	5
Cantidad de golpes por capa		12	26	55
Humedad óptima (Proctor)	%	8.294	8.294	8.294
Molde + W de suelo húmedo	g	8600	8760	8950
W de molde	g	4743	4713	4737
W del suelo humedecido	g	3857	4047	4213
V del molde	cm <sup>3</sup>	2316.67	2316.67	2316.67
D. Húmeda	g/cm <sup>3</sup>	1.66	1.75	1.82
Nº de lata		1	3	6
W de la lata	g	70	80	80
Peso lata + suelo húmedo	g	530	710	730
Suelo seco + peso de lata	g	450	650	680
W del agua	g	80	60	50
W del suelo seco	g	380	570	600
Humedad	%	21.05	10.53	8.33
D. Seca	g/cm <sup>3</sup>	1.38	1.58	1.68

Fuente: Propia

**Tabla 48: Esfuerzo aplicado al CBR (Dosif. 6)**

k = 3	Tiempo (s)	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
		Lectura	Lb/in <sup>2</sup>	Lectura	Lb/in <sup>2</sup>	Lectura	Lb/in <sup>2</sup>
0.025	30	45	15.00	20	6.67	15	5.00
0.050	60	80	26.67	50	16.67	40	13.33
0.075	90	160	53.33	190	63.33	70	23.33
0.100	120	200	66.67	250	83.33	260	86.67
0.125	150	290	96.67	480	160.00	560	186.67
0.150	180	465	155.00	630	210.00	650	216.67
0.200	240	570	190.00	730	243.33	755	251.67
0.300	360	680	226.67	850	283.33	870	290.00
0.400	480	860	286.67	1060	353.33	1060	353.33
0.500	600	1100	366.67	1150	383.33	1280	426.67

Fuente: Propia

**Tabla 49: Penetración de CBR a 0.2" y 0.1" (Dosif. 6)**

	Penetración a 0.2"	Penetración a 0.1"
CBR al 100% de su MDS	16.78%	8.67%
CBR al 95% de su MDS	16.22%	8.33%

Fuente: Propia

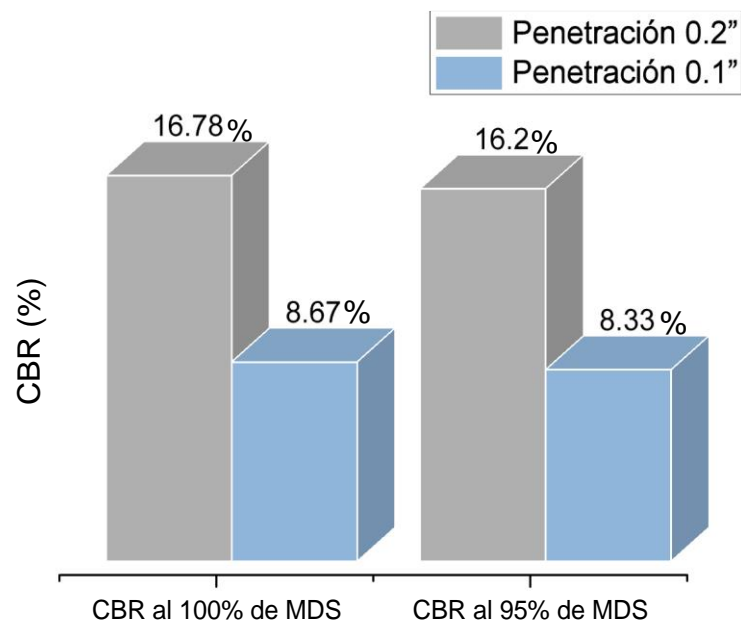


Figura 54. Comparación de resultados (Dosif. 6)

Fuente: Propia

En tabla 49 se evidenció el CBR a una penetración de 0.1" es 8.67% al 100% de su MDS y 8.33% al 95% de su MDS, el cual se representó gráficamente en la figura 54. Por lo tanto, de acuerdo a las categorías de subrasantes vale decir que el suelo de la dosificación 2 tiene una subrasante buena, ya que supera al 6% (menores al 6% son subrasantes inadecuados e insuficientes).

### **CBR de la dosificación 7 (7% cal, 16% pavesa de carbón, 4.3 mm geotextil)**

Se determinó la capacidad portante para el grupo 3 a través del ensayo de CBR visto en la tabla 50, dicho grupo consta de la incorporación de 7% (cal) + 16% (pavesa de carbón) + 2.3 mm de geotextil + 77% (suelo natural), todas las dosificaciones restado al suelo natural de 6000g. Asimismo el ensayo se realizó en tres moldes para 12, 25 y 56 golpes. En ese mismo contexto, las muestra una vez ensayada, fueron sumergidos en agua durante 4 días, culminado ello se procedió a tomar los datos de la prensa CBR mostrados en la tabla 51 y figura 55.



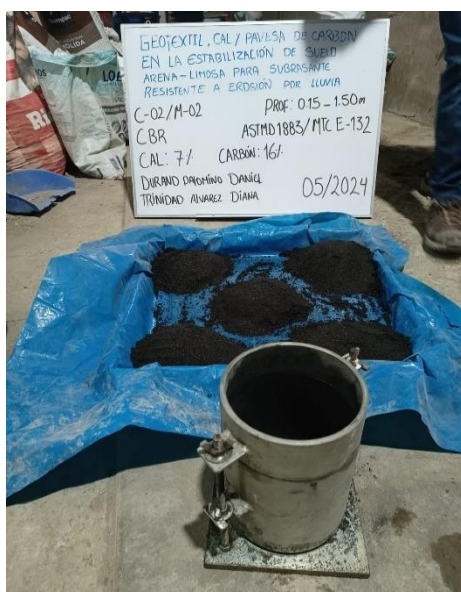


Figura 55. Ensayo de CBR (Dosificación 7)

Fuente: Propia

**Tabla 50:** Resultados de la DS y HO (Dosif. 7)

Densidad seca y humedad óptima				
Descripción	Unidad	Prueba		
		1	2	3
Molde		1	2	3
Cantidad de capas		5	5	5
Cantidad de golpes por capa		12	26	55
Humedad óptima (Proctor)	%	12.00	12.00	12.00
Molde + W de suelo húmedo	g	9600	9540	9636
W de molde	g	4743	4737	4743
W del suelo humedecido	g	4857	4803	4893
V del molde	cm <sup>3</sup>	2316.67	2316.67	2316.67
D. Húmeda	g/cm <sup>3</sup>	2.10	2.07	2.11
Nº de lata		1	3	1
W de la lata	g	27	27	37
Peso lata + suelo húmedo	g	270	286	485
Suelo seco + peso de lata	g	250	210	380
W del agua	g	20	76	105
W del suelo seco	g	223	183	343
Humedad	%	8.97	41.53	30.61
D. Seca	g/cm <sup>3</sup>	1.92	1.46	1.62

Fuente: Propia

**Tabla 51: Esfuerzo aplicado al CBR (Dosif. 7)**

k = 3	Penetración en pulgadas	Tiempo (s)	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
			Lectura	Lb/in2	Lectura	Lb/in2	Lectura	Lb/in2
	0.025	30	14	4.67	10	3.33	19	6.33
	0.050	60	32	10.67	12	4.00	25	8.33
	0.075	90	65	21.67	35	11.67	40	13.33
	0.100	120	111	37.00	95	31.67	100	33.33
	0.125	150	227	75.67	115	38.33	130	43.33
	0.150	180	282	94.00	208	69.33	250	83.33
	0.200	240	480	160.00	295	98.33	350	116.67
	0.300	360	605	201.67	475	158.33	500	166.67
	0.400	480	820	273.33	730.00	243.33	742.00	247.33
	0.500	600	1055	351.67	970.00	323.33	1100.00	366.67

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 52: Penetración de CBR a 0.2" y 0.1" (Dosif. 7)**

	Penetración a 0.2"	Penetración a 0.1"
CBR al 100% de su MDS	7.78%	3.33%
CBR al 95% de su MDS	6.56%	3.17%

Fuente: Propia

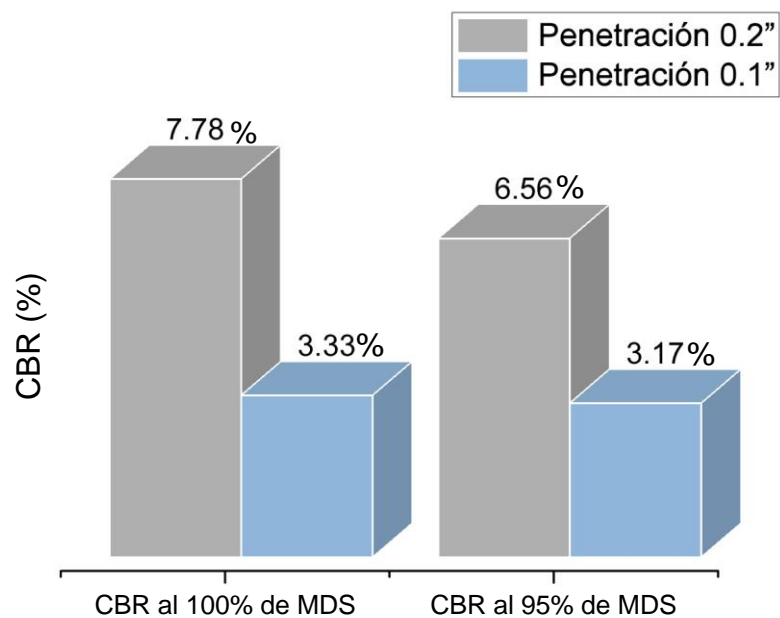


Figura 56. Comparación de resultados (Dosif. 7)

Fuente: Propia

En la tabla 52 se evidenció el CBR a una penetración de 0.1" es 3.33% al 100% de su MDS y 3.17% al 95% de su MDS, el cual se representó gráficamente en la figura 56. Por lo tanto, de acuerdo a las categorías de subrasantes vale decir que el suelo de la dosificación 7 tiene una subrasante inadecuado, ya que está por debajo del 6%(menores al 6% son subrasantes inadecuados e insuficientes).

### **CBR de la dosificación 8 (9% cal, 16% pavesa de carbón, 4.3 mm geotextil)**

Se determinó la capacidad portante para el grupo 2 a través del ensayo de CBR visto en la tabla 53, dicho grupo consta de la incorporación de 9% (cal) + 14% (pavesa de carbón) + 4.3 mm de geotextil + 75% (suelo natural), todas las dosificaciones restado al suelo natural de 6000g. Asimismo el ensayo se realizó en tres moldes para 12, 25 y 56 golpes. En ese mismo contexto, las muestra una vez ensayada, fueron sumergidos en agua durante 4 días, culminado ello se procedió a tomar los datos de la prensa CBR mostrados en la tabla 54 y figura 57.



*Figura 57. Ensayo de CBR (Dosificación 8)*

Fuente: Propia

**Tabla 53: Resultados de la DS y HO (Dosif. 8)**

Densidad seca y humedad óptima				
Descripción	Unidad	Prueba		
		1	2	3
Molde		1	2	3
Cantidad de capas		5	5	5
Cantidad de golpes por capa		12	26	55
Humedad óptima (Proctor)	%	6.13	6.13	6.13
Molde + W de suelo húmedo	g	8630	8700	8890
W de molde	g	4743	4713	4737
W del suelo humedecido	g	3887	3987	4153
V del molde	cm3	2316.67	2316.67	2316.67
D. Húmeda	g/cm3	1.68	1.72	1.79
Nº de lata		1	3	6
W de la lata	g	70	80	80
Peso lata + suelo húmedo	g	540	720	684
Suelo seco + peso de lata	g	490	645	660
W del agua	g	50	75	24
W del suelo seco	g	420	565	580
Humedad	%	11.90	13.27	4.14
D. Seca	g/cm3	1.50	1.52	1.72

Fuente: Propia

**Tabla 54: Esfuerzo aplicado al CBR (Dosif. 8)**

k = 3	Tiempo (s)	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
		Lectura	Lb/in2	Lectura	Lb/in2	Lectura	Lb/in2
0.025	30	54	18.00	21	7.00	10	3.33
0.050	60	80	26.67	60	20.00	40	13.33
0.075	90	176	58.67	200	66.67	80	26.67
0.100	120	200	66.67	259	86.33	265	88.33
0.125	150	300	100.00	480	160.00	560	186.67
0.150	180	465	155.00	630	210.00	650	216.67
0.200	240	580	193.33	735	245.00	760	253.33
0.300	360	680	226.67	850	283.33	870	290.00
0.400	480	870	290.00	1060	353.33	1060	353.33
0.500	600	1100	366.67	1230	410.00	1300	433.33

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 55: Penetración de CBR a 0.2" y 0.1" (Dosif. 8)**

	Penetración a 0.2"	Penetración a 0.1"
CBR al 100% de su MDS	16.89%	8.83%
CBR al 95% de su MDS	16.33%	8.63%

Fuente: Elaboración propia

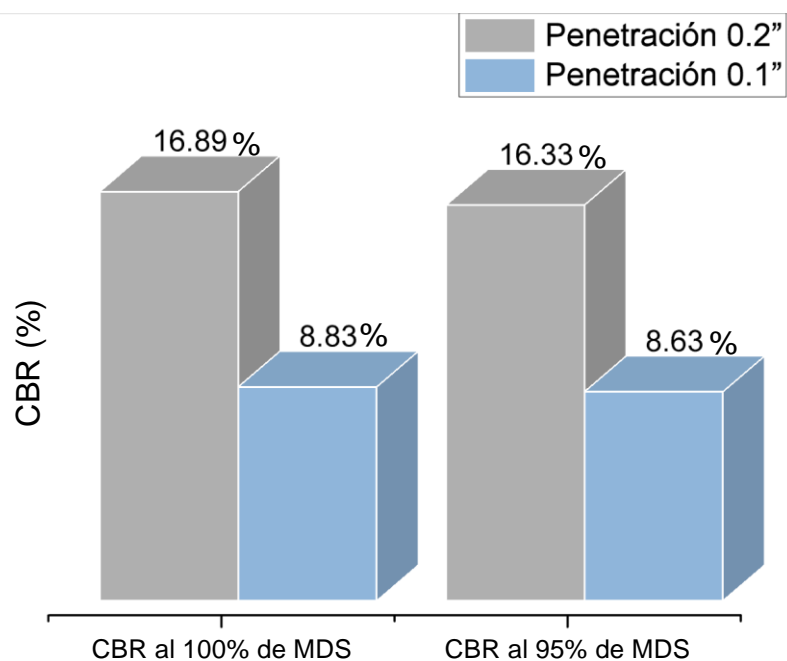


Figura 58. Comparación de resultados (Dosif. 8)

Fuente: Propia

En la tabla 55 se evidenció el CBR a una penetración de 0.1" es 8.83% al 100% de su MDS y 8.63% al 95% de su MDS, el cual se representó gráficamente en la figura 58. Por lo tanto, de acuerdo a las categorías de subrasantes vale decir que el suelo de la dosificación 8 tiene una subrasante buena, ya que supera al 6% (menores al 6% son subrasantes inadecuados e insuficientes).

Tabla 56: Resumen General del CBR

Dosificación (Dosif.)	Cal (%)	Carbón (%)	Geotextil (mm)	MDS al 95% (%)	MDS al 100% (%)	CBR al 95 % (%)
1	7	14	2.3	1.817	1.913	8.17
2	9	14	2.3	1.827	1.923	8.67
3	7	16	2.3	1.748	1.84	3.00
4	9	16	2.3	1.795	1.889	8.50
5	7	14	4.3	1.825	1.90	7.97
6	9	14	4.3	1.824	1.920	8.33
7	7	16	4.3	1.747	1.839	3.17
8	9	16	4.3	1.774	1.867	8.63
Grupo Patrón (GP)				1.781	1.875	1.7

Fuente: Propia

## **Contrastación de hipótesis**

### **Contrastación de hipótesis General**

**Ho:  $\mu = 0$**  La mezcla de geotextil, cal y pavesa de carbón NO mejora significativamente la estabilización del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia.

**Hi:  $\mu > 0$**  La mezcla de geotextil, cal y pavesa de carbón mejora significativamente la estabilización del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia.

### **Interpretación**

Se pretende determinar si la incorporación de geotextil, cal y pavesa de carbón mejora significativamente la estabilización del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia. Esta contrastación de hipótesis general se resuelve a través de los resultados del ensayo de Proctor Modificado y CBR.

### **Decisión**

En el análisis de la contrastación de hipótesis específica 1,2 y 3 determina que el geotextil, cal y pavesa de carbón influye positivamente en la estabilización del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia, puesto que IP del suelo natural es de 22.3%, la cual se encuentra en el rango de alta plasticidad, por consiguiente al incorporar aditivos tales como la cal y pavesa de carbón tienen la propiedad de reducirlo significativamente, en tal sentido a menor IP mayor CBR. En ese mismo contexto, el CBR del suelo inicialmente fue de 4.13% promedio, resultando un suelo no aceptable e inadecuado por el MTC, ya que es menor al 6%, entonces posterior de la incorporación de 7% cal+ 14% pavesa de carbón, 9% cal +14% pavesa de carbón y 9% cal +16% pavesa de carbón respectivamente con 2.3 mm o 4.3 mm de geotextil se obtuvieron resultados de 8.17%, 8.67%, 8.50%, 7.97%, 8.33%, 8.63%, al 95% de la MDS en CBR. De tal manera, el CBR incrementó un 100.26% respecto al 95% de la MDS con una penetración de 0.1 pulg. En referencia a lo mencionado, se acepta la hipótesis alternativa (Hi) y se rechaza la hipótesis nula (Ho)

## Conclusión

Hay suficiente evidencia al nivel de significancia para afirmar que, la mezcla de geotextil, cal y pavesa de carbón mejora significativamente la estabilización del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia

### Contrastación de hipótesis específica 1:

**Ho:  $\mu = 0$**  Una dosificación estimada de geotextil, cal y pavesa de carbón, NO magnifica la capacidad de soporte del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia

**Hi :  $\mu > 6$**  Una dosificación estimada de geotextil, cal y pavesa de carbón, magnifica la capacidad de soporte del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia

Para el cálculo de P se consideró la tabla 57, donde muestra el resumen de los CBR calculados producto de los ensayos de cada dosificación. Los datos fueron ingresados al programa Minitab en el cual se obtuvo los análisis de varianzas véase en la tabla 58. Asimismo, en el mismo programa se realizó la prueba de hipótesis teniendo en cuenta que el nivel de significancia asumido es de 5%.

**Tabla 57:** Resumen del CBR al 95% y 100%

	Penetración 2"		Penetración 1"	
	CBR al 100% de su MDS	CBR al 95% de su MDS	CBR al 100% de su MDS	CBR al 95% de su MDS
Dosif. 1	12.22	11.11	8.67	8.17
Dosif. 2	12.44	10.67	8.83	8.67
Dosif. 3	6.67	6.56	3.17	3
Dosif. 4	15.33	15.11	8.67	8.5
Dosif. 5	16.89	15.22	8	7.97
Dosif. 6	16.78	16.22	8.67	8.33
Dosif. 7	7.78	6.56	3.33	3.17
Dosif. 8	16.89	16.33	8.83	8.63
GP	8.44	7.56	1.83	1.7

Fuente: Propia

**Tabla 58:** Análisis de varianza del CBR

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Limite inferior de 95% para $\mu$
Dosif. 1	4	10.043	1.938	0.969	7.762
Dosif. 2	4	10.152	1.775	0.887	8.064
Dosif. 3	4	4.85	2.04	1.02	2.45
Dosif. 4	4	11.90	3.83	1.92	7.39
Dosif. 5	4	12.02	4.71	2.35	6.48
Dosif. 6	4	15.50	4.63	2.31	7.06
Dosif. 7	4	5.21	2.32	1.16	2.48
Dosif. 8	4	12.67	4.56	2.28	7.31

Fuente: Valores extraídos del MiniTab

CBR>6% (subrasante buena)

**Tabla 59:** Prueba de hipótesis del CBR

Muestra	Valor T	Valor p.
Dosif. 1	4.17	0.13
Dosif. 2	4.68	0.009
Dosif. 3	-1.13	0.829
Dosif. 4	3.08	0.027
Dosif. 5	2.56	0.042
Dosif. 6	2.81	0.034
Dosif. 7	-0.68	0.728
Dosif. 8	0.93	0.031

Fuente: Valores extraídos del Minitab

De acuerdo a la tabla 59, muestra los valores de P(valor) de cada dosificación, aunado a ellos el valor de P para la dosificación 1,2,4,5,6 y 8 es menor al nivel de significancia por lo tanto se rechaza **H<sub>0</sub>** y se acepta la **H<sub>i</sub>**. Sin embargo, la dosificación 3 y 7 es mayor al nivel de significancia.

Hay evidencia suficiente al nivel de significancia para indicar que una dosificación estimada de geotextil, cal y pavesa de carbón, magnifica la capacidad de soporte del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia.



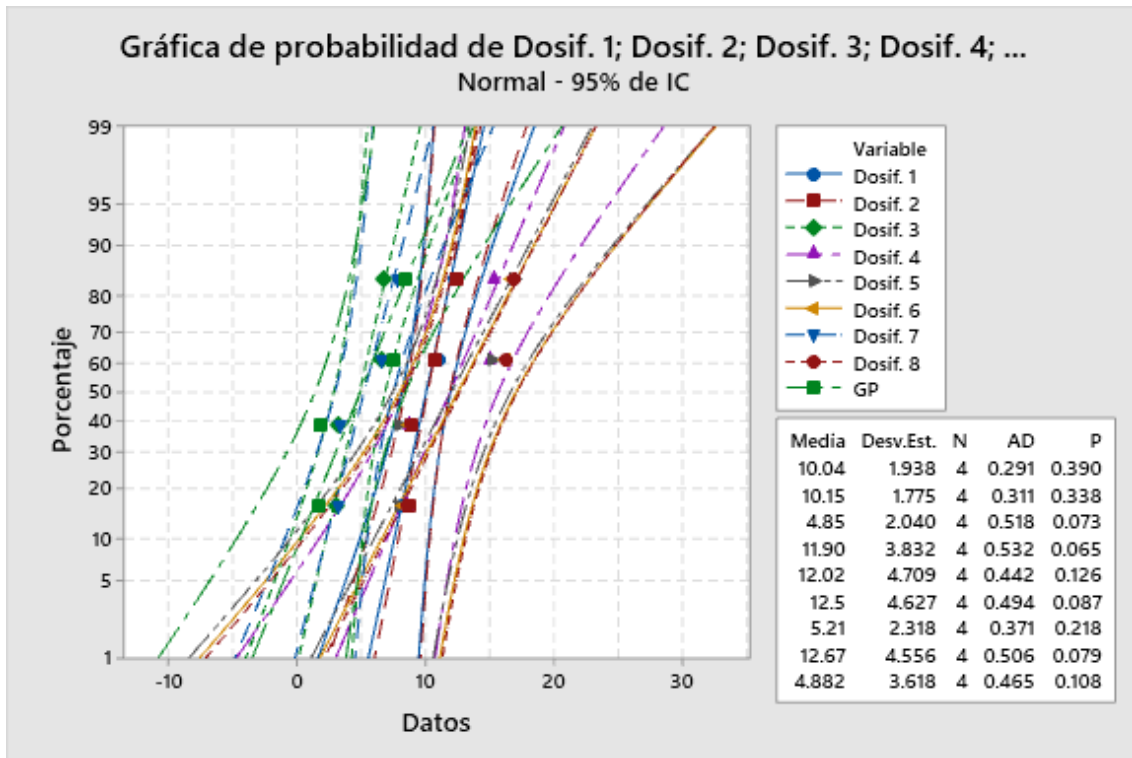


Figura 59. Prueba de normalidad (CBR)

Fuente: Valores extraídos del MiniTab

En ese mismo contexto, se realizó la prueba de Normalidad con el estadístico de Anderson Darling (tipo de normalidad), para todos los grupos mencionados en la tabla 57, y en su mayoría nuestra prueba resultó valores (P) mayores a 0.01, por consiguiente los datos de diseño factorial tienen una distribución normal, observado en la figura 59.

### Contrastación de hipótesis específica 2:

**Ho:  $\mu = 0$**  Una proporción óptima de cal y pavesa carbón NO modifica las propiedades físicas del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia.

**Hi:  $\mu > 7$**  Una proporción óptima de cal y pavesa carbón modifica las propiedades físicas del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia.

Para determinar si las proporciones de las variables mencionados modifican las propiedades físicas del suelo arena – limosa, se analizó los resultados del ensayo Límites de Atterberg (tabla 7), donde menciona que IP del grupo patrón es de

22.3%, dicho porcentaje se encuentra en el rango de alta plasticidad, visto en la figura 60.

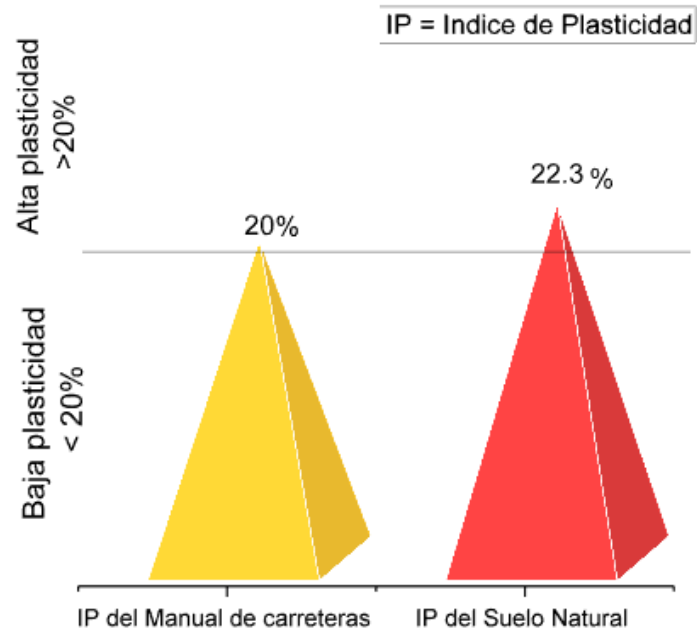


Figura 60. Comparación de IP

Fuente: Propia

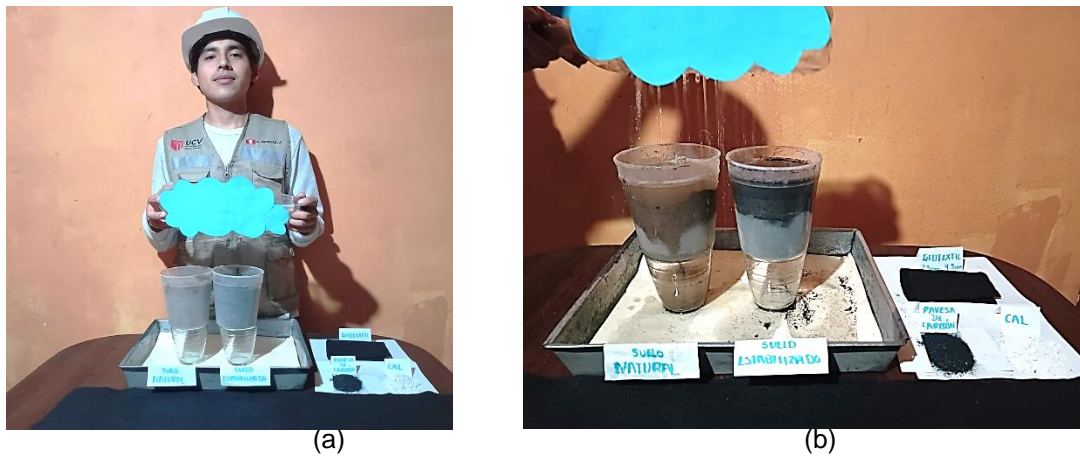


Figura 61. Simulación de Lluvia

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, para acrecentar las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante resistente a erosión por lluvia, el IP debe ser menor a 20%, como hace mención en el Manual de Carreteras, por tal motivo se incorporó 7 - 9% cal y 14-16% carbón, ya que son aditivos que reducen la plasticidad, tal afirmación respaldada en base a la norma ASTM C-977 y a la simulación de lluvia, observado en la figura 61. Es

imprescindible mencionar que con la simulación de lluvia se constató que el suelo estabilizado actúa positivamente en referencia a la separación, filtración, refuerzo y confinamiento a diferencia del suelo natural, por tal motivo, se rechaza **H<sub>0</sub>** y se acepta la **H<sub>i</sub>**.

Existe demostración necesaria para indicar que una proporción óptima de cal y pavesa carbón modifica las propiedades físicas del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia.

### Contrastación de hipótesis específica 3:

**H<sub>0</sub>:  $\mu = 0$**  Las cantidades definidas de geotextil, cal y pavesa de carbón NO mejora la máxima densidad seca del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia

**H<sub>i</sub>:  $\mu > 1.78$**  Las cantidades definidas de geotextil, cal y pavesa de carbón mejora la máxima densidad seca del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia

Para el cálculo de P se consideró la tabla 60, donde muestra el resumen de los Proctor calculados producto de los ensayos de cada dosificación. Los datos fueron ingresados al programa Minitab en el cual se obtuvo los análisis de varianzas véase en la tabla 61. Asimismo, en el mismo programa se realizó la prueba de hipótesis teniendo en cuenta que el nivel de significancia asumido es de 5%.

**Tabla 60:** Resumen del MDS al 95% y 100%

	MDS general		MDS muestra patrón	
	100%	95%	100%	95%
Dosif. 1	1.913	1.817	1.875	1.781
Dosif. 2	1.923	1.827	1.875	1.781
Dosif. 3	1.84	1.748	1.875	1.781
Dosif. 4	1.889	1.795	1.875	1.781
Dosif. 5	1.9	1.805	1.875	1.781
Dosif. 6	1.92	1.824	1.875	1.781
Dosif. 7	1.839	1.747	1.875	1.781
Dosif. 8	1.913	1.817	1.875	1.781
GP	1.923	1.827	1.875	1.781

Fuente: Elaboración propia

MDS >1.78 (contiene un óptimo contenido de humedad)

**Tabla 61:** Análisis de varianza del Proctor

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
Dosif. 1	4	1.8525	0.0644	0.0322	1.7767
Dosif. 2	4	1.8580	0.0652	0.0326	1.7813
Dosif. 3	4	1.8175	0.0669	0.0334	1.7388
Dosif. 4	4	1.8415	0.0616	0.0308	1.7690
Dosif. 5	4	1.8467	0.0622	0.0311	1.7735
Dosif. 6	4	1.8565	0.0647	0.0323	1.7804
Dosif. 7	4	1.8170	0.0671	0.0335	1.7380
Dosif. 8	4	1.8307	0.0625	0.0312	1.5772

Fuente: Valores extraídos del MiniTab

**Tabla 62:** Prueba de hipótesis del Proctor

Muestra	Valor T	Valor p.
Dosif. 1	2.25	0.055
Dosif. 2	2.39	0.048
Dosif. 3	4.12	0.172
Dosif. 4	2.00	0.070
Dosif. 5	2.14	0.061
Dosif. 6	2.37	0.049
Dosif. 7	1.10	0.175
Dosif. 8	1.62	0.101

Fuente: Valores extraídos del Minitab

De acuerdo a la tabla 62, muestra los valores de P(valor) de cada dosificación, aunado a ellos el valor de P para la dosificación 2 y 6 es menor al nivel de significancia por lo tanto se rechaza **H<sub>0</sub>** y se acepta la **H<sub>i</sub>**, esto quiere decir que, con la dosificación de 9% cal + 14% carbón + 2.3 mm geotextil o 9% cal + 14% carbón +4.3 mm geotextil se logra una mayor una mayor densidad seca de un suelo arena limoso al ser compactado con una humedad óptima de 8.29%.

Existe demostración necesaria al nivel de significancia para indicar que cantidades definidas de geotextil, cal y pavesa de carbón mejora la máxima densidad seca del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia.

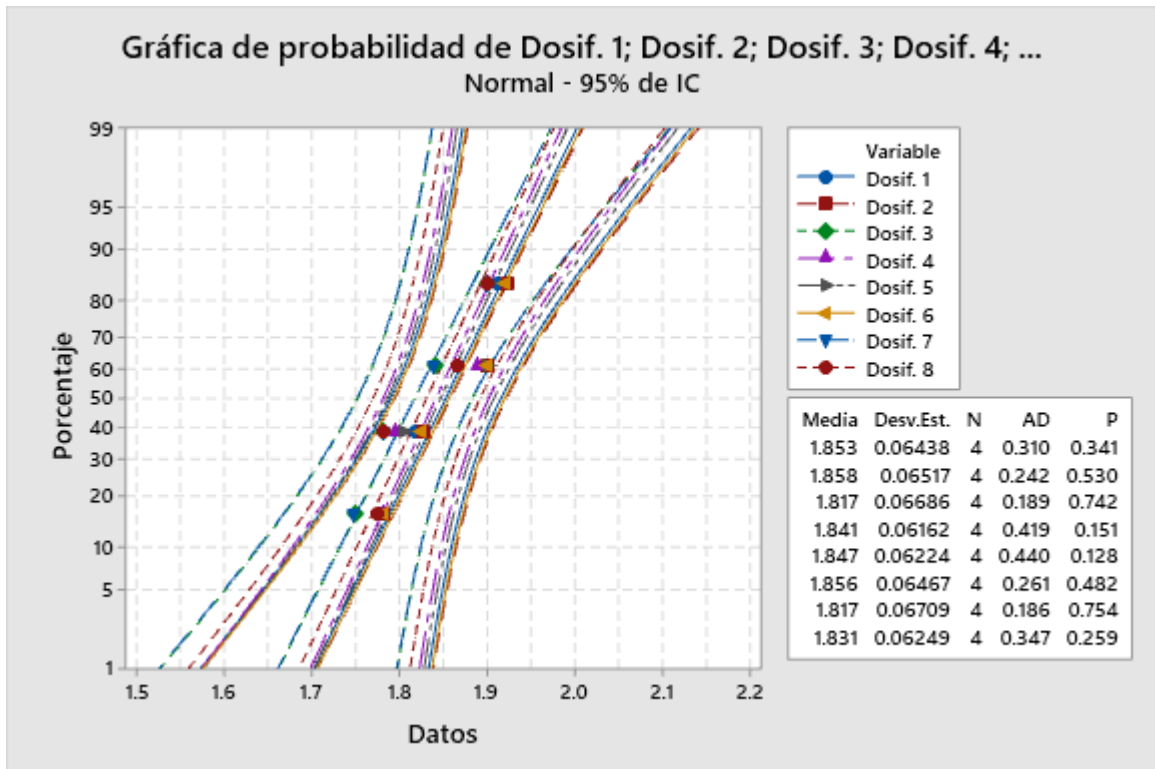


Figura 62. Prueba de normalidad (Proctor)

Fuente: Valores extraídos del MiniTab

En ese mismo contexto, se realizó la prueba de Normalidad con el estadístico de Anderson Darling (tipo de normalidad), para todos los grupos mencionados en la tabla 60, y en su mayoría nuestra prueba resultó valores (P) mayores a 0.01, por consecuente los datos de diseño factorial tienen una distribución normal, observado en la figura 62.

## **V. DISCUSIONES**

### **Discusión N°01**

¿Cómo la mezcla de geotextil, cal y pavesa de carbón podrían mejorar la estabilización del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia?

A través de los descubrimientos encontrados, aceptamos la hipótesis alternativa general que la mezcla de geotextil, cal y pavesa de carbón mejora significativamente la estabilización del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia.

Los resultados determinados en esta investigación muestran coherencia con lo que menciona Kumar y Kumar Singh (2023), modificar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la subrasante, con productos tales como el geotextil, mejora la capacidad portante efectiva de la subrasante y sirve como un método alternativo de estabilidad económica. Adicionado a ello, La pavesa de carbón o también llamado cenizas volantes el cual mejora la eficiencia de la estabilización de suelos utilizando aditivos secundarios (Karami, et al. 2021).

### **Discusión N°02**

¿Por medio de una dosificación estimada de geotextil, cal y pavesa de carbón se podría magnificar la capacidad de soporte del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia?

A través de los descubrimientos encontrados, aceptamos la hipótesis alternativa que dosificación estimada de geotextil, cal y pavesa de carbón, magnifica la capacidad de soporte del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia.

Los resultados determinados en la investigación muestran relación con lo que dice Cano en su investigación “Aplicación de geomallas triaxiales y geotextiles en la estabilización de la subrasante en la Av. Antúnez de Mayolo, Los Olivos, Lima-2021” donde se emplearon una metodología cuasiexperimental, su finalidad fue determinar la influencia al aplicar los geotextiles y geomallas triaxiales para estabilizar la subrasante del pavimento flexible. Por lo que se hicieron ensayos de

Proctor, corte directo y CBR. Se concluyó que el índice del CBR de la subrasante aumentó en un 42.56% y 46.37% respectivamente, y antes de aplicar era de 8.87% (Cano, 2021).

### **Discusión N°03**

¿Mediante una proporción óptima de cal y pavesa de carbón se podría modificar las propiedades físicas del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia?

A través de los descubrimientos encontrados, aceptamos la hipótesis alternativa que una proporción óptima de cal y pavesa carbón modifica las propiedades físicas del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia.

Los resultados determinados en la investigación muestran relación con lo que dice Gissila y Mittal en su artículo Incorporación de cal para optimizar las propiedades del suelo en subrasantes dispersivos, se realizó una metodología experimental, la cual tuvo como finalidad identificar y mejorar el rendimiento del suelo dispersivo cuando se estabiliza con cal hidratada para mejorar la subrasante. Se realizaron pruebas en el laboratorio con la muestra del suelo como material primario como la prueba de doble hidrómetro para la determinación de la dispersión con un hidrómetro estándar y una prueba de hidrómetro paralelo. Se concluyó que la cal hidratada proporciona resultados prometedores en el progreso de las propiedades de ingeniería del suelo de subrasante. La dosis del 7% al 9% de cal hidratada es suficiente para estabilizar el pavimento dispersivo del suelo de la base de la carretera (Gissila Gidday y Mittal 2020).

### **Discusión N°04**

¿Incorporando cantidades definidas de geotextil, cal y pavesa de carbón se podría mejorar la máxima densidad seca del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia?

A través de los descubrimientos encontrados, aceptamos la hipótesis alternativa que las cantidades definidas de geotextil, cal y pavesa de carbón mejora la máxima densidad seca del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia.

Los resultados determinados en la investigación muestran relación con lo que dice Goñas y Saldañas en su investigación: “Subrasante mejorada con pavesa de carbón: Estabilización de suelos” empleó una metodología experimental, con la finalidad de acrecentar las características de soporte del suelo utilizando ceniza de carbón. Estudiaron la mecánica del suelo mediante pruebas de laboratorio para obtener resultados físicos y mecánicos de las muestras de suelos tomadas de las calicatas, la capacidad de carga se evaluó mediante la prueba CBR, seguida del ensayo de Proctor, que ayudó a determinar el OCH de la muestra y su DSO. Se concluyó que al adicionar el 25% de cenizas de carbón brinda un mejor rendimiento al subsuelo del suelo (Gañas Labajos y Saldañas Nuñez 2020).



## **VI. CONCLUSIONES**

### **Conclusión N°1**

Mejorar la estabilización del suelo arena - limosa en subrasantes resistentes a erosión por lluvia, mediante la mezcla de geotextil, cal y pavesa de carbón.

En esta conclusión realizada con el suelo de la calle Buenos Aires, se llegó a la conclusión general de que la mezcla de geotextil, cal y pavesa de carbón mejora significativamente la estabilización del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia, debido a las propiedades físicas y químicas de la pavesa de carbón, cal y geotextil logran un buen desempeño en la capacidad portante del suelo arena - limoso, de manera que mediante la compactación, y un óptimo contenido de humedad alcanza su máxima densidad seca ante presencia de lluvia.

### **Conclusión N°2**

Magnificar la capacidad de soporte del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia por medio de una dosificación estimada de geotextil, cal y pavesa de carbón.

Los resultados de la investigación confirman que una dosificación estimada de geotextil, cal y pavesa de carbón, magnifica la capacidad de soporte del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia, puesto que el CBR inicial del suelo fue de 4.13% promedio, resultando un suelo no aceptable e inadecuado por el MTC, ya que es menor al 6%, entonces posterior de la adición de 7% cal+ 14% pavesa de carbón, 9% cal +14% pavesa de carbón y 9% cal +16% pavesa de carbón respectivamente con 2.3 mm o 4.3 mm de geotextil se obtuvieron resultados de 8.17%, 8.67%, 8.50%, 7.97%, 8.33%, 8.63%, al 95% de la MDS en CBR. Por concluyente el CBR incrementó un 100.26% respecto al 95% de la MDS con una penetración de 0.1 pulg.

### **Conclusión N°3**

Modificar las propiedades físicas del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia mediante una proporción óptima de cal y pavesa de carbón.

Los resultados confirman que una proporción óptima de cal y pavesa carbón modifica las propiedades físicas del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia, puesto que el índice de plasticidad (IP) del grupo patrón es de 22.3%, dicho porcentaje se encuentra en el rango de alta plasticidad, por consiguiente una proporción de 7 - 9% cal y 14-16% carbón tienen la propiedad de disminuir significativamente el IP de un suelo arena – limosa, tal afirmación respaldada en base a la norma ASTM C-977 y a la simulación de lluvia, en este último se constató que el suelo estabilizado actúa positivamente en referencia a la separación, filtración, refuerzo y confinamiento a diferencia del suelo natural.

### **Conclusión N°4**

Mejorar la máxima densidad del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia, incorporando cantidades definidas de geotextil, cal y pavesa de carbón.

Los resultados confirman que cantidades definidas de geotextil, cal y pavesa de carbón mejora la máxima densidad seca del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia, tal es el caso con la dosificación de 9% cal + 14% carbón + 2.3 mm geotextil ó 9% cal + 14% carbón + 4.3 mm geotextil se logra una densidad máxima de 1.92 g/cm<sup>3</sup> de un suelo arena limoso al ser compactado con una humedad óptima de 8.29%, a diferencia de la muestra natural con una MDS de 1.78 g/cm<sup>3</sup>.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- Después de corroborar que una dosificación estimada de geotextil, cal y pavesa de carbón mejorar la estabilización del suelo arena - limosa en subrasantes resistentes a erosión por lluvia, se recomienda que el Colegio de Ingenieros brinde capacitaciones a los profesionales sobre su aplicación en los diferentes proyectos viales.
- Se recomienda que para las próximas investigaciones donde se emplee cal, pavesa de carbón y geotextil, en referencia al CBR, se le adicione un periodo de remojo mayor a 4 días, para incrementar dicho porcentaje de CBR.
- Se recomienda efectuar una nueva investigación, pero empleado en la subrasante de la calle Buenos Aires, el cual pueda cubrirse con una respectiva carpeta asfáltica diseñada con el fin de soportar las cargas vehiculares y las inclemencias del clima.
- Se deja a disposición a las próximas investigaciones donde utilicen proporciones superiores a lo estudiado, para determinar hasta qué punto la pavesa de carbón, cal y geotextil aumenta la capacidad de soporte de un suelo arena limoso.

## REFERENCIAS

CANO BARRERA, Percy Gonzalo, 2021. Estabilización de la subrasante del pavimento utilizando geomallas triaxiales y geotextiles en la Av. Antúnez de Mayolo, Los Olivos, Lima-2021. Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo [consulta: 20 de setiembre]. Disponible en: <https://bit.ly/46P1i6e>

CARES PACHECO, Maria y FALK, Veronique, 2023. A phenomenological law for complex granular materials from Mohr-Coulomb theory (Una ley fenomenológica para materiales granulares complejos a partir de la teoría de Mohr-Coulomb) *Advanced Powder Technology* [en línea]. vol. 4, no. 1. [consulta: 18 de septiembre del 2023]. ISSN 0921-8831. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.appt.2022.103888>.

CHEN, Can, et al., 2023. Performance and evaluation models for different structural types of asphalt mixture using shape-stabilized phase change material. *Construction and Building Materials* [en línea]. Vol.383, no. 131411. [consulta: 18 septiembre 2023]. ISSN 0950-0618. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131411>.

CHEN, Jiaqui, et al., 2021. New innovations in pavement materials and engineering: A review on pavement engineering research 2021. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)* [en línea]. Vol.8, no.6, pp. 815-999. [consulta: 18 de septiembre del 2023]. ISSN 2095-7564. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.10.001>.

GIDEBO, Frehaileab, YASUHARA, Hideaki y KINOSHITA, Naoki, 2023. Stabilization of expansive soil with agricultural waste additives. *International Journal of Geo-Engineering* [en línea]. Vol. 14, no. 1, pp. 14. [consulta: 05 octubre 2023]. ISSN 2092-9196. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s40703-023-00194-x>.

GISSILA GIDDAY, Bisrat y MITTAL, Satyendra, 2020. Improving the characteristics of dispersive subgrade soils using lime. *Heliyon* [en línea]. Vol.6, no.2 [consulta: 18 de septiembre del 2023]. ISSN 2405-8440. Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03384>.

GOÑAS LABAJOS, Olger y SALDAÑA NUÑEZ, Jhon Hilmer, 2020. Estabilización de suelos con cenizas de carbón para uso como subrasante mejorada. *Revista Científica* [en línea]. UNTRM: Ciencias Naturales E Ingeniería, Vol.3, no.1, pp.30-35 [consulta: 18 de septiembre del 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03384>

Guo, et al. 2021. Experimental evaluation of wicking geotextile-stabilized aggregate bases over subgrade under rainfall simulation and cyclic loading. *Geotextiles and Geomembranes* [en línea]. Vol.49, no.6, pp. 1550-1564 [consulta: 18 de septiembre del 2023]. ISSN 0266-1144. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2021.07.004>.

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar (2014). Metodología de la Investigación [en línea]. 6ª ed. México: McGraw-Hill [consulta: 18 noviembre 2023] ISBN 978-1-4562-2396-0. Disponible en: <https://bit.ly/3NeYjNN>

HERNÁNDEZ, Sandra y DUANA, Danae, 2020. Técnicas e instrumentos de recolección de datos. *Boletín Científico de las Ciencias Económico Administrativas del ICEA* [en línea], vol. 9, no. 17, pp. 51-53. [consulta: noviembre de 2023]. ISSN 2007-4913. Disponible en: <https://bit.ly/3R9D9BB>

HU, Chao, ZHOU, Zhigang y CHEN, Gonghong Suresh, 2023. Effects of different types of acid rain on water stability of asphalt pavement. *Construction and Building Materials* [en línea]. [consulta: 20 setiembre 2023]. ISSN 0950-0618. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126308>.

IKEAGWUANI, Chijioke y NWONU, Donald, 2019. Emerging trends in expansive soil stabilisation: A review. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* [en línea]. Vol. 11, no. 2, pp. 423-440. [consulta: noviembre 2023]. ISSN 1674-7755. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.08.013>.

JIARUI, Qi, et al., 2023. Soil erosion resistance factors in different types of gully heads developed in four main land-uses in the Mollisols region of Northeast China.

*Soil and Tillage Research* [en línea]. vol. 230, no. 105697 [consulta: 18 de septiembre del 2023]. ISSN 0167-1987. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105697>.

KARAMI, Hadi, et al., 2021. Use of secondary additives in fly ash-based soil stabilization for soft subgrades. *Transportation Geotechnics* [en línea]. Vol. 29, no. 100585. [consulta: 18 de septiembre de 2023]. ISSN 2214-3912. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2021.100585>.

KIKUT, Karina, BALDI, Alejandra y ELIZONDO, Ana, 2020. Beneficios del uso de cal hidratada en mezclas asfálticas: Revisión del estado del arte. *Infraestructura Vial* [en línea]. Vol.22, no. 39, pp. 12-19. [consulta: 18 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.15517/iv.v22i39.41618>

KUMAR, Suresh y KUMAR SINGH, Sitiesh, 2023. Subgrade soil stabilization using geosynthetics: A critical review. *Materials Today: Proceedings* [en línea]. [consulta: setiembre 2023]. ISSN 2214-7853. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.266>.

LONGA SAAVEDRA, Keiver y SÁNCHEZ POZO, Diana, 2021. *Estabilización con cenizas de carbón para mejoramiento de subrasante del Asentamiento Humano, Ciudad del Niño, distrito de Castilla, Piura, 2021* [en línea]. Tesis de pregrado. Piura: Universidad Cesar Vallejo [consulta: noviembre de 2023]. Disponible en: <https://bit.ly/3RsuzPM>

LOZADA, José, 2014. Investigación Aplicada Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *Dialnet* [en línea]. Vol. 3, no. 1 [consulta: noviembre de 2023]. ISSN 1390-9592 Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>.

MALICKI, Konrad, GÓRSZCZYK, Jarosław y DIMITROVOVÁ, Zuzana, 2021. Recycled polyester geosynthetic influence on improvement of road and railway subgrade bearing capacity - Laboratory investigations. *Materials* [en línea]. Vol. 14, no. 23. [consulta: 20 setiembre 2023]. ISSN 1996-1944. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ma14237264>.

MAMANI GONZALO, Griselda, et al. 2023. Estabilización de la subrasante con ceniza de quinua y cal en la Carretera Lago Sagrado, Puno, Perú. *Infraestructura Vial* [en línea]. Vol. 25, no. 44, pp. 1-7. [consulta: 18 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.15517/iv.v25i44.53569>

MOSCOSO THOMSON, Elia, et al., 2022. SHREC 2022: Pothole and crack detection in the road pavement using images and RGB-D data. *Computers & Graphics* [en línea]. vol.107, pp. 161-171. [consulta: 18 de septiembre de 2023]. ISSN 0097-8493. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cag.2022.07.018>.

ÑAUPAS PAITÁN, Humberto, et al., 2018 *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis* [en línea]. 5ª ed. Bogotá: Ediciones de la U [consulta: 18 noviembre 2023] ISBN 978-958-762-876-0. Disponible en: <https://bit.ly/484rLhn>

ORELLANA LÓPEZ, Dania, SÁNCHEZ GÓMEZ, Cruz, 2006. Técnicas De Recolección De Datos En Entornos Virtuales Más Usadas En La Investigación Cualitativa. *Revista de Investigación Educativa* [en línea]. Vol. 24, no. 1, pp. 205-222. [consulta: noviembre de 2023]. ISSN 0212-4068. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=283321886011>.

RAMOS, Carlos, 2020. Los Alcances de una Investigación. *CienciAmérica* [en línea]. Vol.9, no. 3, pp.1-6. [consulta: 18 de septiembre del 2023]. ISSN 1390-9592. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.33210/ca.v9i3.336>.

RAMOS, Carlos, 2021. Diseño de investigación experimental. *CienciAmérica* [en línea]. Vol.10, no. 1, pp.1-7. [consulta: 18 de septiembre del 2023]. ISSN 1390-9592. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.33210/ca.v10i1.356>.

REYES, Diana, 2017. *Correlación entre el módulo resiliente de la subrasante y el coeficiente estructural del material granular con reciclado de pavimento utilizado en la rehabilitación de estructuras de pavimento en Bogotá* [en línea]. Tesis (Especialista en ingeniería de pavimentos). Colombia: Universidad Militar Nueva Granada [consulta: noviembre de 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10654/16551>

SANCA, Miler, 2011. Tipos de investigación científica. *Revista de Actualización Clínica Investiga* [en línea]. vol.12, pp. 621-624 [consulta: noviembre de 2023] ISSN 2304-3768. Disponible en: <https://bit.ly/4a2rmOp>

SÁNCHEZ FLORES, Fabio, 2019. Fundamentos Epistémicos de la Investigación Cualitativa y Cuantitativa: Consensos y Disensos. *Revista Digital De Investigación En Docencia Universitaria* [en línea]. Vol. 13, no. 1, pp. 101-122 [consulta: noviembre de 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.19083/ridu.2019.644>

SELVI, P, 2015. Fatigue and rutting strain analysis on lime stabilized subgrades to develop a pavement design chart. *Transportation Geotechnics* [en línea]. Vol. 2, pp. 86-98. [consulta: 18 septiembre del 2023]. ISSN 2214-3912. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2014.11.001>

SÜRÜCÜ, Lütfi y MASLAKÇI, Ahmet, 2020. Validity And Reliability In Quantitative Research. *BMIJ* [en línea]. vol. 8, no. 3, pp. 2694-2726. [consulta: noviembre de 2023]. ISSN 2148-2586. Disponible en: <http://doi.org/10.15295/bmij.v8i3.1540>.

VIVEK, C, et al.,2022. Pavement Subgrade Stabilized with Waste coal Ash and Geosynthetics: An Experimental Study and Multiple Regression Modelling. *Materials Today: Proceedings* [en línea]. Vol.52, pp. 1543-1550. [consulta: 18 de septiembre del 2023]. ISSN 2214-7853. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.233>.

ZIMAR, Z. et al., 2022. Application of coal fly ash in pavement subgrade stabilisation: A review. *Journal of Environmental Management* [en línea]. Vol. 312, pp. 114926. [consulta: noviembre 2023]. ISSN 0301-4797. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114926>.



## ANEXOS

### Anexo N° 1. Matriz de Consistencia

Geotextil, cal y pavesa de carbón en la estabilización de suelo arena -limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia.					
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES
PROBLEMA PRINCIPAL	OBJETIVO PRINCIPAL	HIPÓTESIS PRINCIPAL			
¿Cómo la mezcla de geotextil, cal y pavesa de carbón podrían mejorar la estabilización del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia?	Mejorar la estabilización del suelo arena - limosa en subrasantes resistentes a erosión por lluvia, mediante la mezcla de geotextil, cal y pavesa de carbón.	La mezcla de geotextil, cal y pavesa de carbón mejora significativamente la estabilización del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia.	VI: Geotextil	Separación	Tamaño de abertura (mm)
				Refuerzo	Resistencia al punzonamiento (N)
				Filtración	Permeabilidad (cm/s)
<b>PROBLEMA SECUNDARIO N°1</b>	<b>OBJETIVO SECUNDARIO N°1</b>	<b>HIPÓTESIS SECUNDARIO N°1</b>	VI: Cal	Compactación	CBR (%)
¿Por medio de una dosificación estimada de geotextil, cal y pavesa de carbón se podría magnificar la capacidad de soporte del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia?	Magnificar la capacidad de soporte del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia por medio de una dosificación estimada de geotextil, cal y pavesa de carbón.	Una dosificación estimada de geotextil, cal y pavesa de carbón, magnifica la capacidad de soporte del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia.			
<b>PROBLEMA SECUNDARIO N°2</b>	<b>OBJETIVO SECUNDARIO N°2</b>	<b>HIPÓTESIS SECUNDARIO N°2</b>			
¿Mediante una proporción óptima de cal y pavesa de carbón se podría modificar las propiedades físicas del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia?	Modificar las propiedades físicas del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia mediante una proporción óptima de cal y pavesa de carbón.	Una proporción optima de cal y pavesa carbón modifica las propiedades físicas del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia.	VI: Pavesa de carbón	Granulometría	LL, LP, IP (%)
				Límites de Atterberg	
<b>PROBLEMA SECUNDARIO N°3</b>	<b>OBJETIVO SECUNDARIO N°3</b>	<b>HIPÓTESIS SECUNDARIO N°3</b>	VD: Estabilización de suelo	Proctor modificado	Máxima densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )
¿Incorporando cantidades definidas de geotextil, cal y pavesa de carbón se podría mejorar la máxima densidad seca del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia?	Mejorar la máxima densidad del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia, incorporando cantidades definidas de geotextil, cal y pavesa de carbón.	Las cantidades definidas de geotextil, cal y pavesa de carbón mejora la máxima densidad seca del suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia			

## Anexo N° 2. Matriz de Operacionalización

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
VI: Geotextil	Un geosintético es un material geotécnico y de ingeniería civil que tiene la forma de una estructura tridimensional o una lámina filtrante de manto con al menos un componente compuesto de polímero natural o sintético, así como de acero (Kumar 2023).	En una muestra de suelo de la calle Buenos Aires se aplicará el geotextil, para poder apreciar su comportamiento frente a los distintos ensayos y poder determinar sus ventajas y diferencias.	Separación	Tamaño de abertura (mm)	Razón
			Esfuerzo	Índice de resistencia	
			Filtración	Permeabilidad (ml/s)	
VI: Cal	La cal es un compuesto químico que se obtiene principalmente a partir de la roca caliza. La cual es un material ampliamente utilizado en ingeniería civil y su uso en subrasantes tiene varias ventajas significativas (Kikut 2020).	Para medir la variable cal se evaluará fundamentalmente la compactación, aplicando cal en dosificación del 7% y 9%, a través del ensayo California Bearing Ratio. Asimismo, es importante seguir las normas y estándares específicos, como los establecidos por la norma ASTM D1883, para garantizar la consistencia y la precisión de los resultados del ensayo CBR.			Intervalo
VI: Pavesa de carbón	La ceniza de carbón es un subproducto que se forma como resultado de la combustión del carbón, ya sea en centrales eléctricas, fábricas que utilizan carbón como fuente de energía. Y han sido utilizadas en el pasado como un material para mejorar las propiedades de la subrasante en proyectos de construcción de carreteras (Zimar, et al. 2022).	Para medir la variable pavesa de carbón se evaluará esencialmente los límites de atterberg, empleando pavesa de carbón en proporción del 14% y 16%, mediante el ensayo de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad. En tal sentido, es crucial seguir el procedimiento de la norma ASTM D4318.	Cantidad (%)	Peso (%)	razón
VD: Estabilización de subrasante	La estabilización con diferentes tipos de estabilizadores puede mejorar las propiedades técnicas del suelo. Cuando se utilizan materiales industriales o naturales disponibles localmente, los suelos estabilizados son materiales de construcción muy útiles (Ikeagwuani 2019).	Llevaremos a cabo una serie de ensayos a fin de determinar si las muestras de la subrasante consiguieron estabilizarse, Por ende, esta variable se operacionaliza por medio de sus dimensiones como la compactación límites de atterberg y proctor modificado.	Compactación	CBR (%)	intervalo
			Límites de Atterberg	LL, LP, IP (%)	intervalo

## Anexo N° 3. Reporte de Similitud

Feedback Studio - Google Chrome  
ev.tumfa.com/app/carta/es/?ro=1030lang-es&u=108032488&o=2419161091&s=1

feedback studio DANIEL DURAND PALOMINO "Geotextil, cal y pavesa de carbón en la estabilización de suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia" /100 1 de 31

**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TÍTULO DE LA TESIS**  
"Geotextil, cal y pavesa de carbón en la estabilización de suelo arena – limosa para subrasantes resistentes a erosión por lluvia"

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**AUTORES:**  
Durand Palomino Daniel (<https://orcid.org/0000-0001-9716-0614>)  
Trinidad Alvarez Diana Abigail (<https://orcid.org/0000-0001-9481-6745>)

**ASESOR:**  
M. Sc. Clemente Condori Luis Jimmy (<https://orcid.org/0000-0002-0250-4363>)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**  
Diseño de infraestructura vial

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**  
Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

**LIMA – PERÚ**

Página: 1 de 95 Número de palabras: 20388 Versión solo texto del informe Alta resolución Activado 08:11 19/07/2024

**Resumen de coincidencias**

**13 %**

Se están viendo fuentes estándar  
 Ver fuentes en inglés

**Coincidencias**

Nº	Fuente de Internet	Porcentaje
1	hdl.handle.net	6 %
2	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	2 %
3	dispace.upa.edu.ec	1 %
4	repositorio.ucv.edu.pe	1 %
5	repositorio.uandina.ed... Fuente de Internet	<1 %
6	repositorio.unsaac.edu... Fuente de Internet	<1 %
7	upc.aws.openrepositor... Fuente de Internet	<1 %
8	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	<1 %
9	repositorio.unam.edu.pe	<1 %
10	www.repositorio.unach... Fuente de Internet	<1 %
11	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	<1 %

## Anexo 4. Instrumento de recolección de datos

### FORMATO DE VALIDACIÓN POR OPINIÓN DEL EXPERTO 1

#### I. Datos Generales

Fecha	08 de abril del 2024
Validador	Luis Riofrio Pariona
Cargo e institución donde labora	Ingeniero Civil
Instrumento a validar	Ficha de observación de limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad.
Objetivo del instrumento	Obtener los valores de limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad.
Autor(es) del instrumento	

#### II. Criterios de validación del instrumento

Revisar cada ítem del instrumento de recolección de datos y marcar con una equis (X) según corresponda a cada uno de los indicadores de la ficha teniendo en cuenta:

1	Deficiente (D)	Si menos del 30% de los ítems cumplen con el indicador.
2	Regular (R)	Si entre el 31% y 70% de los ítems cumplen con el indicador.
3	Buena (B)	Si más del 70% de los ítems cumplen con el indicador.

Criterios	Indicadores	D	R	B	Observación
		(1)	(2)	(3)	
Pertinencia	Los ítems miden lo previsto en los objetivos de investigación.			X	
Coherencia	Responden a lo que se debe medir en la variable, dimensiones e indicadores.		X		
Congruencia	Están acorde con el avance de la ciencia y tecnología.		X		
Suficiencia	Son suficientes en cantidad para medir los indicadores de la variable.			X	
Objetividad	Se expresan en comportamientos y acciones observables y verificables.			X	
Consistencia	Se han formulado en relación a la teoría de las dimensiones de la variable.			X	
Organización	Son secuenciales y distribuidos de acuerdo a dimensiones.			X	
Claridad	Están redactados en un lenguaje claro y entendible.		X		
Oportunidad	El instrumento se aplica en un momento adecuado.			X	
Estructura	El instrumento cuenta con instrucciones y opciones de respuesta bien definidas.			X	
Total			3	7	

#### III. Coeficiente de validez

$$\frac{D + R + B}{30}$$

0.30

  
LUIS FERNANDO  
RIOFRIO PARIONA  
Ingeniero Civil  
CIP N° 283786

## FORMATO DE VALIDACIÓN POR OPINIÓN DEL EXPERTO 2

### I. Datos Generales

Fecha	08 de abril del 2024
Validador	Keyla Nicole Flores Pariona
Cargo e institución donde labora	Ingeniera Civil – Municipalidad de Lurigancho
Instrumento a validar	Ficha de observación de optimo contenido de humedad y máxima densidad seca.
Objetivo del instrumento	Obtener los valores de optimo contenido de humedad y máxima densidad seca
Autor(es) del instrumento	Daniel Durand Palomino y Diana Abigail Trinidad Alvarez

### II. Criterios de validación del instrumento

Revisar cada ítem del instrumento de recolección de datos y marcar con una equis (X) según corresponda a cada uno de los indicadores de la ficha teniendo en cuenta:

1	Deficiente (D)	Si menos del 30% de los ítems cumplen con el indicador.
2	Regular (R)	Si entre el 31% y 70% de los ítems cumplen con el indicador.
3	Buena (B)	Si más del 70% de los ítems cumplen con el indicador.

Criterios	Indicadores	D	R	B	Observación
		(1)	(2)	(3)	
Pertinencia	Los ítems miden lo previsto en los objetivos de investigación.			X	
Coherencia	Responden a lo que se debe medir en la variable, dimensiones e indicadores.		X		
Congruencia	Están acorde con el avance de la ciencia y tecnología.			X	
Suficiencia	Son suficientes en cantidad para medir los indicadores de la variable.		X		
Objetividad	Se expresan en comportamientos y acciones observables y verificables.			X	
Consistencia	Se han formulado en relación a la teoría de las dimensiones de la variable.			X	
Organización	Son secuenciales y distribuidos de acuerdo a dimensiones.			X	
Claridad	Están redactados en un lenguaje claro y entendible.			X	
Oportunidad	El instrumento se aplica en un momento adecuado.		X		
Estructura	El instrumento cuenta con instrucciones y opciones de respuesta bien definidas.			X	
Total			3	7	

### III. Coeficiente de validez

$$\frac{D + R + B}{30}$$

0.30

  
Keyla Nicole Flores Pariona  
INGENIERO CIVIL.  
Reg. CIP. N° 258535

## FORMATO DE VALIDACIÓN POR OPINIÓN DEL EXPERTO 3

### I. Datos Generales

Fecha	08 de abril del 2024
Validador	Arturo Hernan Nuñez Huamalies
Cargo e institución donde labora	Ingeniero Civil – Municipalidad de Lurigancho Chosica
Instrumento a validar	Ficha de observación de CBR.
Objetivo del instrumento	Obtener los valores de CBR.
Autor(es) del instrumento	Daniel Durand Palomino y Diana Abigail Trinidad Alvarez

### II. Criterios de validación del instrumento

Revisar cada ítem del instrumento de recolección de datos y marcar con una equis (X) según corresponda a cada uno de los indicadores de la ficha teniendo en cuenta:

1	Deficiente (D)	Si menos del 30% de los ítems cumplen con el indicador.
2	Regular (R)	Si entre el 31% y 70% de los ítems cumplen con el indicador.
3	Buena (B)	Si más del 70% de los ítems cumplen con el indicador.

Criterios	Indicadores	D	R	B	Observación
		(1)	(2)	(3)	
Pertinencia	Los ítems miden lo previsto en los objetivos de investigación.			X	
Coherencia	Responden a lo que se debe medir en la variable, dimensiones e indicadores.			X	
Congruencia	Están acorde con el avance de la ciencia y tecnología.			X	
Suficiencia	Son suficientes en cantidad para medir los indicadores de la variable.			X	
Objetividad	Se expresan en comportamientos y acciones observables y verificables.		X		
Consistencia	Se han formulado en relación a la teoría de las dimensiones de la variable.			X	
Organización	Son secuenciales y distribuidos de acuerdo a dimensiones.			X	
Claridad	Están redactados en un lenguaje claro y entendible.			X	
Oportunidad	El instrumento se aplica en un momento adecuado.			X	
Estructura	El instrumento cuenta con instrucciones y opciones de respuesta bien definidas.		X		
Total			2	8	

### III. Coeficiente de validez

$$\frac{D + R + B}{30}$$

0.30

  
ARTURO HERNAN  
NUÑEZ HUAMALIES  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 165411

## Anexo 5. Panel fotográfico



**Panel fotográfico N° 1:** Inicio de la excavación de la calicata N°1 de la calle Buenos Aires.



**Panel fotográfico N° 2:** Excavación hasta 150cm de profundidad.



**Panel fotográfico N° 3:** Calicata N°1 de la calle Buenos Aires del AA.HH Moyopampa.



**Panel fotográfico N° 4:** Extracción de la muestra del suelo arena limosa de C-1.



**Panel fotográfico N° 5:** Inicio de la excavación de la calicata N°2 de la calle Buenos Aires.



**Panel fotográfico N°6:** Excavación de una profundidad de 150cm de altura del Jirón La



**Panel fotográfico N°6:** Calicata N°2 de la calle Buenos Aires del AA.HH de Moyopampa.



**Panel fotográfico N°7:** Extracción de la muestra del suelo arena limosa de C-1 de la calle Buenos Aires.





**Panel fotográfico N°8:** Ensayo de granulometría



**Panel fotográfico N°9:** Proceso del ensayo de granulometría



**Panel fotográfico N°10:** Ensayo de límites de atterberg



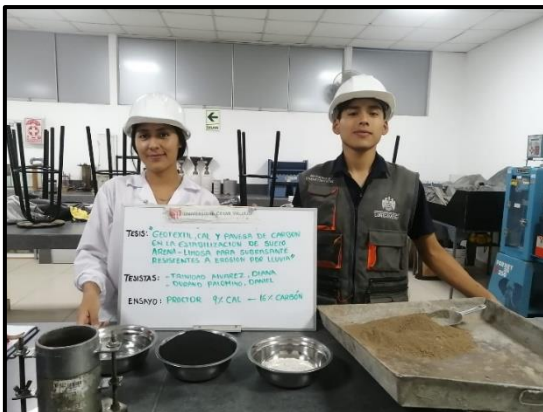
**Panel fotográfico N°11:** Colocación de la muestra en el molde cilíndrico.



**Panel fotográfico N°12:** Ensayo de Proctor modificado del suelo natural



**Panel fotográfico N°13:** Ensayo de contenido de humedad.



**Panel fotográfico N°14:** Ensayo de Proctor modificado dosificada



**Panel fotográfico N°15:** Ensayo de CBR con la incorporación de cal y carbón



**Panel fotográfico N°16:** Peso de la muestra del suelo para la prueba CBR.



**Panel fotográfico N°17:** Ensayo de CBR (4 días bajo agua)



**Panel fotográfico N°17:** Ensayo de CBR de la muestra

### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
Dosif. 1	4	10.043	1.938	0.969	7.762
Dosif. 2	4	10.152	1.775	0.887	8.064
Dosif. 3	4	4.85	2.04	1.02	2.45
Dosif. 4	4	11.90	3.83	1.92	7.39
Dosif. 5	4	12.02	4.71	2.35	6.48
Dosif. 6	4	12.50	4.63	2.31	7.06
Dosif. 7	4	5.21	2.32	1.16	2.48
Dosif. 8	4	12.67	4.56	2.28	7.31

$\mu$ : media de Dosif. 1; Dosif. 2; Dosif. 3; Dosif. 4; Dosif. 5; Dosif. 6; Dosif. 7; Dosif. 8

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0: \mu = 6$

Hipótesis alterna  $H_1: \mu > 6$

Muestra	Valor T	Valor p
Dosif. 1	4.17	0.013
Dosif. 2	4.68	0.009
Dosif. 3	-1.13	0.829
Dosif. 4	3.08	0.027
Dosif. 5	2.56	0.042
Dosif. 6	2.81	0.034
Dosif. 7	-0.68	0.728
Dosif. 8	2.93	0.031

Contrastación de hipótesis específica 1

### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
Dosif. 1	4	1.8525	0.0644	0.0322	1.7767
Dosif. 2	4	1.8580	0.0652	0.0326	1.7813
Dosif. 3	4	1.8175	0.0669	0.0334	1.7388
Dosif. 4	4	1.8415	0.0616	0.0308	1.7690
Dosif. 5	4	1.8467	0.0622	0.0311	1.7735
Dosif. 6	4	1.8565	0.0647	0.0323	1.7804
Dosif. 7	4	1.8170	0.0671	0.0335	1.7380
Dosif. 8	4	1.8307	0.0625	0.0312	1.7572

$\mu$ : media de Dosif. 1; Dosif. 2; Dosif. 3; Dosif. 4; Dosif. 5; Dosif. 6; Dosif. 7; Dosif. 8

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0: \mu = 1.78$

Hipótesis alterna  $H_1: \mu > 1.78$

Muestra	Valor T	Valor p
Dosif. 1	2.25	0.055
Dosif. 2	2.39	0.048
Dosif. 3	1.12	0.172
Dosif. 4	2.00	0.070
Dosif. 5	2.14	0.061
Dosif. 6	2.37	0.049
Dosif. 7	1.10	0.175
Dosif. 8	1.62	0.101

Contrastación de hipótesis específica 3

**SOLICITANTE :** UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO S.A.C.  
**DIRECCIÓN :** Km 8.2 ATE CARRETERA CENTRAL  
**EQUIPO :** PRENSA CBR  
**MARCA :** QTKF  
**MODELO :** QC-48000  
**Nº DE SERIE :** T3006453  
**PROCEDECENCIA :** PERU  
**TIPO :** ANALOGO  
**ANILLO DE CARGA**  
**MARCA :** NO INDICA  
**MODELO :** T1009  
**SERIE :** T3006453  
**CAPACIDAD :** 30 KN  
**RELOJ COMPARADOR / DIAL**  
**MARCA :** CONTROLS  
**SERIE :** DA855958  
**ALCANCE :** 300 mm  
**RESOLUCIÓN :** 0.001 mm  
**CODIGO DE ID. :** 080004358

**NORMA UTILIZADA :** ASTM E4- ISO 7500-1

**FECHA Y LUGAR DE MEDICIÓN**

La calibración se realizó el 23 de Octubre del 2023 en las instalaciones de la Universidad Cesar Vallejo

**RESULTADOS**

La calibración se realizó bajo las siguientes condiciones ambientales.

Temperatura: Inicial: 23.2 °C Final: 23.4 °C

Humedad Relativa: Inicial: 61 % Final: 62%

**MÉTODO Y PATRÓN DE MEDICIÓN**

Fuerza indicada Constante

Patrón utilizado tipo S, CODIGO FOX-A, Con certificado de calibración N° INF-LE-788-30C PUCP  
Tomando como referencia Sistema Internacional de Unidades (SI)

**OBSERVACIONES**

Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación "CALIBRADO"

La periodicidad de las calibraciones está en función del uso, conservación y mantenimiento del medio de medición.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales e internacionales que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitar la correspondiente revisión en su momento la aplicación de una recalibración.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio emisor.

Los certificados de calibración son bona y fide no son válidos.



ESTADÍSTICA  
VMC EQUIPOS & LABORATORIOS S.A.C



Certificado de calibración  
del laboratorio de la UCV