



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Optimización de los suelos utilizando cenizas de bagazo de caña de azúcar en el asentamiento humano Virgen Asunta - Chachapoyas

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTOR:

Vargas Melendez, Jhosep Alexander (orcid.org/0000-0001-5062-5357)

ASESOR:

Dr. Farfán Córdova, Marlon Gastón (orcid.org/0000-0001-9295-5557)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño Sísmico y Estructural

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento

TRUJILLO — PERÚ

2024

Declaratoria de autenticidad del asesor



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, FARFAN CORDOVA MARLON GASTON, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Optimización de los suelos utilizando cenizas de bagazo de caña en el asentamiento humano Virgen Asunta - Chachapoyas", cuyo autor es VARGAS MELENDEZ JHOSEP ALEXANDER, constato que la Investigación tiene un índice de similitud de 15%, 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.

TRUJILLO, 24 de Junio del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
FARFAN CORDOVA MARLON GASTON DNI: 03371681 ORCID: 0000-0001-9295-5557	Firmado electrónicamente por: MPARFANC el 29-06- 2024 22:08:07

Código documento Trilce: TRI - 0770208



Declaratoria de originalidad del autor



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, VARGAS MELENDEZ JHOSEP ALEXANDER estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Optimización de los suelos utilizando cenizas de bagazo de caña en el asentamiento humano Virgen Asunta - Chachapoyas", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He 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 asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
JHOSEP ALEXANDER VARGAS MELENDEZ DNI: 70932625 ORCID: 0000-0001-5062-5357	Firmado electrónicamente por: JVARGASME20 el 24- 06-2024 23:53:52

Código documento Trilce: TRI - 0770209

Dedicatoria

A mis queridos padres, hermanas y a mi enamorada Ariadna Sofía, quienes siempre estuvieron a mi lado en este camino de altos y bajos, hoy culmina un largo trayecto. Quiero agradecerles por ser mis fieles compañeros en esta travesía. Su amor, paciencia y aliento han sido mi motor para alcanzar este logro. Sin su ayuda, nada de esto hubiera sido posible. Los amo más allá de las palabras.

Agradezco a la vida y a mi propia determinación por permitirme emprender y superar este desafío académico. Esta tesis es un testimonio de años de estudio, trabajo arduo y mi pasión por salir adelante mediante el aprendizaje.

Dedico este logro a todos aquellos que se cruzaron en mi camino durante esta travesía, a quienes me brindaron ánimos y ofrecieron su ayuda. Este trabajo de investigación también les pertenece. A todas esas personas, mi más sincera gratitud.

Agradecimiento

En primer lugar, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios y a mi familia por brindarme fortaleza cuando, en muchas ocasiones, sentía que no podía seguir adelante. Gracias por la perseverancia que me permitió alcanzar este grado académico.

Agradezco a la Universidad César Vallejo y a todos los profesores que me guiaron con sus conocimientos y experiencia. Me enseñaron que no debemos rendirnos y que ya hemos llegado muy lejos como para abandonar esta hermosa carrera. Gracias por ayudarme a tener una visión clara y alcanzar mis metas. Su paciencia, dedicación y consejos fueron fundamentales para mi formación.

Quiero expresar mi agradecimiento a mi asesor de tesis y a los jurados, cuya orientación y apoyo me han permitido llevar a cabo este proyecto de investigación.

Este título universitario es un testimonio de todos los esfuerzos y sacrificios que realicé. Pero más que eso, es un recordatorio de todas las personas que me han ayudado a llegar hasta aquí. A todos ustedes, mi más sentido agradecimiento.

Índice de contenidos

Declaratoria de autenticidad del asesor	ii
Declaratoria de originalidad del autor.....	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento.....	v
Índice de contenidos	vi
Índice de tablas.....	vii
Índice de figuras	x
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. METODOLOGÍA.....	9
III. RESULTADOS.....	14
IV. DISCUSIÓN.....	66
V. CONCLUSIONES	73
VI. RECOMENDACIONES	76
REFERENCIAS	77
ANEXOS.....	80

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Número de muestras utilizadas</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 2. Ensayos realizados con las muestras de suelo natural y modificado</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 3. Composición química de la SBA expresados como elementos.....</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 4. Composición química de la SBA expresados como Óxidos</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 5. Análisis granulométrico del espécimen de SBA</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 6. Clasificación del espécimen de suelo natural mediante SUCS y AASHTO</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 7. Análisis granulométrico por tamizado del espécimen de suelo natural ..</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 8. Contenido de humedad del espécimen de suelo natural.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 9. Límites de consistencia del espécimen de suelo natural.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 10. Ensayo de Proctor modificado del suelo natural</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 11. Resultados de ensayo Proctor modificado del espécimen de suelo natural</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 12. Resultados de ensayo CBR del espécimen de suelo natural</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 13. Resultados del ensayo CBR del espécimen de suelo natural</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 14. Resultados de ensayos del espécimen de suelo natural.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 15. Clasificación del suelo modificado con 5% de SBA según SUCS y AASHTO.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 16. Análisis granulométrico del suelo modificado con 5% de SBA.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 17. Contenido de humedad del suelo modificado con 5% de SBA.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 18. Límites de consistencia de la muestra de suelo modificado con 5% de SBA</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 19. Ensayo de Proctor modificado del suelo modificado con 5% de SBA ..</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 20. Resultados del Ensayo Proctor modificado del suelo modificado con 5% de SBA</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 21. Resultados de ensayo CBR del suelo modificado con 5% de SBA</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 22. Resultados de ensayo CBR del suelo modificado con 5% de SBA.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 23. Resultados de ensayos a la muestra del suelo modificado con 5% de SBA.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 24. Clasificación del suelo modificado con 15% de SBA según SUCS y AASHTO.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 25. Análisis granulométrico del suelo modificado con 15% de SBA.....</i>	<i>39</i>

<i>Tabla 26. Contenido de humedad del suelo modificado con 15% de SBA.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 27. Límites de Atterberg de la muestra de suelo modificado con 15% de SBA</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 28. Ensayo de Proctor modificado del suelo modificado con 15% de SBA</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 29. Resultados del Ensayo Proctor modificado del suelo modificado con 15% de SBA.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 30. Resultados de ensayo CBR del suelo modificado con 15% de SBA....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 31. Resultados de ensayo CBR del suelo modificado con 15% de SBA....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 32. Resultados de ensayos a la muestra del suelo modificado con 15% de SBA.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 33. Clasificación del suelo modificado con 25% de SBA según SUCS y AASHTO.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 34. Análisis granulométrico del suelo modificado con 25% de SBA.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 35. Contenido de humedad del suelo modificado con 25% de SBA.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 36. Límites de Atterberg de la muestra de suelo modificado con 25% de SBA</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 37. Ensayo de Proctor modificado del suelo modificado con 25% de SBA</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 38. Resultados del Ensayo Proctor modificado del suelo modificado con 25% de SBA</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 39. Resultados de ensayo CBR del suelo modificado con 25% de SBA....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 40. Resultados de ensayo CBR del suelo modificado con 25% de SBA....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 41. Resultados de ensayos a la muestra del suelo modificado con 25% de SBA.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 42. Comparación de clasificación SUCS y AASHTO de las muestras de suelo natural y modificado.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 43. Prueba ANOVA - tukey - comparaciones entre suelo natural y modificado.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 44. Prueba ANOVA - tukey - comparaciones entre suelo natural y modificado.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 45. Prueba tukey - comparaciones entre suelo natural y modificado</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 46. Prueba ANOVA - tukey - comparaciones entre suelo natural y modificado.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 47. Prueba ANOVA - tukey - comparaciones entre suelo natural y</i>	

modificado 65

Tabla 48. Prueba tukey - comparaciones entre suelo natural y modificado 65

Índice de figuras

<i>Figura 1. Curva granulométrica del espécimen de SBA.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2. Curva granulométrica del espécimen de suelo natural.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 3. Diagrama de fluidez del espécimen de suelo natural.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 4. Curva de compactación del espécimen de suelo natural</i>	<i>23</i>
<i>Figura 5. Energía de compactación, relación Penetración – Presión e Índice de CBR del espécimen de suelo natural.</i>	<i>25</i>
<i>Figura 6. M.D.S. vs porcentaje de C.B.R. a 2,54 mm (0,1") y 5,08 mm (0,2") de penetración.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 7. Curva granulométrica del suelo modificado con 5% de SBA</i>	<i>30</i>
<i>Figura 8. Diagrama de Fluidez del suelo modificado con 5% de SBA.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 9. Curva de compactación del suelo modificado con 5% de SBA</i>	<i>34</i>
<i>Figura 10. Energía de compactación, relación Penetración – Presión e Índice de CBR de la muestra del suelo modificado con 5% de SBA.</i>	<i>36</i>
<i>Figura 11. Densidad seca vs porcentaje de C.B.R. a 2,54 mm (0,1") y 5,08 mm (0,2") de penetración (SA-95+SBA-5)</i>	<i>37</i>
<i>Figura 12. Curva granulométrica del suelo modificado con 15% de SBA</i>	<i>40</i>
<i>Figura 13. Diagrama de Fluidez del suelo modificado con 15% de SBA.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 14. Curva de compactación del suelo modificado con 15% de SBA</i>	<i>44</i>
<i>Figura 15. Energía de compactación, relación Penetración – Presión e Índice de CBR de la muestra del suelo modificado con 15% de SBA.</i>	<i>46</i>
<i>Figura 16. Densidad seca vs porcentaje de C.B.R. a 2,54 mm (0,1") y 5,08 mm (0,2") de penetración (SA-85+SBA-15)</i>	<i>47</i>
<i>Figura 17. Curva granulométrica del suelo modificado con 25% de SBA</i>	<i>51</i>
<i>Figura 18. Diagrama de Fluidez del suelo modificado con 25% de SBA.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 19. Curva de compactación del suelo modificado con 25% de SBA</i>	<i>54</i>
<i>Figura 20. Energía de compactación, relación Penetración – Presión e Índice de CBR de la muestra del suelo modificado con 25% de SBA.</i>	<i>56</i>
<i>Figura 21. Densidad seca vs porcentaje de C.B.R. a 2,54 mm (0,1") y 5,08 mm (0,2") de penetración (SA-75+SBA-25)</i>	<i>57</i>
<i>Figura 22. Comparación de granulometría entre las muestras de suelo natural y modificado.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 23. Comparación de contenido de humedad entre las muestras de suelo</i>	

<i>natural y modificado</i>	60
<i>Figura 24. Comparación de límites de atterberg entre las muestras de suelo natural y modificado</i>	61
<i>Figura 25. Comparación de resultados de ensayo de Proctor modificado entre las muestras de suelo natural y modificado</i>	62
<i>Figura 26. Comparación del porcentaje de CBR en diferentes penetraciones al 95 y 100% entre la muestra de suelo natural y modificados</i>	63
<i>Figura 27. Ubicación de recojo de muestras Asentamiento Humano Virgen Asunta - Chachapoyas</i>	136
<i>Figura 28. Ubicación de recojo de muestras Asentamiento Humano Virgen Asunta - Chachapoyas</i>	136
<i>Figura 29. Ubicación de recojo de muestras Asentamiento Humano Virgen Asunta – Chachapoyas</i>	137
<i>Figura 30. Hundimientos y fracturas en las viviendas de la zona</i>	137
<i>Figura 31. Hundimientos y fracturas en las viviendas de la zona</i>	138
<i>..... Figura 32. Muestra de cenizas de bagazo de caña de azúcar</i>	138
<i>Figura 33. Muestra de cenizas de bagazo de caña de azúcar</i>	139
<i>Figura 34. Ensayo de análisis granulométrico SA-100</i>	139
<i>Figura 35. Ensayo de análisis granulométrico SA-75+SBA-25</i>	140
<i>Figura 36. Ensayo de análisis granulométrico SA-85+SBA-15</i>	140
<i>Figura 37. Ensayo de análisis granulométrico SA-95+SBA-5</i>	141
<i>Figura 38. Ensayo de límites de Atterberg SA-75+SBA-25</i>	141
<i>Figura 39. Ensayo de límites de Atterberg SA-85+SBA-15</i>	142
<i>Figura 40. Ensayo de límites de Atterberg SA-100</i>	142
<i>Figura 41. Ensayo de Proctor Modificado SA-100</i>	143
<i>Figura 42. Ensayo de Proctor Modificado SA-95+SBA-5</i>	143
<i>Figura 43. Ensayo de Proctor Modificado SA-75+SBA-25</i>	144
<i>Figura 44. Ensayo CBR SA-100</i>	144
<i>Figura 45. Ensayo CBR SA-100</i>	145
<i>Figura 46. Ensayo CBR SA-85+SBA-15</i>	145
<i>Figura 47. Ensayo CBR de la muestra SA-95+SBA-5</i>	146
<i>Figura 48. Ensayo CBR de la muestra SA-85+SBA-15</i>	147

Figura 49. Ensayo CBR de la muestra SA-75+SBA-25..... 148

RESUMEN

El propósito de esta investigación es respaldar el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 9, que se enfoca en “Industria, Innovación e Infraestructura”. La investigación evalúa la influencia de la adición de cenizas de bagazo de caña de azúcar en las propiedades físicas y mecánicas de los suelos arcillosos mediante ensayos de Proctor e índice de CBR, utilizando un diseño experimental de alcance explicativo. Se utilizaron diez muestras de suelo arcilloso (SA), de las cuales se agruparon en tres grupos de tres muestras y se mezclaron con cenizas de bagazo de caña de azúcar (SBA) en porcentajes del 5%, 15% y 25%. La mezcla SA-75 + SBA-25 demostró mejoras notables en las propiedades del suelo: un 92.9% de partículas finas facilita la compactación y optimiza las características geotécnicas. El índice de plasticidad registrado es del 12.1%, indicando baja plasticidad según las clasificaciones SUCS y AASHTO. Los ensayos mediante el Proctor Modificado arrojaron una densidad seca máxima de 1.630 g/cm³ y una humedad óptima del 25.5%, factores esenciales para lograr una compactación efectiva. Además, un valor de C.B.R. del 19.4% que indica una capacidad de soporte moderada, fundamental para la construcción de cimientos y estructuras.

Palabras clave: Ceniza de bagazo, estabilización de suelos, resistencia a la comprensión, suelo arcilloso.

ABSTRACT

The purpose of this research is to support Sustainable Development Goal number 9, which focuses on "Industry, Innovation and Infrastructure". The research evaluates the influence of the addition of sugarcane bagasse ash on the physical and mechanical properties of clay soils by means of Proctor and CBR index tests, using an experimental design of explanatory scope. Ten clayey soil samples (SA) were used, from which they were grouped into three groups of three samples and mixed with sugarcane bagasse ash (SBA) in percentages of 5%, 15% and 25%. The SA-75 + SBA-25 mixture showed remarkable improvements in soil properties: 92.9% of fine particles facilitates compaction and optimizes geotechnical characteristics. The plasticity index recorded is 12.1%, indicating low plasticity according to SUCS and AASHTO classifications. Modified Proctor tests yielded a maximum dry density of 1,630 g/cm³ and an optimum moisture content of 25.5%, essential factors for effective compaction. In addition, a C.B.R. value of 19.4% indicates a moderate bearing capacity, essential for the construction of foundations and structures.

Keywords: Bagasse ash, soil stabilization, compressive strength, clayey soil.

I. INTRODUCCIÓN

Optimizar los suelos es un factor muy relevante para la construcción y desempeña un papel crucial en la ejecución de los procesos constructivos de las edificaciones. Ya sea para desarrollar una mejor condición de vida o por razones de durabilidad de las estructuras, se han utilizado aditivos de fibras naturales, como las cenizas del bagazo de caña de azúcar (SBA), para optimizar las características físicas y la rigidez de los suelos arcillosos (SA). Estos residuos, generados a través de la incineración de los restos conocidos como bagazos, se consideran aditivos genuinos o naturales para el suelo debido a su capacidad para mejorar tanto las características estructurales y funcionales. Esto no solo contribuye a la reutilización de subproductos infrautilizados, sino también tiene un efecto significativo en la elaboración de estructuras, edificaciones, etc. (Millones et al. 2023).

La investigación se enmarca dentro del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 9, que posee como objetivo desarrollar las bases de la infraestructura e impulsar la perfección en la industria. Los aditivos naturales, como las SBA, refuerzan las propiedades de resistencia del suelo, lo que podría traducirse como estructuras más sólidas y duraderas. La aplicación de estos hallazgos contribuye a promover prácticas de construcción sostenibles y eficientes.

Actualmente, uno de los desafíos más significativos dentro del sector de la ingeniería es la estabilización del suelo. Este factor resulta fundamental para respaldar la durabilidad y la funcionalidad sostenible de las estructuras. En ciertas regiones, el suelo carece de la resistencia necesaria para soportar las cargas previstas (Uma et al. 2023). La consolidación del terreno es un tema a tratar de mucha relevancia en el campo la ingeniería Civil. Recientemente, los residuos agroindustriales han empezado a considerarse como aditivos beneficiosos para el tratamiento y la mejora de suelos de baja calidad y con poca resistencia (Sravan et al. 2023). Las expansiones que exhiben un comportamiento plástico suelen ser inapropiadas para las actividades de construcción y, por ende, necesitan consolidarse (James et al. 2022).

El Perú se ve fuertemente afectado anualmente por el fenómeno del Niño, que conlleva consecuencias catastróficas para la comunidad. Las urbanizaciones y las vías de comunicación son especialmente vulnerables. Esta variabilidad climática provoca la expansión de las arcillas. Por lo tanto, es crucial determinar el grado de

expansión y las características físico-químicas de este tipo de suelos (Cercado y Zavaleta 2018). Aproximadamente 5 millones de personas tienen sus viviendas en zonas propensas a deslizamientos. Esta situación tiene un impacto significativo en el bienestar de los habitantes y en la infraestructura física en la que residen (Gómez 2020).

Además, en la región de Amazonas, se han identificado zonas críticas. La mayor cantidad se encuentra en la provincia de Utcubamba, seguida por las provincias de Chachapoyas, Bagua y Rodríguez de Mendoza. Finalmente, también tenemos las provincias de Luya y Condorcanqui (Medina y Dueñas 2007). Los análisis realizados en los “suelos de Fundación” han revelado que estas arcillas tienen un potencial de expansión que va desde bajo hasta medio. El asentamiento, que representa la cantidad de hundimiento que pueden experimentar, varía entre 0,026 cm y 0,408 cm (con un máximo de 4 milímetros). Estas arcillas se encuentran en un estado de consolidación previa debido a su contenido de humedad (entre 8,8% y 11,8%) y su límite de plasticidad (entre 15 y 23%). Además, tienen la capacidad de absorber agua, lo que les permite desarrollar un potencial de expansión (Nuñez, 2018). En la ciudad de Chachapoyas, aún no se ha reconocido el problema geotécnico existente. Como consecuencia, los constructores no están considerando este riesgo al edificar las numerosas construcciones nuevas. Esta situación podría llevar al colapso de algunas de estas estructuras con el paso del tiempo (Nuñez, 2018).

En respuesta a esta situación, surgió la pregunta de investigación: ¿Cómo afecta la adición de cenizas de bagazo de caña de azúcar a las propiedades físicas y mecánicas de estos suelos?

Como justificación para emplear cenizas de fibras orgánicas con la finalidad de optimizar las propiedades de los suelos resulta relevante. Estas cenizas se obtienen a partir de la combustión de materiales como los subproductos resultantes de la incineración de los restos del bagazo de la caña, y contienen elementos químicos como calcio, magnesio, potasio, fósforo y silicio. Estos elementos pueden proporcionar beneficios, tales como el aumento del pH (potencial de hidrógeno), la capacidad de intercambio de cationes, la fertilidad y la estabilidad estructural. Además, las cenizas de fibras naturales tienen la capacidad de prevenir la erosión, compactación y salinización del suelo, al mismo tiempo que se mejora su capacidad

para retener agua y nutrientes. Por consiguiente, se sugiere emplear cenizas de fibras orgánicas como un corrector ambiental que mejora las características mecánicas, físicas, químicas y biológicas de los suelos. Por estas razones, el aprovechamiento de las cenizas de fibras naturales en los suelos puede considerarse una práctica sostenible y ecológica que aprovecha un recurso renovable y contribuye a la mitigación del cambio climático.

Con el propósito de abordar eficazmente la problemática planteada, se definió el objetivo general evaluar el efecto de la adición de cenizas de bagazo de caña de azúcar en las propiedades físicas y mecánicas de los suelos del asentamiento humano Virgen Asunta de la ciudad de Chachapoyas, mediante ensayos de granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado y C.B.R. Además, se establecieron los siguientes objetivos específicos: analizar las características y propiedades de las cenizas de bagazo de caña de azúcar, mediante un análisis de fluorescencia de rayos X y granulometría; Identificar las características y propiedades de los suelos naturales mediante ensayos de granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado y C.B.R.; evaluar las características y propiedades de los suelos después de ser modificados con cenizas de bagazo de caña de azúcar mediante ensayos de granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado y C.B.R; y realizar una comparación estadística entre los resultados obtenidos de los suelos modificados y los suelos convencionales.

Para comprender el comportamiento de las SBA como complemento en los terrenos, se presentarán a continuación algunas investigaciones que demuestran los descubrimientos, resultados y conclusiones de dichos estudios:

Como primer antecedente internacional, Sravan et al. (2023), ejecutaron una investigación donde mostraron interés por el impacto de agregar un 5%, 15% y 25% de cenizas de hojas de plátano para estabilizar los suelos que podrían utilizarse en carreteras, como material subrasante y relleno estructural. Recolectaron muestras de suelo para verificar si podían emplearse en diversos proyectos geotécnicos, sometiénolas a pruebas de compactación y resistencia. Concluyeron que estas cenizas mejoraban la rigidez y el potencial de carga del terreno. En la mayor parte de los casos, los suelos que son compactados se someten a pruebas de CBR (California Bearing Ratio) para evaluar su estabilidad. El estudio reveló que, en función de los porcentajes, el valor del CBR aumentó rápidamente al 18.74% con

un 5%, al 28.2% con un 15% y al 21.16% con un 25%, respectivamente. Esto sugiere que las LBA funcionan como aditivo para optimizar las características físicas y la rigidez de los suelos rojos, además de ser una opción más rentable y eficiente.

En un reciente estudio, Adnan et al. (2023) investigaron la aplicación de uno de los residuos más abundantes en el mundo: la SBA. Se descubrió que las SBA son ricas en sílice, un componente que, al sumarse al terreno, disminuye su deformación plástica sin perturbar sus propiedades ingenieriles. El enfoque principal del estudio fue la consolidación de los suelos a través de la manipulación de proporciones variables de cal y SBA. Después de rigurosas pruebas con un 3%, 8% y 16% de ceniza utilizada, se determinó que la proporción óptima es del 6% en peso de cal y el 16% de SBA. Esta mezcla mejora la resistencia a la compresión sin confinamiento y reduce el IP del terreno. Los datos adquiridos en los análisis de MDD y C.B.R. demostraron aumentos del 5.8%, 41.52% y 43.58%, respectivamente. Estos hallazgos indican que las SBA mejoran proporcionalmente el suelo estabilizado, ofreciendo una solución rentable y sostenible para la gestión de residuos.

Según Arya et al. (2023), los suelos pueden experimentar considerables expansiones y contracciones consecuentes a las alteraciones en su contenido de humedad. Estas características consiguen optimizarse mediante el refuerzo con diferentes materiales. Para lograrlo, es esencial aplicar métodos de estabilización y refuerzo que mejoren las propiedades geotécnicas de estos suelos. Una alternativa para consolidar los suelos en diversas áreas de la ingeniería es el uso de fibra de poliéster (FP) y ceniza de bagazo (BA). Dado que estos residuos no son amigables con el medio ambiente, es imprescindible reciclarlos y reutilizarlos. En este estudio, se emplearon proporciones variables de ceniza de bagazo (0%, 4%, 8%) y fibra de poliéster (0%, 0.15%, 0.30%, 0.60%) en dependencia al peso del suelo. Se realizaron pruebas como el LL, PL, gravedad específica (SG), prueba Standard Proctor (SP) y prueba California Bearing Ratio (CBR). Los resultados obtenidos muestran un incremento porcentual en los ensayos CBR, lo que sugiere un progreso en la rigidez del suelo.

En el ámbito nacional, Tingal (2023) realizó un estudio en el que mejoró las características de los SA mediante la adición de SBA. El enfoque principal era

evaluar si incorporar estas cenizas podría potenciar las cualidades de los suelos arcillosos. Los resultados del laboratorio indicaron un avance en las características positivas, tanto físicas como mecánicas, al añadir cenizas de residuos de caña (SBA). El suelo original mostró un valor de CBR del 4.140%, mientras que con la adición de SBA, el valor del CBR se elevó al 9.150% en el ensayo de Proctor modificado. Además, los suelos naturales presentaban una M.D.S. de 1.305 g/cm³ y un O.C.H. del 23.740%. En comparación, la mezcla de suelo y cenizas de SBA manifestó una M.D.S. de 1.268 g/cm³ y un contenido O.C.H. del 33.280%. Estos valores se lograron con una combinación del 20% de SBA.

De igual manera, Hinostroza (2020), llevó a cabo un estudio con el objetivo principal de investigar cómo las SCA y la SBA contribuyen a mejorar la subrasante en la Av. 13 de Julio. Para lo cual, se ejecutaron análisis mediante pruebas de geotecnia, incluyendo el ensayo de compactación de Proctor Modificado, la evaluación de la difusión y el índice CBR. Durante el estudio, se llevaron a cabo dos series de comprobaciones con diferentes proporciones: una utilizando SCA en concentraciones del 0.5%, 1%, 1.5%, 3%, 5% y 8%, y la otra con SBA en concentraciones del 25%, 35% y 45%. Los porcentajes que mostraron un mejor desempeño en los ensayos fueron un 3% para las SCA y un 35% para las SBA. Estas dosis se consideraron las más adecuadas para el avance de la investigación. En la investigación realizada Hoyle y Rodriguez (2019), sobre la consolidación de terrenos, se investigó la utilización de fibras de musa paradisiaca (FMP) y cenizas de las hojas del árbol de eucalipto (SHE). Los investigadores llevaron a cabo una serie de ensayos para recopilar datos, entre estos ensayos están los análisis granulométricos, límites de atterberg, el ensayo Proctor modificado y el índice CBR. Los datos obtenidos indicaron que la proporción más eficaz consistía en agregar un 10% de FMP y SHE. Esta combinación resultó en una O.C.H. del 10.9% y una M.D.S. de 2.00 gr/cm³. Además, los valores del índice CBR aumentaron al 11.2%, lo que representa un incremento del 5% en comparación con el CBR original. Estos hallazgos sugieren que las FMP y las SHE podrían ser materiales eficientes para la consolidación del terreno.

En el estudio realizado por Mendez y Valverde (2021), sobre la mejora de la rigidez del adobe, se analizó el efecto de agregar fibras de yute a suelos arcillosos. Durante la investigación, se llevaron a cabo análisis granulométricos y se establecieron los

límites de plasticidad de los suelos extraídos de canteras urbanas. Los ensayos se realizaron utilizando bloques con diferentes porcentajes de yute: 0.25%, 0.50% y 0.75%. Los datos obtenidos acerca de las resistencias a la compresión tienen valores de 9.70 kg/cm², 10.25 kg/cm² y 12.30 kg/cm², respectivamente. Estos hallazgos sugieren que al incorporar un 0.75% de fibras de yute, se observa un incremento significativo en la fortaleza de los adobes.

Desde una perspectiva teórica, sabemos que las arcillas se forman a partir de la desintegración química de las rocas. Estos suelos exhiben una notable plasticidad en un amplio nivel de contenido de humedad. Cuando estas arcillas se secan, se tornan rígidos y presentan una permeabilidad excesivamente baja. Por otro lado, los fragmentos granulares de rocas y minerales, que carecen de cohesión y tienen un tamaño inferior a 2 milímetros, se clasifican como arenas. Estas propiedades únicas permiten su categorización en diversas clases (Terzaghi y Peck 1978). Según las escalas de clasificación, un suelo que contiene un 35% de arena, un 35% de limo y un 30% de arcilla se denomina franco arcilloso arenoso (Ciancaglini 2016). Para consolidar los terrenos, se lleva a cabo un procedimiento que modifica las características físico-mecánicas del suelo, otorgándole nuevas propiedades estructurales. Este procedimiento tiene como finalidad evitar el daño o desgaste de las estructuras durante su período de uso. Para lograr este propósito, se recomienda la incorporación o el uso de sustancias químicas, ya sean naturales o sintéticas (Daz 2014). En un sentido más amplio, la estabilización se refiere a los métodos utilizados para modificar las características del suelo con la finalidad de optimizar su rendimiento técnico. El propósito de la estabilización es mejorar la calidad del suelo para que sea más adecuado en proyectos de construcción. Este proceso de mejora puede ser de naturaleza mecánica, química o biológica (Sraavan et al. 2023).

La productividad mundial de cañaduz (caña de azúcar) alcanza alrededor de 182,9 millones de toneladas al año, con países líderes en producción como Brasil, Tailandia, China y Rusia, Perú se encuentra en la posición 23 en la producción global de caña de azúcar (MIDAGRI 2022).

Gracias a su ubicación geográfica, el Perú cuenta con uno de los rendimientos más altos en la recolección de caña de azúcar. En 2021, la producción alcanzó aproximadamente los 9,8 millones de toneladas (MIDAGRI 2022). En Perú, la caña

es utilizada para la invención de diferentes productos, que incluyen alcohol, melaza, azúcar y bagazo. Este último se emplea comúnmente en calderas para generar energía eléctrica, aunque también se desecha en muchas ocasiones (COAZUCAR 2021). No obstante, el problema reside en que las cenizas resultantes del uso del bagazo en las calderas no se aprovechan de manera adecuada. Por esta razón, se están explorando alternativas para el uso de esta fibra natural (Tingal 2023).

Según el MIDAGRI (2022), En los últimos nueve años, la obtención de bagazo en Perú ha rondado las 3 millones de toneladas anuales. Dado que el bagazo es un subproducto industrial y, al mismo tiempo, una fibra natural, resulta crucial investigar alternativas para aprovechar sus propiedades.

Este residuo, generado por la quema durante y después de la cosecha de caña de azúcar, ha tenido un impacto ambiental considerable (Lagos y Castro 2019). Para abordar esta cuestión, se implementó la estrategia conocida como “cosecha sostenible”. Esta estrategia se complementó con un proceso en el cual los desechos se comprimieron en fardos y posteriormente se utilizaron para el compostaje, promoviendo así un ciclo de producción más amigable con el entorno natural (Sol de Laredo 2017).

Las SBA están compuestas principalmente por sílice (SiO_2), óxido de aluminio (Al_2O_3), óxido de hierro (Fe_2O_3) y óxido de calcio (CaO). Para lograr una reacción uniforme, es crucial controlar el tamaño de las partículas mediante tamices en un laboratorio de suelos. Estas cenizas tienen un rol esencial, ya sea como adición en la producción de diferentes materiales compuestos o como agentes estabilizadores, según se plantea en este estudio. En la actualidad, estas cenizas encuentran aplicaciones en el sector de la construcción. Investigaciones recientes proponen su uso en la producción de concretos, plásticos, caucho o como sustituto parcial del cemento y/o la cal (Agunsoye y Aigbodion 2013).

Dado al proceso productivo mundial de la caña de azúcar, se están realizando nuevos estudios constantes para descubrir variantes de uso para disminuir el impacto ambiental de otros materiales. En gran totalidad estas aplicaciones se encuentran en el sector construcción, donde se están fabricando productos con propiedades mejoradas y sostenibles (Maradei et al. 2019). Como se ha mencionado, el bagazo, con sus fibras y cenizas, tiene la capacidad de reemplazar parcialmente a los conglomerantes que se aplican con frecuencia en la

consolidación de terrenos, como el concreto y la caliza. Sin embargo, estos últimos pueden representar un riesgo ambiental. Al emplear el bagazo como residuo industrial aprovechable y disminuir los gastos de construcción mediante el cambio fraccional de la cal, fomentamos un enfoque más sostenible (Dang et al. 2016). El contenido de dióxido de silicio en las cenizas, que es del 48.7%, indica que puede actuar como una puzolana cuando se añade al concreto, mortero o como potenciador para optimizar las características del suelo. Por lo consiguiente, la mayoría de sus aplicaciones están orientadas hacia el fortalecimiento de estos materiales (Sravan et al. 2023).

Se plantea como hipótesis que la incorporación de cenizas de bagazo de caña de azúcar en porcentajes del 5 %, 15 % y 25 % respecto al peso del suelo optimiza las propiedades físicas y mecánicas de los suelos arcillosos, volviéndolos aptos para la edificación de cimientos y estructuras.

II. METODOLOGÍA

Se efectuó un estudio experimental básica, para llevar a cabo el propósito de investigar cómo las cenizas de bagazo (SBA) afectan las características geotécnicas de los suelos arcillosos (SA) en el asentamiento humano Virgen Asunta, ubicado en Chachapoyas.

El estudio se concretó bajo un enfoque cuantitativo, empleando métodos y técnicas de análisis, como ensayos de laboratorio y análisis estadísticos. Estos procedimientos facilitaron la recopilación de datos con el propósito de evaluar de forma objetiva cómo los aditivos naturales mejoran las propiedades de los suelos. Los resultados fueron cuantificables y reproducibles, lo que permitió una comprensión detallada del fenómeno investigado y su uso en proyectos de construcción e ingeniería civil.

Concordando con el contexto del presente estudio, se seleccionaron cuatro grupos aleatorios para llevar a cabo un experimento. El Grupo 1 no recibió ninguna adición de cenizas de bagazo (SBA). Por otro lado, el Grupo 2 se benefició de una adición del 5% de SBA, mientras que el Grupo 3 y el Grupo 4 recibieron una adición del 15% y 25% de SBA, respectivamente. Cada grupo fue sometido a un tratamiento experimental (X). El Tratamiento X1 implicó una adición del 5% de SBA, el Tratamiento X2 una adición del 15% de SBA, y finalmente, el Tratamiento X3 una adición del 25% de SBA. Posteriormente, se realizó una medición del efecto sobre la variable independiente (O). El Análisis O1 examinó las propiedades físico-mecánicas de los terrenos arcillosos sin SBA. El Análisis O2 estudió las mismas propiedades, pero con un 5% de SBA. De manera similar, el Análisis O3 y el Análisis O4 se realizaron con un 15% y 25% de SBA, respectivamente. A través de este riguroso proceso experimental, se buscó entender mejor el impacto de la adición de SBA en las propiedades de los terrenos arcillosos.

Como variable dependiente, se consideraron Propiedades mecánicas y físicas de los suelos arcillosos naturales y modificados. Para explicarlo mediante términos generales, la estabilización se refiere a los procedimientos empleados para modificar las características de los suelos arcillosos con el fin de mejorar su rendimiento técnico. El objetivo principal de la estabilización es mejorar las cualidades del suelo (Sraavan et al. 2023). Las propiedades de los SA pueden mejorarse mediante la incorporación de SBA.

Se consideró como variable independiente la inclusión de las cenizas de bagazo (SBA), que son subproductos generados en las calderas de las industrias azucareras cuando se utilizan como combustible renovable. Las cenizas están constituidas por altos valores de sílice, lo que les confiere un potencial significativo para su uso en la optimización de los terrenos con la finalidad de potenciar sus propiedades (Adnan et al. 2023). Esto significa que pueden contribuir a fortalecer estos materiales, lo que justifica la mayoría de sus aplicaciones (Sravan et al. 2023). La mejora en la calidad de los suelos se debe al proceso de incorporación de las cenizas de bagazo (SBA), que tiene un impacto positivo en sus propiedades físicas y mecánicas.

Este estudio se centró en el suelo arcilloso extraído del asentamiento humano Virgen Asunta en la ciudad de Chachapoyas. A dicho suelo se le añadió una proporción específica de SBA en proporciones del 5%, 15% y 25%. Las cenizas de bagazo (SBA), que contienen sílice y otros componentes químicos, tuvieron un papel fundamental en la mejora de las características geotécnicas del suelo.

La empresa azucarera Agroindustrial Laredo S.A.A. donó las cenizas de bagazo (SBA). Posteriormente, se incineraron en las calderas de la misma empresa una vez que el bagazo de caña se convirtió en subproducto. Estos residuos, que a menudo se desechan, se recogieron después de ser transformados en cenizas de SBA. Posteriormente, la muestra se envió al laboratorio GEOTEST en la ciudad de Chachapoyas para realizar un ensayo granulométrico y al laboratorio Slab Perú, ubicado en la ciudad de Lima, para llevar a cabo el ensayo de XRF.

Para este estudio, fue escogida una muestra no probabilística de conveniencia, compuesta por muestras de suelo a las que se añadieron diferentes proporciones de SBA (5%, 15% y 25%), como se detalla en la tabla 1. Es fundamental señalar que se realizaron pruebas para evaluar las características geotécnicas de los SA. La cantidad de suelo se determinó siguiendo las especificaciones de la R.D. N.º 18-2016-MTC/14, que describe los procesos para llevar a cabo en cada análisis de laboratorio realizado.

Tabla 1. Número de muestras utilizadas

N.º	Tipo de muestra	Código	Muestras a utilizar
1	SA	T01	1
2	SA-95 + 5 SBA	T02	3

3	SA-85 + 15 SBA	T03	3
4	SA-75 + 25 SBA	T04	3
TOTAL			10

Fuente: Elaboración propia.

En esta investigación, se empleó un método de muestreo no probabilístico. Esta decisión se justificó debido a la necesidad de seleccionar muestras específicas en función de cada porcentaje de cenizas incorporadas, con el objetivo de evitar sesgos en las mezclas para cada análisis.

La unidad de análisis del proyecto incluyó muestras de suelo arenoso arcilloso, a las que se añadieron tres porcentajes específicos de cenizas (5%, 15% y 25%) para llevar a cabo los ensayos físicos y mecánicos. Además de estas muestras, se incluyó una muestra de control.

Durante los ensayos de laboratorio, se presencié directamente la recaudación de los resultados se consumió mediante la observación directa. Las pruebas de laboratorio que se consideraron en este estudio se precisan en el apartado de la tabla 2.

Tabla 2. Ensayos realizados con las muestras de suelo natural y modificado

Descripción		Ensayo	Normas
Muestra de SA-100%	Propiedades físicas	LL	ASTM D 4318 / MTC E 110
		LP	ASTM D4318-17 / MTC E 111
		Granulometría	ASTM D422 - D2216 - D427 / MTC E 107
	Propiedades mecánicas	Clasificación de suelo SUCS y AASHTO	NTP 339.134 ASTM D3282-15
		Proctor modificado	ASTM D1557 / MTC E 115
		C.B.R.	ASTM D1883 / MTC E 132
Muestras de suelos modificados	Propiedades físicas	LL	ASTM D 4318 / MTC E 110
		LP	ASTM D4318-17 / MTC E 111
		Granulometría	ASTM D422 - D2216 - D427 / MTC E 107
	Propiedades mecánicas	Clasificación de suelo SUCS y AASHTO	NTP 339.134 ASTM D3282-15
		Proctor modificado	ASTM D1557 / MTC E 115

Dentro del contexto del presente trabajo de investigación, empleamos el método de la observación directa para analizar los resultados derivados de las pruebas ejecutadas en los laboratorios. En particular, analizamos los datos del índice de CBR y los datos de la prueba de Proctor modificado. El objetivo era inspeccionar estos datos de manera directa para recopilar información relevante.

Durante la investigación, se utilizaron formularios para documentar los datos recopilados, los cuales también sirvieron como guías de observación. Las normas técnicas actuales recomiendan el uso de estos formatos en cada etapa de la investigación. Estos formularios serán utilizados para analizar la información derivada de los ensayos realizados.

Los datos obtenidos gracias a las pruebas de laboratorio fueron documentadas, abarcando tanto las características físicas y la rigidez de los SA, en una hoja de cálculo del software Excel. Luego, aplicamos estadística descriptiva para crear tablas y gráficos que facilitaran la comprensión de los resultados. Esta técnica nos permitió explorar los datos relacionados con la variable dependiente. Los hallazgos de estas pruebas proporcionaron evidencia estadística sobre la influencia de la variable independiente (la aplicación de cenizas) en las propiedades del suelo (variable dependiente).

Para analizar los datos, primero realizamos una evaluación comparativa descriptiva. Luego, validamos el rendimiento de los suelos en cada una de las pruebas de laboratorio, mediante las pruebas ANOVA y Tukey para evaluar si la optimización de los suelos estaba ligados a cambios significativos, según estas pruebas.

De acuerdo al contexto de la investigación, adoptamos un enfoque consciente para asegurar la autenticidad del estudio. Seguimos rigurosamente los principios íntegros constituidos en el Código de Ética de la UCV y en la RV de Investigación (RVI N.º062-2023-VI-UCV). Estos principios incluyen el respeto hacia los demás, la protección del medio ambiente, la justicia y el trato adecuado a los investigadores. Además, se reconocieron y se respetaron los derechos de autor de otros autores, citándolos correctamente según las normas aplicables. La precisión en la investigación científica es crucial para asegurar la autenticidad de los resultados adquiridos en los experimentos y su interpretación precisa, lo cual es esencial para

el éxito de la investigación.

III. RESULTADOS

En esta sección de la investigación, se presentaron los datos obtenidos a lo largo del estudio para la optimización de los suelos a través de las SBA. Este capítulo se organizó según el orden de los objetivos específicos que anteriormente se explicaron y detallaron, esta información se resumió mediante tablas y gráficos para permitir la interpretación de las variables comprometidas en el progreso del presente estudio.

3.1. Propiedades físicas y químicas de la SBA

Recolección de muestra

El espécimen de SBA fue donado por la azucarera Agroindustrial Laredo S.A.A. Esta empresa está ubicada en el distrito de Laredo, provincia de Trujillo. Recolectamos dicho espécimen en un costal que contenía 50 kilogramos de material, tal como se muestra en el panel topográfico ubicado en el anexo 12. Posteriormente, trasladamos dos muestras de 100 gramos de ceniza al laboratorio Slab Perú, situado en la ciudad de Lima, para llevar a cabo el ensayo de fluorescencia de rayos X (XRF). Se considera las SBA provenientes de las calderas de la empresa mencionada, incineradas entre los 400 y 800 °C sin un uso posterior, demostraron estar libres de contaminantes, sin residuos de bagazo ni arena.

Características químicas de la SBA

Se realizó un ensayo XRF a las SBA utilizando el equipo SHIMADZU EDX. Este ensayo tuvo una detección de elementos del 0.001% y fue ejecutado por el laboratorio Slab Perú. El objetivo era determinar la composición química y mostrar los porcentajes de cada uno de los elementos que interactúan al mezclarse con los suelos arcillosos. En la tabla 3 se exhibe la composición química de las SBA expresadas en términos de elementos.

Tabla 3. Composición química de la SBA expresados como elementos

Composición Química	Unidad	LCM	Resultados
Silicio, Si	%	0.001	39.751
Hierro, Fe	%	0.001	16.604
Calcio, Ca	%	0.001	13.741
Potasio, K	%	0.001	12.067

Aluminio, Al	%	0.001	4.248
Titanio, Ti	%	0.001	1.667
Fósforo, P	%	0.001	1.502
Azufre, S	%	0.001	0.615
Manganeso, Mn	%	0.001	0.416
Zirconio, Zr	%	0.001	0.284
Estroncio, Sr	%	0.001	0.249
Cloro, Cl	%	0.001	0.188
Zinc, Zn	%	0.001	0.116
Vanadio, V	%	0.001	0.084
Rubidio, Rb	%	0.001	0.063
Cobre, Cu	%	0.001	0.042
Cromo, Cr	%	0.001	0.029
Iridio, Ir	%	0.001	0.023
Itrio, Y	%	0.001	0.016
Plomo, Pb	%	0.001	0.007
Torio, Th	%	0.001	0.006
Perdidas por Calcinación	%	0.001	8.280

Tabla 4. Composición química de la SBA expresados como Óxidos

Composición Química	Unidad	LCM	Resultados
Ox. de Silicio, SiO₂	%	0.001	53.981
Ox. de Hierro, Fe₂O₃	%	0.001	10.452
Ox. de Calcio, CaO	%	0.001	9.334
Ox. de Potasio, K₂O	%	0.001	7.648
Ox. de Aluminio, Al₂O₃	%	0.001	5.439
Ox. de Fósforo, P₂O₅	%	0.001	1.9
Ox. de Titanio, TiO₂	%	0.001	1.281
Ox. de Azufre, SO₃	%	0.001	0.846
Ox. de Manganeso, MnO	%	0.001	0.239
Dióxido de Zirconio, ZrO₂	%	0.001	0.151
Ox. de Estroncio, SrO	%	0.001	0.116

Cloro, Cl	%	0.001	0.103
Ox. de Vanadio, V₂O₅	%	0.001	0.069
Ox. de Zinc, ZnO	%	0.001	0.058
Ox. de Rubidio, Rb₂O	%	0.001	0.028
Ox. de Cobre, CuO	%	0.001	0.021
Ox. de Cromo, Cr₂O₃	%	0.001	0.02
Ox. de Iridio, Ir₂O₃	%	0.001	0.01
Ox. de Itrio, Ir₂O₃	%	0.001	0.007
Ox. de Plomo, PbO	%	0.001	0.003
Ox. de Torio, ThO₂	%	0.001	0.003
Perdidas por Calcinación	%	0.001	8.280

Según los resultados del laboratorio mostrados en las tablas 3 y 4, los óxidos de silicio, hierro, calcio, potasio y aluminio son los elementos con mayor porcentaje de presencia en las SBA. Estos elementos desempeñan un factor determinante en la optimización de las propiedades de los suelos arcillosos. En particular, contribuyen para ampliar la rigidez, la resistencia a las cargas y la durabilidad de los suelos arcillosos, así como a mejorar la filtración y el drenaje. En resumen, su presencia enriquece la calidad del suelo y, por lo tanto, contribuye a la longevidad de las estructuras construidas sobre él.

Características físicas de la de la SBA

El ensayo de análisis granulométrico se llevó a cabo de acuerdo a las indicaciones de las normativas ASTM D6913 - (MTC E-107), tal como se detalla en los resultados proporcionados por el laboratorio GEOTEST (anexo 7). En la tabla 5, se incluyen los porcentajes que pasaron a través del tamizado durante el ensayo de granulometría.

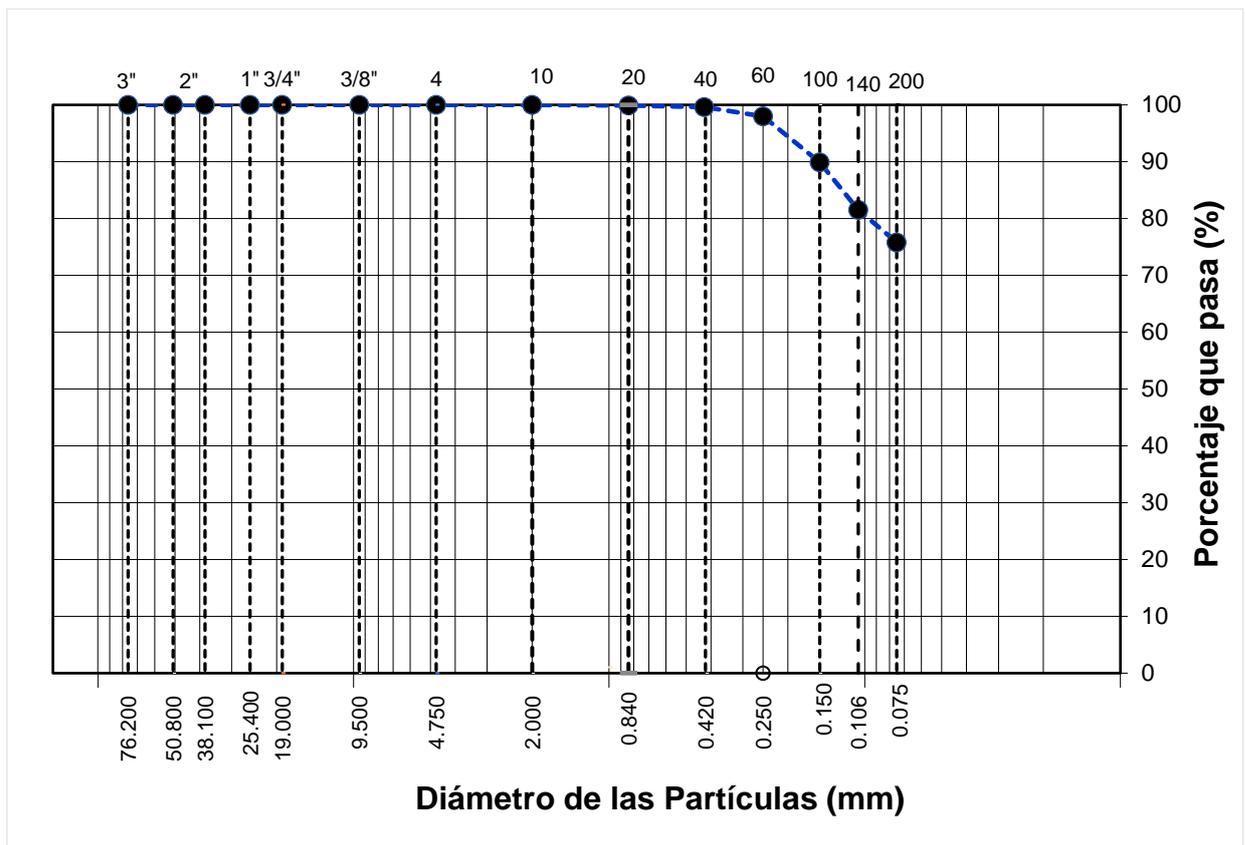
Tabla 5. Análisis granulométrico del espécimen de SBA

Tamiz	Abertura	Porcentaje que pasa (%)
3"	76.200	100.00
2"	50.800	100.00
1 ½"	38.100	100.00

1"	25.400	100.00
3/4"	19.000	100.00
3/8"	9.500	100.00
N° 4	4.750	100.00
N°10	2.000	100.00
N°20	0.840	99.9
N°40	0.425	99.6
N° 60	0.250	98.0
N° 100	0.150	89.9
N° 140	0.106	81.5
N° 200	0.075	75.8

Fuente: Elaboración propia

Figura 1. Curva granulométrica del espécimen de SBA



En la Figura 1, se percibe la curva granulométrica del espécimen de SBA, junto a las proporciones que atraviesan y se acumulan al utilizar los distintos tamices, que también se representan en el gráfico. A partir de estos porcentajes, podemos concluir que el tamaño de las partículas es el adecuado para activar

su propiedad de floculación, lo que ayuda a estabilizar el suelo y a influir en su estructura y propiedades.

3.2. Características físicas y mecánicas del suelo natural

Recolección de muestras

Se recolectó una calicata, la cual se dividió en diez muestras de suelo arcilloso provenientes del asentamiento Virgen Asunta, ubicado en la ciudad de Chachapoyas (Anexos 3 y 4). Este proceso tuvo lugar el 29 de abril del presente año. Posteriormente, se trasladó el material al laboratorio GEOTEST, donde se recepcionó ese mismo día para comenzar con los ensayos de suelos necesarios para la investigación.

Análisis granulométrico

El ensayo de análisis granulométrico se llevó a cabo de acuerdo a las indicaciones de las normativas ASTM D6913 - (MTC E-107), tal como se detalla en los resultados proporcionados por el laboratorio GEOTEST (anexo 7). En la tabla 6, se presenta la categorización del espécimen de suelo natural según la normativa SUCS y la normativa AASHTO, en dichos resultados se exhiben como resultado un suelo limo arcilloso de alta maleabilidad, con un color marrón claro y mechas rojizas de consideración mediana. Además, en la tabla 7 se incluyen los porcentajes que pasaron a través del tamizado durante el ensayo de granulometría.

Tabla 6. Clasificación del espécimen de suelo natural mediante SUCS y AASHTO

Muestra	Descripción	Clasificación		Análisis Granulométrico	
		SUCS	AASHTO	%Grava	%Arena
SA-100	Limos arcillosos de alta plasticidad, con 0.2% de grava fina; 6.9% de arena finas. 92.9% de material menor que el tamiz N.º 200 (0,074mm), de alta maleabilidad de color marrón claro con manchas rojizas. de consistencia mediano.	MH	A-7-5 (32)	0.2%	99.8%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7. Análisis granulométrico por tamizado del espécimen de suelo natural

Tamiz	Abertura	P. retenido (g)	Ret. Parcial (%)	Ret. Acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
3"	76.200	-	-	-	-
2 1/2"	63.500	-	-	-	100.0
2"	50.800	-	-	-	100.0
1 1/2"	38.100	-	-	-	100.0
1"	25.400	-	-	-	100.0
3/4"	19.050	-	-	-	100.0
1/2"	12.700	-	-	-	100.0
3/8"	9.525	-	-	-	100.0
1/4"	6.350	-	-	-	100.0
N° 4	4.760	1.0	0.2	0.2	99.8
N° 6	3.360	2.4	0.5	0.7	99.3
N° 8	2.380	3.7	0.7	1.4	98.6
N°10	2.000	2.3	0.5	1.9	98.1
N°16	1.190	4.8	1.0	2.9	97.1
N°20	0.840	2.7	0.5	3.4	96.6
N°30	0.590	4.6	0.9	4.3	95.7
N°40	0.426	2.6	0.5	4.8	95.2
N°50	0.297	1.8	0.4	5.2	94.8
N° 80	0.177	4.5	0.9	6.1	93.9
N° 100	0.149	1.3	0.3	6.4	93.6
N° 200	0.074	3.7	0.7	7.1	92.9
N° 200	-	465.2	92.9	100.0	-

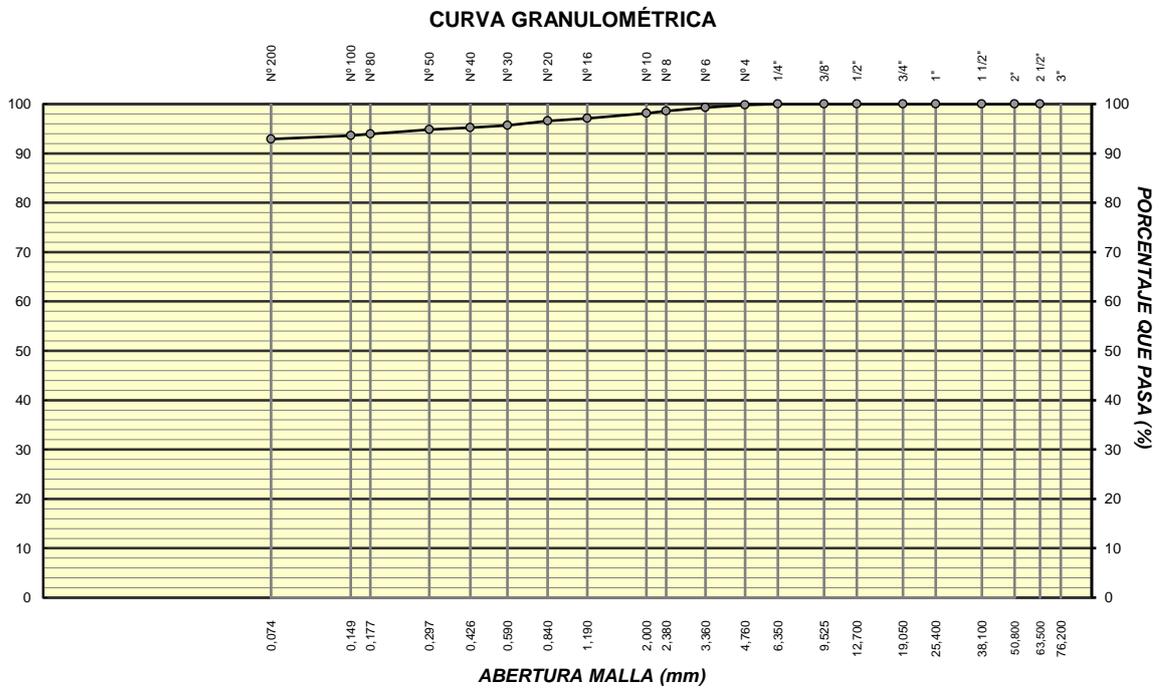
Fuente: Elaboración Propia

Se presentó la Tabla 7 donde se registran los porcentajes de los materiales presentes en el espécimen de suelo natural. Se observa un 0.2% de grava fina, un 6.9% de arenas finas y un 92.9% de material con tamaño menor al tamiz N.º 200 (0.074 mm).

En la figura 2, se exhibe la curva granulométrica del espécimen del suelo

arcilloso natural, junto con el porcentaje que pasa al utilizar diferentes tamices en el laboratorio. Estos tamices abarcan desde la malla N° 200 hasta la malla de 3 pulgadas.

Figura 2. Curva granulométrica del espécimen de suelo natural



Límites de Atterberg

Para conocer los límites de consistencia se realizó el ensayo de Atterberg se llevaron a cabo de acuerdo con la norma NTP 339.129 (99), tal como se especifica en los resultados proporcionados por el laboratorio GEOTEST (anexo 8). Los datos obtenidos en esta prueba se presentan en la tabla 8 detallando el óptimo contenido de humedad del espécimen de suelo natural sin adiciones de SBA.

Tabla 8. Contenido de humedad del espécimen de suelo natural

Descripción	LL			LP	
	1	2	3	1	2
Ensayo N°	1	2	3	1	2
Capsula N°	77	78	79	8	9
P. Cápsula + suelo húmedo, g	39.56	40.12	41.25	21.15	20.85
P. Cápsula + suelo seco, g	33.11	33.63	34.43	18.90	18.69
P. agua, g	6.45	6.49	6.82	2.25	2.16

P. de la capsula, g	22.57	22.59	22.56	11.58	11.59
P. suelo seco, g	10.54	11.04	11.87	7.32	7.10
Contenido de humedad %	61.20	58.79	57.46	30.74	30.42
Número de golpes	17	27	33	-	-

Fuente: Elaboración Propia

Los datos obtenidos a través del ensayo de límites de consistencia se detallan a continuación en la tabla 9. Estos valores indican lo siguiente:

- Índice de Plasticidad (IP): El suelo tiene un IP del 28.5%, lo que refleja su capacidad para cambiar de estado semisólido a plástico.
- Límite Plástico (LP): El LP es del 30.6%, marcando el óptimo contenido de humedad (MC) en el que los suelos transitan de una condición semisólido a uno plástico.
- Límite Líquido (LL): El LL es del 59.1%, indicando el punto en el que el suelo modifica su condición plástica a semilíquido.

Estos resultados demuestran cómo la humedad afecta las propiedades del suelo, influyendo en su estructura y capacidad de deformación.

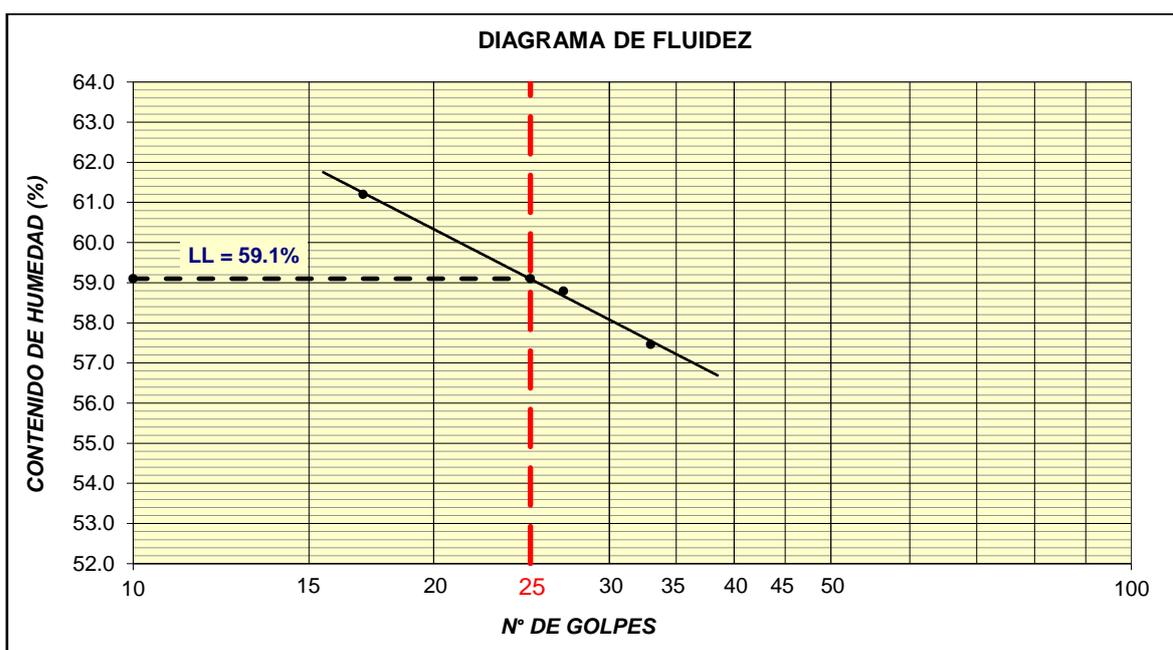
Tabla 9. Límites de consistencia del espécimen de suelo natural

Muestra	Límites de Atterberg		
	LL (%)	LP (%)	IP (%)
SA-100	59.1	30.6	28.5

Fuente: Elaboración propia

Resulta esencial destacar que estos ensayos fueron cruciales para caracterizar rápidamente el suelo, demostrando que se tenía una clasificación correcta del suelo natural según las normativas SUCS y AASHTO. El suelo se clasificó como MH, lo que significa que es un suelo limoso o arenoso fino con alta plasticidad. En resumen, estos suelos tienden a deformarse significativamente sin romperse y tienen la propiedad de detención de líquido considerable, como se evidencia en los resultados de la tabla 9. Además, mediante el gráfico de la figura 3 se exhibe el diagrama de fluidez, que ilustra lo que conocemos como la relación entre la consistencia del suelo natural y su MH, proporcionando una idea aproximada de la resistencia del terreno o suelo bajo estudio y demostrando cómo los límites de consistencia afectan la resistencia y condición del suelo arcilloso de acuerdo a su contenido de humedad.

Figura 3. Diagrama de fluidez del espécimen de suelo natural



Proctor modificado

Una vez realizada la prueba de Proctor modificado, de acuerdo con las indicaciones de su procedimiento, en el cual se emplea energía modificada, se llevó a cabo conforme a las normativas ASTM D1557 y NTP 339.141. En relación al espécimen de suelo natural (SA-100%), se presentan las tablas 10 y 11, donde se puede apreciar el porcentaje del contenido óptimo de humedad (O.C.H.) y la densidad seca máxima (M.D.S.).

Tabla 10. Ensayo de Proctor modificado del suelo natural

ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO PARA CBR ASTM D1883 – NTP 339.145					
		Vol. Molde	943.0	cm ³	
		P. Molde	1974.0	gr	
NUMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4
P. Suelo Húmedo + Molde	gr.	3558.0	3872.0	3895.0	3752.0
P. Suelo Húmedo	gr.	1584.0	1898.0	1921.0	1778.0
Densidad de Suelo Húmedo	g/cm ³	1.680	2.013	2.037	1.885
Tarro N°		100	102	105	108
P. Suelo Húmedo + tarro	gr.	356.2	312.8	327.8	330.4
P. Suelo Seco + tarro	gr.	300.3	258.9	267.2	265.5
P. del agua	gr.	55.9	53.9	60.6	64.9
P. del tarro	gr.	38.9	38.9	38.9	38.9
P. del suelo seco	gr.	261.5	220.1	228.4	226.7
Contenido de Humedad	%	21.38	24.49	26.54	28.63
Promedio de Humedad	%	21.4	24.5	26.5	28.6

Densidad del suelo seco	g/cm ³	1.384	1.617	1.610	1.466
Cantidad de agua añadida	cm ³	0	120	270	390
M.D.S.: 1.629 gr/cm³				O.C.H.: 25.3%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Resultados de ensayo Proctor modificado del espécimen de suelo natural

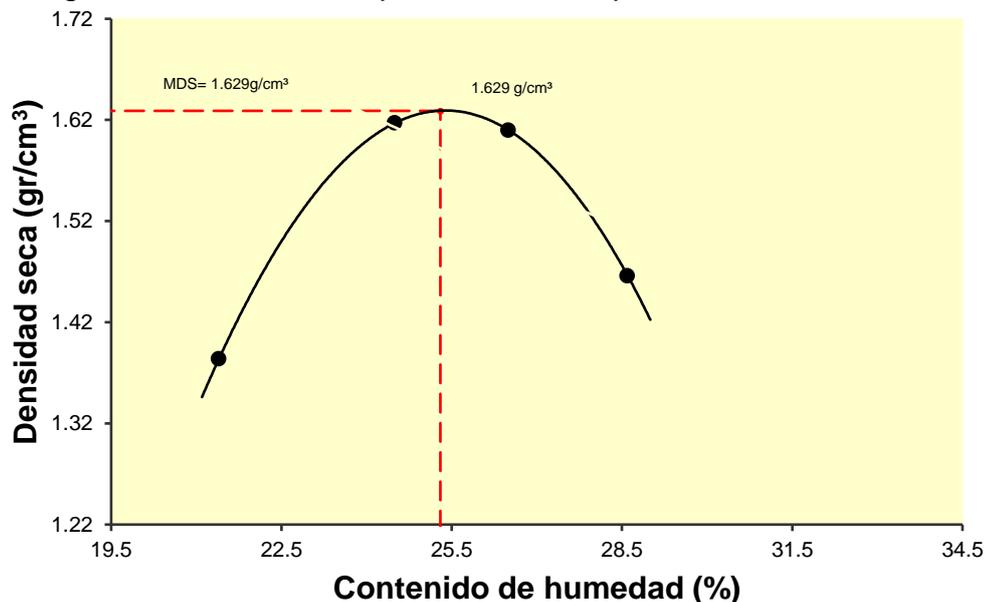
Muestra	Proctor modificado		
	Humedad Óptima (%)	Densidad seca máxima (g/cm ³)	Método compactación
SA-100	25.3	1.629	B

Fuente: Elaboración propia

La humedad óptima (MH) alude a la proporción de agua necesaria para que cada suelo de acuerdo a su ubicación geográfica alcance su M.D.S. Todos con una energía de compactación específica. Según los datos obtenidos en el ensayo ejecutado con el espécimen de suelo natural, se determinó que el 25.3% era la proporción de líquido necesario para obtener la máxima compactación, utilizando la energía aplicada en la prueba de Proctor modificado. Además, la densidad máxima que el suelo podía alcanzar al ser compactado con un 25.3% de humedad era de 1.629 g/cm³.

En la Figura 4, se presentó una gráfica con la curva que muestra el vínculo entre el O.C.H. y la M.D.S. del espécimen de suelo, después de llevar a cabo la prueba de C.B.R. con el método de compactación "B". Posteriormente, se demarcó y se determinó cuál era el O.C.H. y la M.D.S. para dicho espécimen.

Figura 4. Curva de compactación del espécimen de suelo natural



California Bearing Ratio (C.B.R.)

Una vez realizada la prueba de C.B.R., la que se llevó a cabo de acuerdo con las indicaciones de su procedimiento conforme a las normativas ASTM D1883 y NTP 339.145, los resultados entregados por el laboratorio de suelos GEOTEST del espécimen del suelo natural se detallan en las tablas 12 y 13.

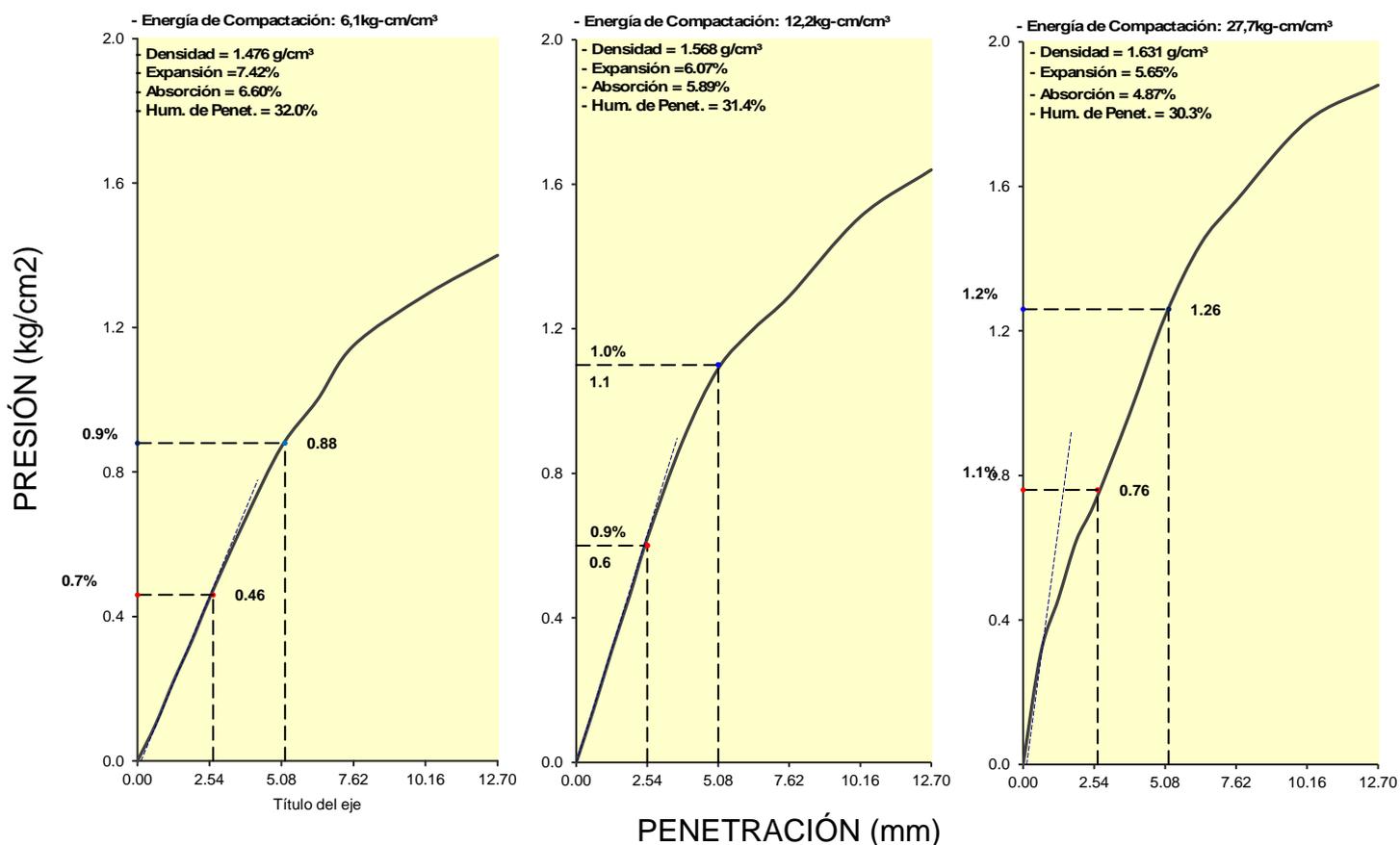
Tabla 12. Resultados de ensayo CBR del espécimen de suelo natural

ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA ASTM D1557 – NTP 339.141												
CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (C.B.R.)												
Molde N.º	1			2			3					
Número de capas	5			5			5					
Número de golpes	56			25			12					
Condición de la muestra	Sin embeber		Embebido	Sin embeber		Embebido	Sin embeber		Embebido			
P. suelo húmedo + molde (gr.)	9216.0		9383.0	9098.0		9294.0	8965.0		9172.0			
P. molde (gr.)	4912.0		4912.0	4912.0		4912.0	4912.0		4912.0			
P. suelo húmedo (gr.)	4304.0		4471.0	4178.0		4374.0	3934.0		4141.0			
Vol. del espécimen (cm ³)	2105.0		224.0	2123.0		2251.8	2125.0		2282.6			
Densidad húmeda (gr./cm ³)	2.045		2.010	1.968		1.942	1.851		1.814			
Densidad Seca (gr./cm ³)	1.631		1.543	1.568		1.478	1.476		1.374			
CONTENIDO DE HUMEDAD												
P. de tara (gr.)	38.9			38.8			38.9					
Tara + suelo húmedo (gr.)	562.3			485.6			502.1					
Tara + suelo seco (gr.)	456.4			394.7			408.3					
P. de agua (gr.)	105.9			90.9			93.8					
P. de suelo seco (gr.)	417.6			355.9			369.5					
Humedad (%)	25.36			25.54			25.39					
Promedio de humedad (%)	25.4		30.30	25.5		31.40	25.4		32.0			
EXPANSIÓN												
Fecha	Hora	Tiempo Días	Dial pulg	Exp.		Dial pulg	Exp.		Dial pulg	Exp.		
				mm	%		mm	%		mm	%	
15/05/2024	11:00 a.m.	0	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	
16/05/2024	11:00 a.m.	1	0.285	7.24	4.07	0.321	8.15	4.58	0.412	10.46	5.87	
17/05/2024	11:00 a.m.	2	0.315	8.00	4.49	0.356	9.04	5.08	0.475	12.07	6.78	
18/05/2024	11:00 a.m.	3	0.375	9.53	5.35	0.85	9.78	5.49	0.495	12.57	7.06	
19/05/2024	11:00 a.m.	4	0.396	10.06	5.65	0.425	10.80	6.07	0.520	13.21	7.42	
ABSORCIÓN												
Molde N°	1			2			3					
P. suelo húmedo + plato + molde, g	12730.0			12597.0			12594.0					
P. del plato + molde, g	8259.0			8223.0			8453.0					
P. suelo húmedo embebido, g	4471.0			4374.0			4141.0					
P. suelo húmedo sin embeber, g	4304.0			4178.0			3934.0					
P. del agua absorbida, g	167.0			196.0			207.0					
P. del suelo seco, g	3432.2			3329.1			3137.2					
Absorción de agua, %	4.87			5.89			6.60					

PENETRACIÓN										
Penet. (pulg.)	Carga Standard (kg/cm ²)	Molde N° 1			Molde N° 2			Molde N° 3		
		DIAL	CARGA (kg)	PRESIÓN (kg/cm ²)	DIAL	CARGA (kg)	PRESIÓN (kg/cm ²)	DIAL	CARGA (kg)	PRESIÓN (kg/cm ²)
0.000		0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
0.635		6.4	6.4	0.31	0.31	3.1	0.15	2.1	2.1	0.10
1.270		9.4	9.4	0.46	6.4	6.4	0.31	4.4	4.4	0.22
1.905		12.7	12.7	0.62	9.4	9.4	0.46	6.7	6.7	0.33
2.540	70.3	14.8	14.8	0.72	12.7	12.7	0.62	9.2	9.2	0.45
3.810		19.8	19.8	0.97	18.2	18.2	0.89	13.7	13.7	0.67
5.080	105.5	25.3	25.3	1.24	22.2	22.2	1.09	17.7	17.7	0.87
6.350		29.4	29.4	1.44	24.6	24.6	1.20	20.4	20.4	1.00
7.620		31.8	31.8	1.56	26.3	26.3	1.29	23.4	23.4	1.15
10.160		36.4	36.4	1.78	30.8	30.8	1.51	26.4	26.4	1.29
12.700		38.4	38.4	1.88	33.5	33.5	1.64	28.6	28.6	1.40

Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Energía de compactación, relación Penetración – Presión e Índice de CBR del espécimen de suelo natural.



Como se puede notar en las gráficas de la Figura 5, se exhiben las tres curvas de compactación de acuerdo a la energía utilizada en cada una de las pruebas en el ensayo de C.B.R. Estas curvas ilustran la densidad, expansión, absorción

y humedad de penetración.

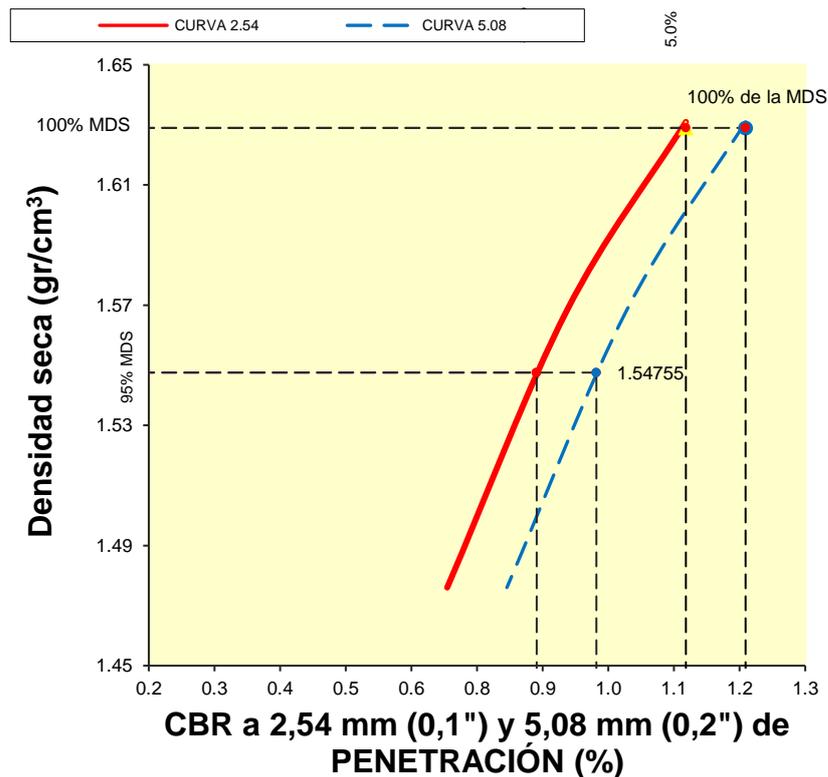
Tabla 13. Resultados del ensayo CBR del espécimen de suelo natural

Resultados de la prueba de C.B.R.		
C.B.R. a 2.54 mm (0.1") de penetración		
Muestra	C.B.R. AL 95%	C.B.R. AL 100%
SA-100	0.9	1.1
C.B.R. a 5.08 mm (0.2") de penetración		
Muestra	C.B.R. AL 95%	C.B.R. AL 100%
SA-100	1	1.2

Fuente: Elaboración propia

En las curvas graficadas en la Figura 6, se representa el vínculo entre la M.D.S. y el índice de C.B.R. a 2,54 mm (0,1") y 5,08 mm (0,2") de penetración.

Figura 6. M.D.S. vs porcentaje de C.B.R. a 2,54 mm (0,1") y 5,08 mm (0,2") de penetración



Analizando los datos obtenidos gracias a las pruebas realizadas con la muestra de suelo natural, se entendió que el C.B.R. a 2,54 mm (0,1") era de 0.9 al 95% y de 1 al 100% de penetración. En cuanto al C.B.R. a 5,08 mm (0,2"), los datos que se registraron fueron de 1 al 95% y de 1.2 al 100% de penetración.

Luego de recopilar los datos de las pruebas realizadas, se resumieron detalladamente en la Tabla 14, donde se exhibe un resumen de estos para demostrar las propiedades físicas y mecánicas del espécimen de suelo natural.

Tabla 14. Resultados de ensayos del espécimen de suelo natural

TABLA DE RESULTADOS DE ENSAYOS A LA MUESTRA DE SUELO NATURAL			
PROPIEDADES	ENSAYOS	DESCRIPCIÓN	SA-100
	FÍSICAS	CLASIFICACIÓN DE SUELO	Clasificación AASHTO
		Clasificación SUCS	MH
ANÁLISIS		Grava %	0.2
GRANULOMÉTRICO ASTM D		Arena %	6.9
422 – MTC E 107-2013		Finos %	92.9
CONTENIDO DE HUMEDAD		MH %	26.9
ASTM D 422 – MTC E 107-2013			
LÍMITES DE ATTERBERG NTP		LL %	59.1
339.129 (99)		LP %	30.6
		IP %	28.5
MECÁNICAS	ENSAYO DE PROCTOR	M.D.S. gr/cm ³	1.629
	MODIFICADO ASTM D 1557 -	O.C.H. %	25.3
	NTP 339.141		
	ENSAYO DE CALIFORNIA	C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1" %	1.1
	BEARING RATIO (C.B.R.)	C.B.R. (95% M.D.S.) 0.1" %	0.9
ASTM D1883 -	C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1" %	1.2	
NTP 339.145	C.B.R. (95% M.D.S.) 0.1" %	1.0	

Fuente: Elaboración propia

Basándonos en los datos detallados de la Tabla 14, podemos concluir que el índice de C.B.R. del 0.9% indica que el terreno tiene una resistencia muy baja para llevar a cabo trabajos de pavimentación o cimentación. Además, según el índice plástico, podemos inferir que el suelo es arcilloso y tiende a experimentar cambios volumétricos en función de la variación de la humedad. Es crucial considerar este comportamiento del terreno al diseñar cimentaciones.

3.3. Características físicas y mecánicas del suelo modificado con SBA

Análisis granulométrico del suelo modificado con 5% de SBA

El ensayo de análisis granulométrico se llevó a cabo de acuerdo a las indicaciones de las normativas ASTM D6913 - (MTC E-107), tal como se detalla en los resultados proporcionados por el laboratorio GEOTEST (anexo 7). En la tabla 15, se presenta la categorización de la muestra de suelo modificado con 5% de SBA, según la normativa SUCS y la normativa AASHTO, en dichos resultados se exhiben como resultado un suelo limo arcilloso de alta maleabilidad, con un color marrón claro y mechas rojizas de consideración mediana. Además, en la tabla 16 se incluyen los porcentajes que pasaron a través del tamizado durante el ensayo de granulometría.

Tabla 15. Clasificación del suelo modificado con 5% de SBA según SUCS y AASHTO

Muestra	Descripción	Clasificación		Análisis Granulométrico	
		SUCS	AASHTO	%Grava	%Arena
SA-95 + SBA-5	arcillas inorgánicas de alta compresibilidad, con 0.2% de grava fina; 6.9% de arena finas. 92.9% de material menor que el tamiz N.º 200 (0,074mm), de alta plasticidad de color marrón claro con manchas rojizas, de consistencia mediano.	CH	A-7-6 (28)	0.2%	99.8%

Fuente: Elaboración Propia

Basándonos en los datos obtenidos mostrados en la Tabla 15, según las normativas SUCS y AASHTO, se determina que el suelo corresponde a un CH / A-7-6 (28). Este tipo de suelo es una arcilla con alta compresibilidad y propensa a cambios volumétricos. Dado que está compuesto principalmente de arcilla, se recomienda estabilizarlo y considerar sus propiedades de expansibilidad al utilizarlo en la construcción de cimientos o pavimentos.

Tabla 16. Análisis granulométrico del suelo modificado con 5% de SBA

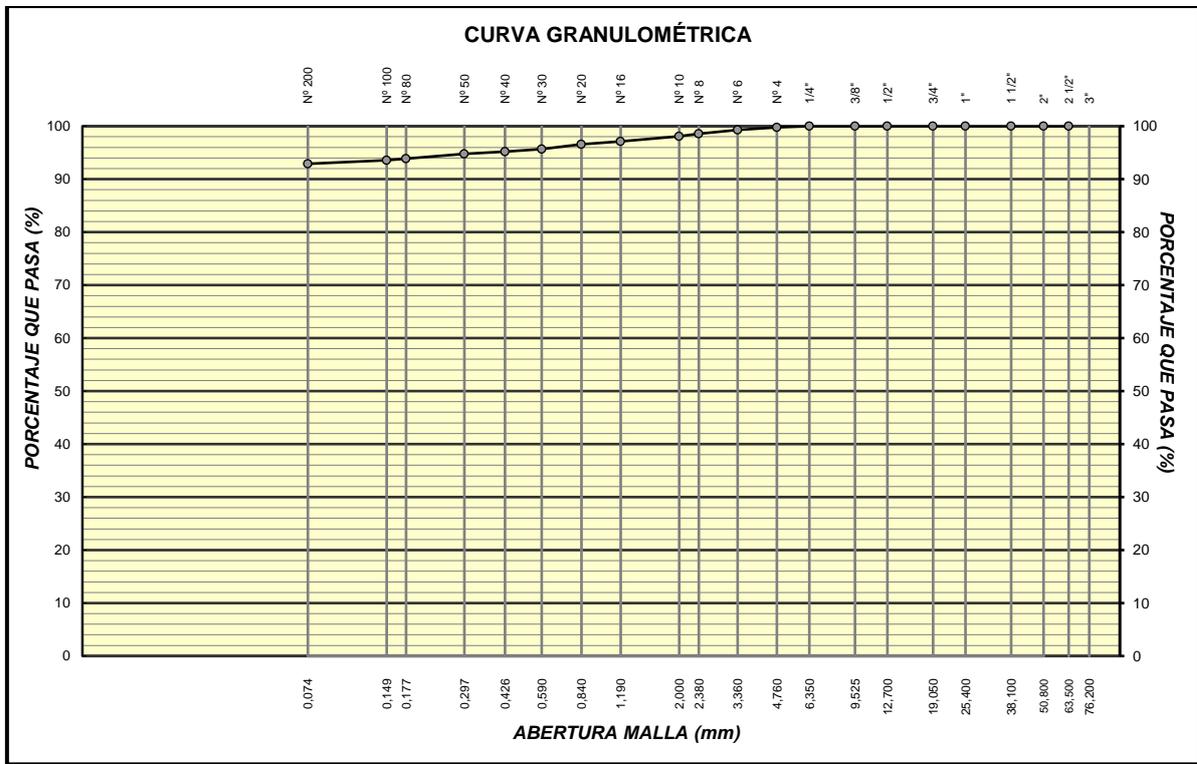
Tamiz	Abertura	P. retenido (g)	Ret. Parcial (%)	Ret. Acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
3"	76.200	-	-	-	-
2 1/2"	63.500	-	-	-	100.0
2"	50.800	-	-	-	100.0
1 1/2"	38.100	-	-	-	100.0
1"	25.400	-	-	-	100.0
3/4"	19.050	-	-	-	100.0
1/2"	12.700	-	-	-	100.0
3/8"	9.525	-	-	-	100.0
1/4"	6.350	-	-	-	100.0
N° 4	4.760	1.0	0.2	0.2	99.8
N° 6	3.360	2.4	0.5	0.7	99.3
N° 8	2.380	3.7	0.7	1.4	98.6
N°10	2.000	2.3	0.5	1.9	98.1
N°16	1.190	4.8	1.0	2.9	97.1
N°20	0.840	2.7	0.5	3.4	96.6
N°30	0.590	4.6	0.9	4.3	95.7
N°40	0.426	2.6	0.5	4.8	95.2
N°50	0.297	1.8	0.4	5.2	94.8
N° 80	0.177	4.5	0.9	6.1	93.9
N° 100	0.149	1.3	0.3	6.4	93.6
N° 200	0.074	3.7	0.7	7.1	92.9
N° 200	-	465.2	92.9	100.0	-

Fuente: Elaboración Propia

Se presentó la Tabla 16 donde se registran los porcentajes de los materiales presentes en la muestra de suelo modificado con un 5% de SBA. Se observa un 0.2% de grava fina, un 6.9% de arenas finas y un 92.9% de material con tamaño menor al tamiz N.º 200 (0.074 mm). En la figura 7 se exhibe la curva granulométrica del espécimen del suelo arcilloso natural, junto con el porcentaje

que pasa al utilizar diferentes tamices en el laboratorio. Estos tamices abarcan desde la malla N° 200 hasta la malla de 3 pulgadas.

Figura 7. Curva granulométrica del suelo modificado con 5% de SBA



Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo modificado con 5% de SBA

Para conocer los límites de consistencia se realizó el ensayo de Atterberg se llevaron a cabo de acuerdo con la norma NTP 339.129 (99), tal como se especifica en los resultados proporcionados por el laboratorio GEOTEST (anexo 8). Los datos obtenidos en esta prueba se presentan en la tabla 17 detallando el óptimo contenido de humedad del espécimen de suelo modificado con 5% de SBA.

Tabla 17. Contenido de humedad del suelo modificado con 5% de SBA

Descripción	LL			LP	
Ensayo N°	1	2	3	1	2
Capsula N°	53	105	128	1	3
P. Cápsula + suelo húmedo, g	46.60	46.60	46.40	50.40	52.00
P. Cápsula + suelo seco, g	39.58	39.60	39.50	48.90	49.60

P. agua, g	7.02	7.00	6.90	1.50	2.40
P. de la capsula, g	26.00	25.90	25.80	40.10	41.80
P. suelo seco, g	13.58	13.70	13.70	8.80	7.80
Contenido de humedad %	51.69	51.09	50.36	17.05	30.77
Número de golpes	20	25	33	-	-

Fuente: Elaboración Propia

Los datos obtenidos a través del ensayo de límites de consistencia se detallan a continuación en la tabla 18. Estos valores indican lo siguiente:

- Índice de Plasticidad (IP): El suelo tiene un IP del 27.3%, lo que refleja su capacidad para cambiar de estado semisólido a plástico.
- Límite Plástico (LP): El LP es del 23.9%, marcando el óptimo contenido de humedad (MC) en el que los suelos transitan de una condición semisólido a uno plástico.
- Límite Líquido (LL): El LL es del 51.2%, indicando el punto en el que el suelo modifica su condición plástica a semilíquido.

Estos resultados demuestran cómo la humedad afecta las propiedades del suelo, influyendo en su estructura y capacidad de deformación.

Tabla 18. Límites de consistencia de la muestra de suelo modificado con 5% de SBA

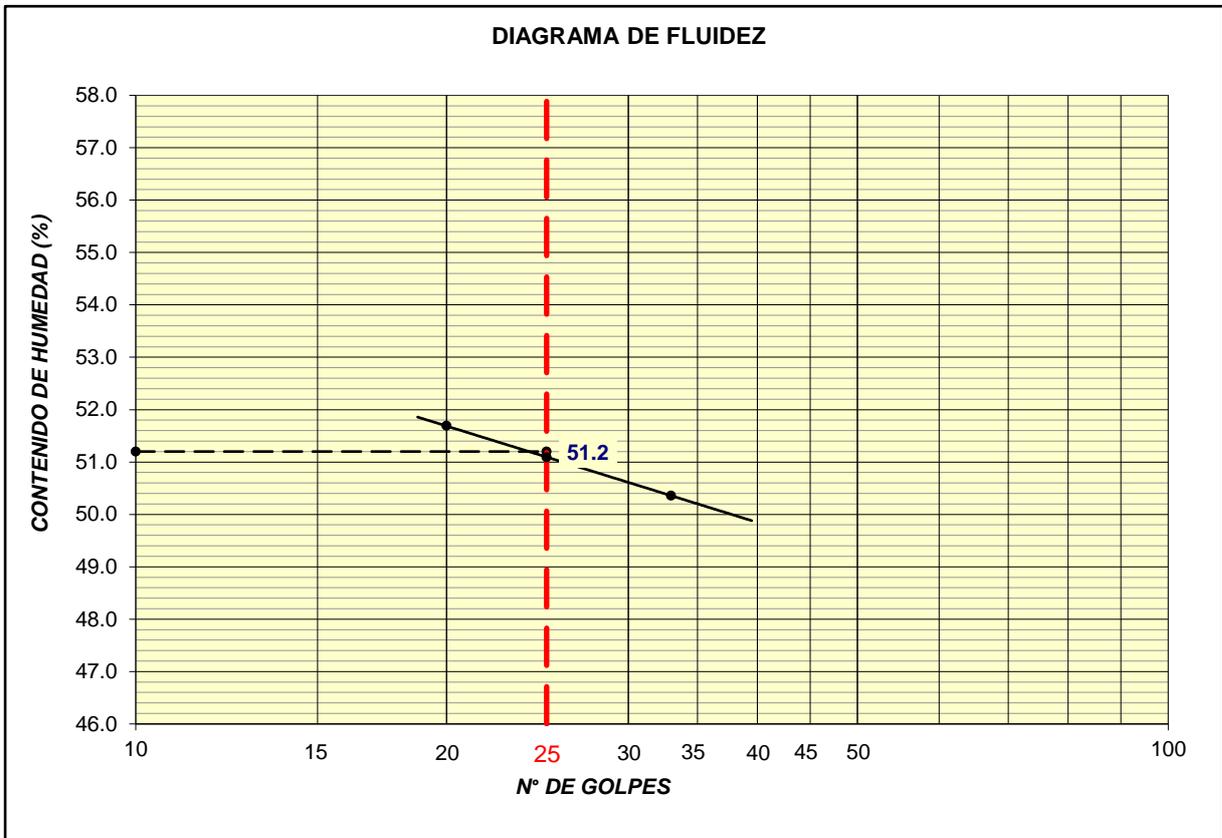
Muestra	Límites de Atterberg		
	LL (%)	LP (%)	IP (%)
SA-95 + SBA-5	51.2	23.9	27.3

Fuente: Elaboración propia

Resulta esencial destacar que estos ensayos fueron cruciales para caracterizar rápidamente el suelo, demostrando que se tenía una clasificación correcta del suelo natural según SUCS y AASHTO. El suelo se clasificó como CH, lo que significa que es un suelo arcilloso con alta compresibilidad. En resumen, estos suelos tienden a deformarse significativamente sin romperse y tienen la propiedad de detención de líquido considerable, como se evidencia en los resultados de la tabla 18. Además, mediante el gráfico de la figura 8 se exhibe el diagrama de fluidez, que ilustra lo que conocemos como la relación entre la consistencia del suelo modificado con el 5% de SBA y su MH, proporcionando una idea aproximada de la resistencia del terreno o suelo bajo estudio y

demostrando cómo los límites de consistencia afectan la resistencia y condición del suelo arcilloso de acuerdo a su contenido de humedad.

Figura 8. Diagrama de Fluidez del suelo modificado con 5% de SBA



En la figura 8, se exhibe el diagrama de fluidez, que ilustra lo que conocemos como la relación entre la consistencia del suelo modificado con el 5% de SBA y su MH, ofreciendo una noción aproximada de la resistencia del terreno.

Proctor modificado del suelo modificado con 5% de SBA

Una vez realizada la prueba de Proctor modificado, de acuerdo con las indicaciones de su procedimiento, en el cual se emplea energía modificada, se llevó a cabo conforme a las normativas ASTM D1557 y NTP 339.141. En relación al espécimen de suelo modificado con 5% de SBA (SA-95%+SBA-5%), se presentan las tablas 19 y 20, donde se puede apreciar el porcentaje del contenido óptimo de humedad (O.C.H.) y la densidad seca máxima (M.D.S.).

Tabla 19. Ensayo de Proctor modificado del suelo modificado con 5% de SBA

ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO PARA CBR ASTM D1883 – NTP 339.145		
Vol. Molde	2128.0	cm ³
P. Molde	3248.0	gr

NUMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4
P. Suelo Húmedo + Molde	gr.	6805.0	7480.0	7545.0	7055.0
P. Suelo Húmedo	gr.	3557.0	4232.0	4297.0	3807.0
Densidad de Suelo Húmedo	g/cm ³	1.672	1.989	2.019	1.789
Tarro N°		58	72	73	76
P. Suelo Húmedo + tarro	gr.	325.6	296.3	313.6	331.4
P. Suelo Seco + tarro	gr.	288.9	260.4	270.4	281.4
P. del agua	gr.	36.7	35.9	43.2	50.0
P. del tarro	gr.	38.9	38.9	38.9	38.9
P. del suelo seco	gr.	250.1	221.6	231.6	242.6
Contenido de Humedad	%	14.68	16.20	18.7	20.6
Promedio de Humedad	%	14.7	16.2	18.7	20.6
Densidad del suelo seco	g/cm ³	1.458	1.712	1.701	1.483
Cantidad de agua añadida	cm ³	0	120	270	390
M.D.S.: 1.762 gr/cm³		O.C.H.: 17.3%			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Resultados del Ensayo Proctor modificado del suelo modificado con 5% de SBA

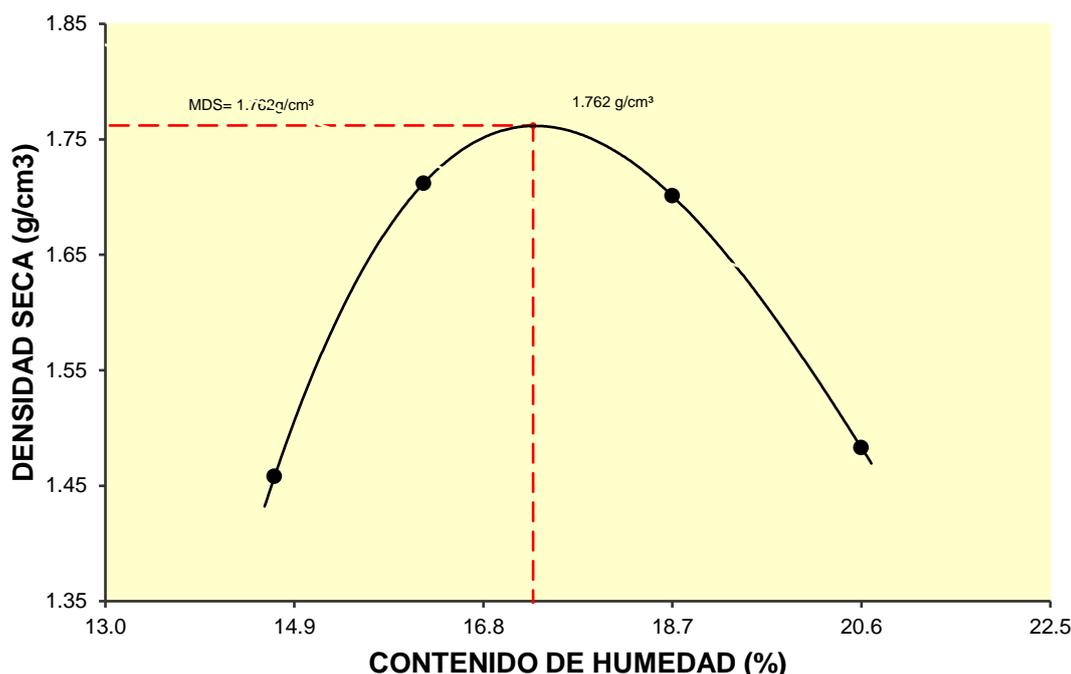
Muestra	Proctor modificado		
	Humedad Optima (%)	Densidad seca máxima (g/cm ³)	Método compactación
SA-95 + SBA-5	17.3	1.762	A

Fuente: Elaboración propia

La humedad óptima alude a la proporción de agua necesaria para que cada suelo de acuerdo a su ubicación geográfica alcance su M.D.S. Todos con una energía de compactación específica. Según los datos obtenidos en el ensayo ejecutado con el espécimen del suelo modificado con 5% de SBA, se determinó que el 17.3% era la proporción de líquido necesario para obtener la máxima compactación, utilizando la energía aplicada en la prueba de Proctor modificado. Además, la densidad máxima que el suelo podía alcanzar al ser compactado con un 17.3% de humedad era de 1.762 g/cm³.

En la Figura 9, se presentó una gráfica con la curva que muestra el vínculo entre el O.C.H. y la M.D.S. del espécimen de suelo, después de llevar a cabo la prueba de C.B.R. con el método de compactación "A". Posteriormente, se demarcó y se determinó cuál era el O.C.H. y la M.D.S. para dicho espécimen.

Figura 9. Curva de compactación del suelo modificado con 5% de SBA



California Bearing Ratio (C.B.R.) del suelo modificado con 5% de SBA

Una vez realizada la prueba de C.B.R., la que se llevó a cabo de acuerdo con las indicaciones de su procedimiento conforme a las normativas ASTM D1883 y NTP 339.145, los resultados entregados por el laboratorio de suelos GEOTEST del espécimen del suelo natural se detallan en las tablas 21 y 22.

Tabla 21. Resultados de ensayo CBR del suelo modificado con 5% de SBA

ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA ASTM D1557 – NTP 339.141						
CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (C.B.R.)						
Molde N.º	10		11		12	
Número de capas	5		5		5	
Número de golpes	57		25		13	
Condición de la muestra	Sin embeber	Embebido	Sin embeber	Embebido	Sin embeber	Embebido
P. húmedo + molde (gr.)	9334.0	9451.0	9035.0	9230.0	8885.0	9110.0
P. molde (gr.)	4915.0	4915.0	4876.0	4876.0	4873.0	4873.0
P. suelo húmedo (gr.)	4419.0	4536.0	4159.0	4354.0	4012.0	4237.0
Vol. del espécimen (cm³)	2133.0	2150.7	2134.0	2153.9	2140.0	2163.6
Densidad húmeda (gr./cm³)	2.072	2.109	1.949	2.021	1.875	1.958
Densidad Seca (gr./cm³)	1.763	1.749	1.663	1.647	1.594	1.576
CONTENIDO DE HUMEDAD						
P. de tara (gr.)	38.8		38.8		38.8	
Tara + suelo húmedo (gr.)	402.5		386.4		415.9	
Tara + suelo seco (gr.)	348.3		335.4		359.6	
P. de agua (gr.)	54.2		51.0		56.3	
P. de suelo seco (gr.)	309.5		296.6		320.8	

Humedad (%)		17.51		17.20		17.55					
Promedio de humedad (%)		17.5	20.60	17.2	22.70	17.6	24.2				
EXPANSIÓN											
Fecha	Hora	Tiempo Días	Dial pulg	Exp.		Dial pulg	Exp.		Dial pulg	Exp.	
				mm	%		mm	%		mm	%
17/05/2024	12:30 p.m.	0	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
18/05/2024	12:30 p.m.	1	0.034	0.86	0.48	0.038	0.97	0.55	0.047	1.19	0.67
19/05/2024	12:30 p.m.	2	0.042	1.07	0.60	0.047	1.19	0.67	0.059	1.50	0.84
20/05/2024	12:30 p.m.	3	0.050	1.27	0.72	0.054	1.37	0.77	0.063	1.60	0.90
21/05/2024	12:30 p.m.	4	0.058	1.47	0.83	0.065	1.65	0.93	0.077	1.96	1.10
ABSORCIÓN											
Molde N°		10		11		12					
P. suelo húmedo + plato + molde, g		12822.0		12598.0		12528.0					
P. del plato + molde, g		8286.0		8244.0		8291.0					
P. suelo húmedo embebido, g		4536.0		4354.0		4237.0					
P. suelo húmedo sin embeber, g		4419.0		4159.0		4012.0					
P. del agua absorbida, g		117.0		195.0		225.0					
P. del suelo seco, g		3760.9		3548.6		3411.06					
Absorción de agua, %		3.11		5.50		6.60					
PENETRACIÓN											
Penet. (pulg.)	Carga Standard (kg/cm ²)	Molde N° 1			Molde N° 2			Molde N° 3			
		DIAL	CARGA (kg)	PRESIÓN (kg/cm ²)	DIAL	CARGA (kg)	PRESIÓN (kg/cm ²)	DIAL	CARGA (kg)	PRESIÓN (kg/cm ²)	
0.000		0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	
0.635		20.7	20.7	1.01	12.5	12.5	0.61	8.8	8.8	0.43	
1.270		40.7	40.7	1.99	28.7	28.7	1.41	20.5	20.5	1.00	
1.905		57.3	57.4	2.81	39.6	39.6	1.94	31.1	31.1	1.52	
2.540	70.3	74.0	74.1	3.63	52.6	52.7	2.58	42.1	42.1	2.06	
3.810		103.6	103.8	5.08	74.6	74.7	3.66	58.8	58.9	2.88	
5.080	105.5	136.3	136.7	6.69	102.1	102.3	5.01	74.4	74.5	3.65	
6.350		156.3	156.8	7.68	122.2	122.5	6.00	95.6	95.8	4.69	
7.620		180.1	180.7	8.85	149.1	149.5	7.32	108.4	108.6	5.32	
10.160		217.1	218.0	10.67	174.1	174.7	8.55	126.4	126.7	6.20	
12.700		251.8	253.1	12.39	185.3	186.0	9.10	136.9	137.3	6.72	

Fuente: Elaboración propia

Como se puede notar en las gráficas de la Figura 10, se exhiben las tres curvas de compactación de acuerdo a la energía utilizada en cada una de las pruebas en el ensayo de C.B.R. Estas curvas ilustran la densidad, expansión, absorción y humedad de penetración.

Figura 10. Energía de compactación, relación Penetración – Presión e Índice de CBR de la muestra del suelo modificado con 5% de SBA.

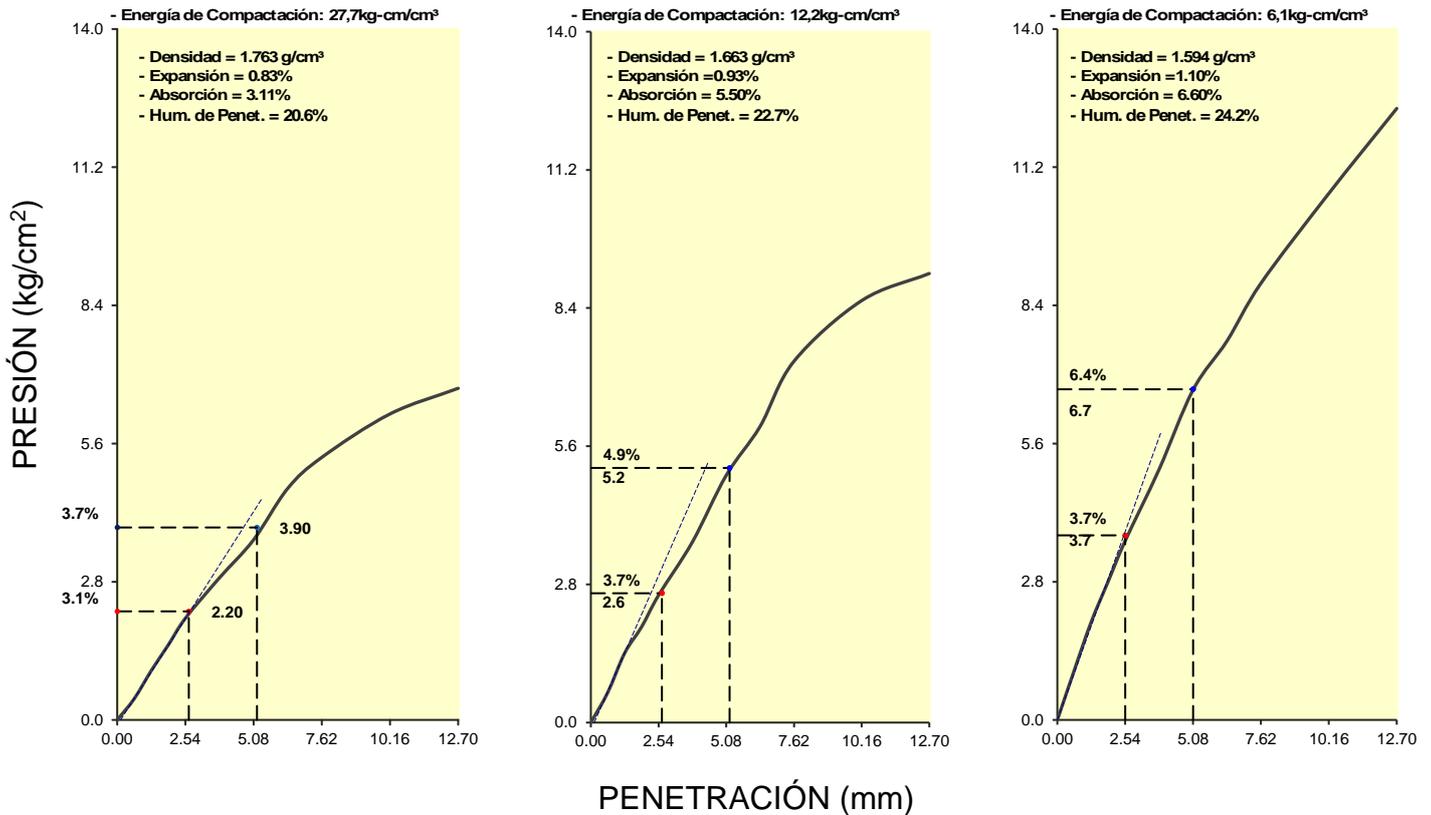


Tabla 22. Resultados de ensayo CBR del suelo modificado con 5% de SBA

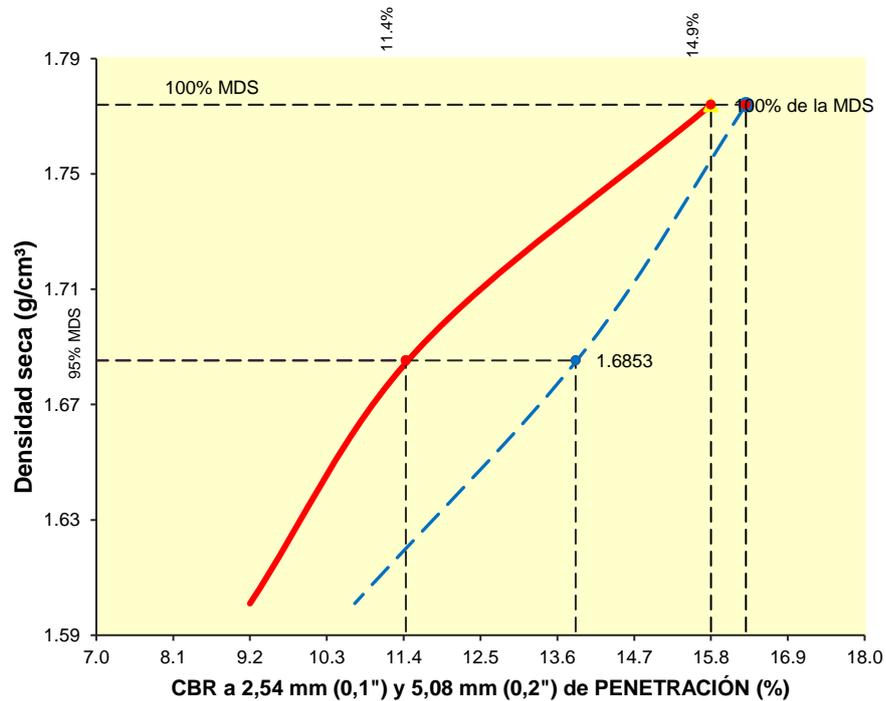
Resultados C.B.R. SA-95 + SBA-5		
C.B.R. a 2.54 mm (0.1") de penetración		
Muestra	C.B.R. AL 95%	C.B.R. AL 100%
SA-95 + SBA-5	3.9	5.3
C.B.R. a 5.08 mm (0.2") de penetración		
Muestra	C.B.R. AL 95%	C.B.R. AL 100%
SA-95 + SBA-5	5.1	6.4

Fuente: Elaboración propia

Analizando los datos obtenidos gracias a las pruebas realizadas con la muestra de suelo modificado con 5% de SBA, se entendió que el C.B.R. a 2,54 mm (0,1") era del 3.9 al 95% y del 5.3 al 100% de penetración. En cuanto al C.B.R. a 5,08 mm (0,2"), los datos que se registraron fueron de 5.1 al 95% y de 6.4 al 100% de penetración. En las curvas graficadas en la Figura 11, se representa el vínculo entre la M.D.S. y el índice de C.B.R. a 2,54 mm (0,1") y 5,08 mm

(0,2") de penetración.

Figura 11. Densidad seca vs porcentaje de C.B.R. a 2,54 mm (0,1") y 5,08 mm (0,2") de penetración (SA-95+SBA-5)



Luego de recopilar los datos de las pruebas realizadas, se resumieron detalladamente en la Tabla 23, donde se exhibe un resumen de estos para demostrar las propiedades físicas y mecánicas del espécimen de suelo modificado con 5% de SBA.

Tabla 23. Resultados de ensayos a la muestra del suelo modificado con 5% de SBA.

TABLA DE RESULTADOS DE ENSAYOS A LA MUESTRA DE SUELO MODIFICADO CON 5% DE SBA			
PROPIEDADES	ENSAYOS	DESCRIPCIÓN	SA-100
	FÍSICAS	CLASIFICACIÓN DE SUELO	Clasificación AASHTO
		Clasificación SUCS	CH
ANÁLISIS		Grava %	0.2
GRANULOMÉTRICO ASTM D		Arena %	6.9

	422 – MTC E 107-2013	Finos %	92.9
	CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D 422 – MTC E 107-2013	MH %	26.9
	LÍMITES DE ATTERBERG NTP 339.129 (99)	LL %	51.2
		LP %	23.9
		IP %	27.3
MECÁNICAS	ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO ASTM D 1557 - NTP 339.141	M.D.S. gr/cm ³	1.762
		O.C.H. %	17.3
	ENSAYO DE CALIFORNIA	C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1" %	5.3
	BEARING RATIO (C.B.R.)	C.B.R. (95% M.D.S.) 0.1" %	3.9
	ASTM D1883 -	C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1" %	6.4
	NTP 339.145	C.B.R. (95% M.D.S.) 0.1" %	5.1

Basándonos en los datos detallados de la Tabla 23, se observaron cambios en el suelo modificado con un 5% de SBA. Si bien es cierto que el valor del índice de C.B.R. del 3.9% indica que el terreno aún tiene una resistencia muy baja para llevar a cabo trabajos de pavimentación o cimentación, la categorización de suelos según las normativas SUCS y AASHTO varió. Ahora se clasifica como suelo CH / A-7-6 (28). Según el índice plástico, podemos inferir que el suelo sigue siendo arcilloso de alta compresión y tiende a experimentar alteraciones de volumen como consecuencia de la variación de la humedad. Es crucial considerar este comportamiento del terreno al diseñar cimentaciones.

Análisis granulométrico del suelo modificado con 15% de SBA

El ensayo de análisis granulométrico se llevó a cabo de acuerdo a las indicaciones de las normativas ASTM D6913 - (MTC E-107), tal como se detalla en los resultados proporcionados por el laboratorio GEOTEST (anexo 7). En la tabla 24, se presenta la categorización de la muestra de suelo modificado con 15% de SBA, según la normativa SUCS y la normativa AASHTO, en dichos resultados se exhiben como resultado un suelo arcilloso de baja compresibilidad, con un color marrón claro y mechas rojizas de consideración mediana. Además, en la tabla 25 se incluyen los porcentajes que pasaron a través del tamizado durante el ensayo de granulometría.

Tabla 24. Clasificación del suelo modificado con 15% de SBA según SUCS y AASHTO

Muestra	Descripción	Clasificación		Análisis Granulométrico	
		SUCS	AASHTO	%Grava	%Arena
SA-85 + SBA-15	Arcilla inorgánica de baja compresibilidad, con 0.2% de grava fina; 6.9% de arena finas. 92.9% de material menor que el tamiz N.º 200 (0,074mm), de alta plasticidad de color marrón claro con manchas rojizas, de consistencia mediano.	CL	A-7-6 (24)	0.2%	99.8%

Fuente: Elaboración Propia

Basándonos en los datos obtenidos mostrados en la Tabla 24, según las normativas SUCS y AASHTO, se determina que el suelo corresponde a un CL / A-7-6 (24). Este tipo de suelo es una arcilla con alta compresibilidad y propensa a cambios volumétricos. Dado que está compuesto principalmente de arcilla, se recomienda estabilizarlo y considerar sus propiedades de expansibilidad al utilizarlo en la construcción de cimientos o pavimentos.

Tabla 25. Análisis granulométrico del suelo modificado con 15% de SBA

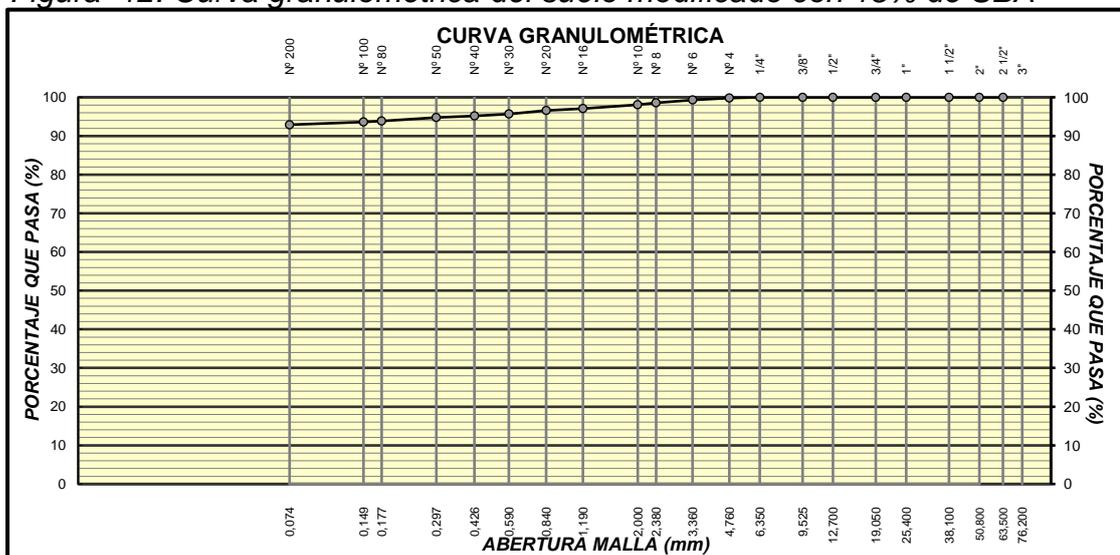
Tamiz	Abertura	P. retenido (g)	Ret. Parcial (%)	Ret. Acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
3"	76.200	-	-	-	-
2 ½"	63.500	-	-	-	100.0
2"	50.800	-	-	-	100.0
1 ½"	38.100	-	-	-	100.0
1"	25.400	-	-	-	100.0
¾"	19.050	-	-	-	100.0
½"	12.700	-	-	-	100.0
⅜"	9.525	-	-	-	100.0

1/4"	6.350	-	-	-	100.0
N° 4	4.760	1.0	0.2	0.2	99.8
N° 6	3.360	2.4	0.5	0.7	99.3
N° 8	2.380	3.7	0.7	1.4	98.6
N°10	2.000	2.3	0.5	1.9	98.1
N°16	1.190	4.8	1.0	2.9	97.1
N°20	0.840	2.7	0.5	3.4	96.6
N°30	0.590	4.6	0.9	4.3	95.7
N°40	0.426	2.6	0.5	4.8	95.2
N°50	0.297	1.8	0.4	5.2	94.8
N° 80	0.177	4.5	0.9	6.1	93.9
N° 100	0.149	1.3	0.3	6.4	93.6
N° 200	0.074	3.7	0.7	7.1	92.9
N° 200	-	465.2	92.9	100.0	-

Fuente: Elaboración Propia

Se presentó la Tabla 25 donde se registran los porcentajes de los materiales presentes en la muestra de suelo modificado con un 15% de SBA. Se observa un 0.2% de grava fina, un 6.9% de arenas finas y un 92.9% de material con tamaño menor al tamiz N.º 200 (0.074 mm). En la figura 12 se exhibe la curva granulométrica del espécimen del suelo arcilloso natural, junto con el porcentaje que pasa al utilizar diferentes tamices en el laboratorio. Estos tamices abarcan desde la malla N° 200 hasta la malla de 3 pulgadas.

Figura 12. Curva granulométrica del suelo modificado con 15% de SBA



Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo modificado con 15% de SBA

Para conocer los límites de consistencia se realizó el ensayo de Atterberg se llevaron a cabo de acuerdo con la norma NTP 339.129 (99), tal como se especifica en los resultados proporcionados por el laboratorio GEOTEST (anexo 8). Los datos obtenidos en esta prueba se presentan en la tabla 26 detallando el óptimo contenido de humedad del espécimen de suelo modificado con 15% de SBA.

Tabla 26. Contenido de humedad del suelo modificado con 15% de SBA

Descripción	LL			LP	
	1	2	3	1	2
Ensayo N°	1	2	3	1	2
Capsula N°	43	14	10	1	3
P. Cápsula + suelo húmedo, g	42.50	42.50	42.50	32.50	32.50
P. Cápsula + suelo seco, g	36.10	32.20	36.30	30.70	30.70
P. agua, g	6.40	6.30	6.20	1.80	1.80
P. de la capsula, g	22.60	22.50	22.60	22.50	22.50
P. suelo seco, g	13.60	13.70	13.80	8.20	8.20
Contenido de humedad %	47.06	45.99	44.93	21.95	21.95
Número de golpes	18	25	33	-	-

Fuente: Elaboración Propia

Los datos obtenidos a través del ensayo de límites de consistencia se detallan a continuación en la tabla 27. Estos valores indican lo siguiente:

- Índice de Plasticidad (IP): El suelo tiene un IP del 24.0%, lo que refleja su capacidad para cambiar de estado semisólido a plástico.
- Límite Plástico (LP): El LP es del 22.0%, marcando el óptimo contenido de humedad (MC) en el que los suelos transitan de una condición semisólido a uno plástico.
- Límite Líquido (LL): El LL es del 46.0%, indicando el punto en el que el suelo modifica su condición plástica a semilíquido.

Estos resultados demuestran cómo la humedad afecta las propiedades del suelo, influyendo en su estructura y capacidad de deformación.

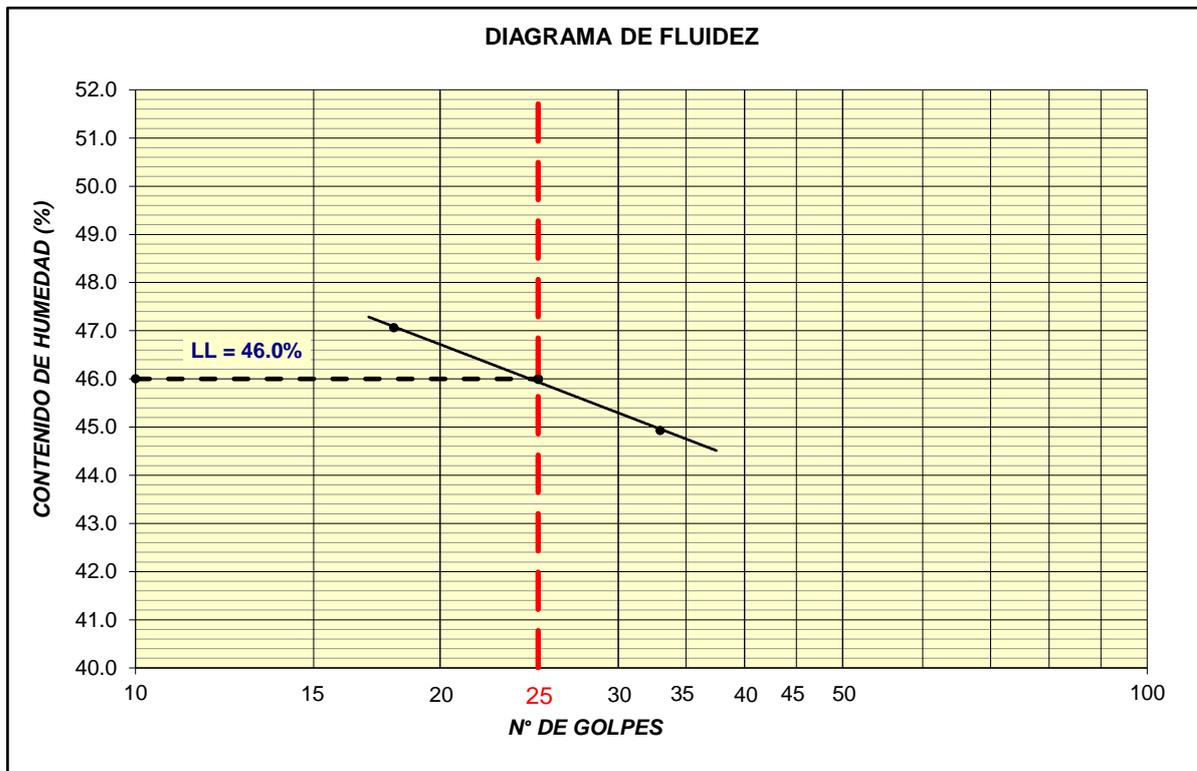
Tabla 27. Límites de Atterberg de la muestra de suelo modificado con 15% de SBA

Muestra	Límites de Atterberg		
	LL (%)	LP (%)	IP (%)
SA-85 + SBA-15	46.0	22.0	24.0

Fuente: Elaboración propia

Resulta esencial destacar que estos ensayos fueron cruciales para caracterizar rápidamente el suelo, demostrando que se tenía una clasificación correcta del suelo natural según SUCS y AASHTO. El suelo se clasificó como CL, lo que significa que es un suelo arcilloso con alta compresibilidad. En resumen, estos suelos tienden a deformarse significativamente sin romperse y tienen la propiedad de detención de líquido considerable, como se evidencia en los resultados de la tabla 27. Además, mediante el gráfico de la figura 13 se exhibe el diagrama de fluidez, que ilustra lo que conocemos como la relación entre la consistencia del suelo modificado con el 15% de SBA y su MH, proporcionando una idea aproximada de la resistencia del terreno o suelo bajo estudio y demostrando cómo los límites de consistencia afectan la resistencia y condición del suelo arcilloso de acuerdo a su contenido de humedad.

Figura 13. Diagrama de Fluidez del suelo modificado con 15% de SBA



Proctor modificado del suelo modificado con 15% de SBA

Una vez realizada la prueba de Proctor modificado, de acuerdo con las indicaciones de su procedimiento, en el cual se emplea energía modificada, se llevó a cabo conforme a las normativas ASTM D1557 y NTP 339.141. En relación al espécimen de suelo modificado con 15% de SBA (SA-85%+SBA-15%), se presentan las tablas 28 y 29, donde se puede apreciar el porcentaje del contenido óptimo de humedad (O.C.H.) y la densidad seca máxima (M.D.S.).

Tabla 28. Ensayo de Proctor modificado del suelo modificado con 15% de SBA

ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO PARA CBR ASTM D1883 – NTP 339.145					
	Vol. Molde	943.0	cm ³		
	P. Molde	1974.0	gr		
NUMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4
P. Suelo Húmedo + Molde	gr.	3558.0	3872.0	3895.0	3752.0
P. Suelo Húmedo	gr.	1584.0	1898.0	1921.0	1778.0
Densidad de Suelo Húmedo	g/cm ³	1680.0	2.013	2.037	1.885
Tarro N°		100	102	105	108
P. Suelo Húmedo + tarro	gr.	356.2	312.8	327.8	330.4
P. Suelo Seco + tarro	gr.	300.0	258.9	267.2	265.5
P. del agua	gr.	55.9	53.9	60.6	64.9
P. del tarro	gr.	38.9	38.9	38.9	38.9
P. del suelo seco	gr.	261.5	220.1	228.4	226.7
Contenido de Humedad	%	21.38	24.49	26.54	28.63
Promedio de Humedad	%	21.4	24.5	26.5	28.6
Densidad del suelo seco	g/cm ³	1.384	1.617	1.610	1.466
Cantidad de agua añadida	cm ³	0	120	270	390
M.D.S.: 1.774 gr/cm³			O.C.H.: 18.1%		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Resultados del Ensayo Proctor modificado del suelo modificado con 15% de SBA

Muestra	Proctor modificado		
	Humedad Optima (%)	Densidad seca máxima (g/cm ³)	Método compactación
SA-85 + SBA-15	18.1	1.774	A

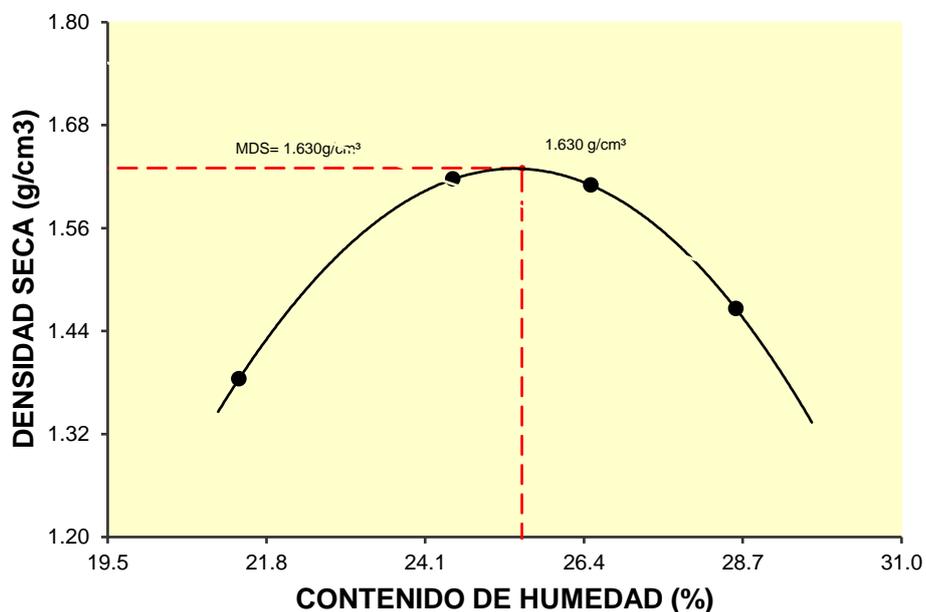
Fuente: Elaboración propia

La humedad óptima alude a la proporción de agua necesaria para que cada suelo de acuerdo a su ubicación geográfica alcance su M.D.S. Todos con una energía de compactación específica. Según los datos obtenidos en el ensayo

ejecutado con el espécimen del suelo modificado con 15% de SBA, se determinó que el 18.1% era la proporción de líquido necesario para obtener la máxima compactación, utilizando la energía aplicada en la prueba de Proctor modificado. Además, la densidad máxima que el suelo podía alcanzar al ser compactado con un 18.1% de humedad era de 1.774 g/cm³.

En la Figura 14, se presentó una gráfica con la curva que muestra el vínculo entre el O.C.H. y la M.D.S. del espécimen de suelo, después de llevar a cabo la prueba de C.B.R. con el método de compactación "A". Posteriormente, se demarcó y se determinó cuál era el O.C.H. y la M.D.S. para dicho espécimen.

Figura 14. Curva de compactación del suelo modificado con 15% de SBA



California Bearing Ratio (C.B.R.) del suelo modificado con 15% de SBA

Una vez realizada la prueba de C.B.R., la que se llevó a cabo de acuerdo con las indicaciones de su procedimiento conforme a las normativas ASTM D1883 y NTP 339.145, los resultados entregados por el laboratorio de suelos GEOTEST del espécimen del suelo natural se detallan en las tablas 30 y 31.

Tabla 30. Resultados de ensayo CBR del suelo modificado con 15% de SBA

ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA ASTM D1557 – NTP 339.141						
CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (C.B.R.)						
Molde N.º	10		11		12	
Número de capas	5		5		5	
Número de golpes	57		25		13	
Condición de la muestra	Sin embeber	Embebido	Sin embeber	Embebido	Sin embeber	Embebido

Peso suelo húmedo + molde (gr.)	9425.0	9466.0	9315.0	9397.0	8894.0	9005.0					
P. molde (gr.)	4986.0	4986.0	5098.0	5098.0	4922.0	4922.0					
P. suelo húmedo (gr.)	4439.0	4480.0	4217.0	4299.0	3972.0	4083.0					
Volumen del espécimen (cm ³)	2119.0	2119.0	2118.0	2118.0	2092.0	2092.0					
Densidad húmeda (gr./cm ³)	2.095	2.114	1.991	2.030	1.899	1.952					
Densidad Seca (gr./cm ³)	1.774	1.774	1.689	1.689	1.601	1.601					
CONTENIDO DE HUMEDAD											
P. de tara (gr.)	38.8		38.8		38.8						
Tara + suelo húmedo (gr.)	402.0		385.0		376.4						
Tara + suelo seco (gr.)	346.4		332.5		323.4						
P. de agua (gr.)	55.6		52.5		53.0						
P. de suelo seco (gr.)	38.9		38.9		38.9						
Humedad (%)	307.6		293.7		284.6						
Promedio de humedad (%)	18.1	19.20	17.9	20.20	18.6	21.9					
EXPANSIÓN											
Fecha	Hora	Tiempo Días	Dial pulg	Exp.		Dial pulg	Exp.		Dial pulg	Exp.	
				mm	%		mm	%		mm	%
19/05/2024	11:25 a.m.	0	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
20/05/2024	11:25 a.m.	1	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
21/05/2024	11:25 a.m.	2	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
22/05/2024	11:25 a.m.	3	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
23/05/2024	11:25 a.m.	4	0.000	0.00	S/E	0.000	0.00	S/E	0.000	0.00	S/E
ABSORCIÓN											
Molde N°		10		11		12					
P. suelo húmedo + plato + molde, g		12890.0		12909.0		12505.0					
P. del plato + molde, g		8410.0		8610.0		8422.0					
P. húmedo embebido, g		4480.0		4299.0		4083.0					
P. suelo húmedo sin embeber, g		4439.0		4217.0		3972.0					
P. del agua absorbida, g		41.0		82.0		111.0					
P. del suelo seco, g		3758.7		3576.8		3349.1					
Absorción de agua, %		1.09		2.29		3.31					
PENETRACIÓN											
Penet. (pulg.)	Carga Standard (kg/cm ²)	Molde N° 1			Molde N° 2			Molde N° 3			
		DIAL	CARGA (kg)	PRESIÓN (kg/cm ²)	DIAL	CARGA (kg)	PRESIÓN (kg/cm ²)	DIAL	CARGA (kg)	PRESIÓN (kg/cm ²)	
0.000		0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	
0.635		86.0	86.0	4.21	50.4	50.4	2.47	15.0	15.0	0.73	
1.270		125.0	125.0	6.12	96.0	96.0	4.70	42.0	42.0	2.06	
1.905		175.0	175.0	8.57	132.0	132.0	6.46	85.0	85.0	4.16	
2.540	70.3	210.0	210.0	10.28	165.0	165.0	8.08	112.0	112.0	5.48	
3.810		300.0	300.0	14.69	250.0	250.0	12.24	185.0	185.0	9.06	
5.080	105.5	347.0	347.0	16.99	303.0	303.0	14.83	221.0	221.0	10.82	
6.350		378.0	378.0	18.50	339.0	339.0	16.59	278.0	278.0	13.61	
7.620		430.0	430.0	21.05	385.0	385.0	18.85	302.0	302.0	14.78	
10.160		515.0	515.0	25.21	440.0	440.0	21.54	344.0	344.0	16.84	
12.700		553.0	553.0	27.07	532.0	532.0	26.04	390.0	390.0	19.09	

Fuente: Elaboración propia

Como se puede notar en las gráficas de la Figura 15, se exhiben las tres curvas de compactación de acuerdo a la energía utilizada en cada una de las pruebas

en el ensayo de C.B.R. Estas curvas ilustran la densidad, expansión, absorción y humedad de penetración.

Figura 15. Energía de compactación, relación Penetración – Presión e Índice de CBR de la muestra del suelo modificado con 15% de SBA.

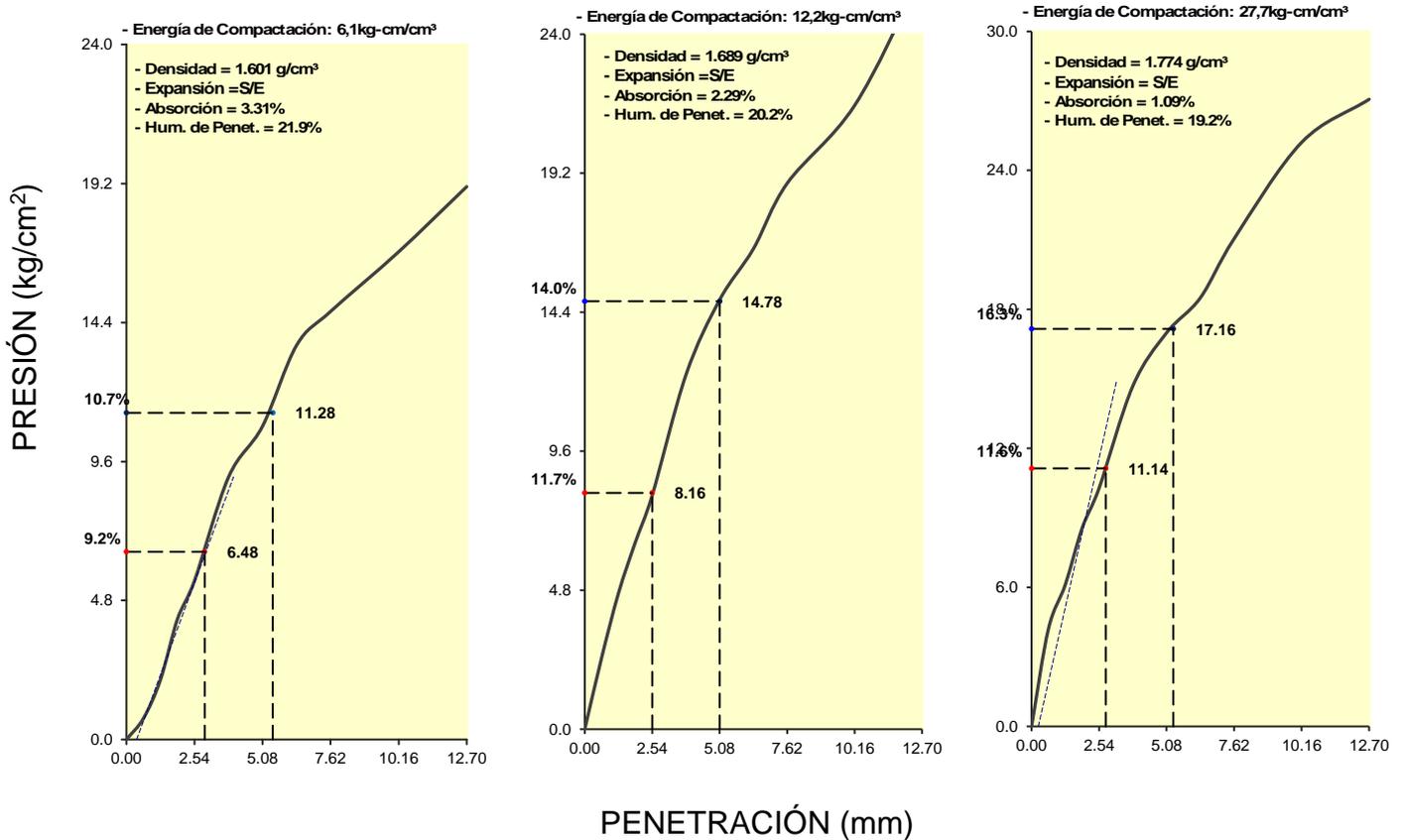


Tabla 31. Resultados de ensayo CBR del suelo modificado con 15% de SBA

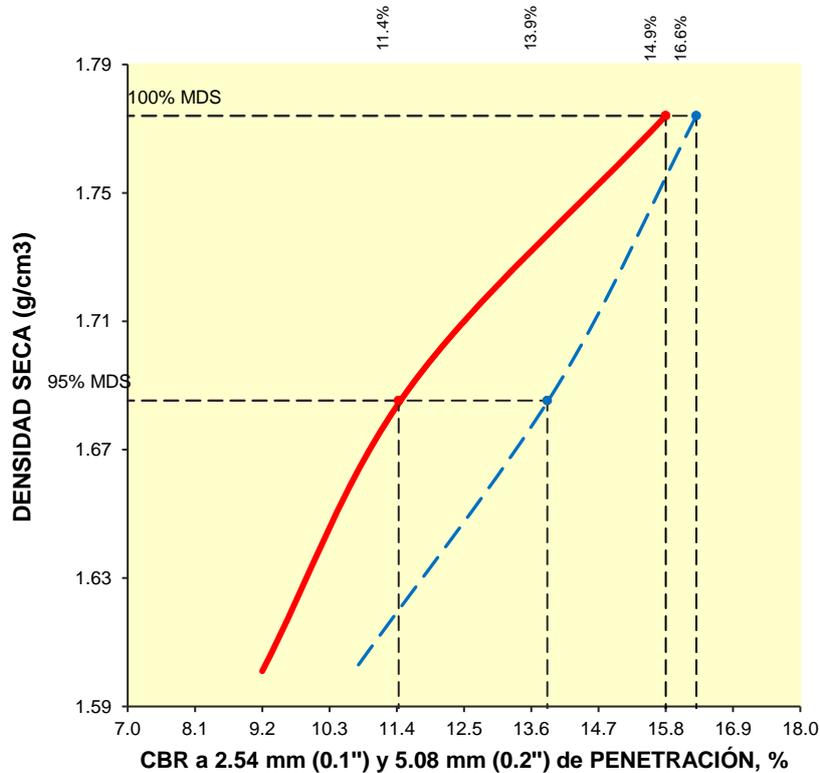
Resultados C.B.R. SA-85 + SBA-15		
C.B.R. a 2.54 mm (0.1") de penetración		
Muestra	C.B.R. AL 95%	C.B.R. AL 100%
SA-85 + SBA-15	11.4	15.8
C.B.R. a 5.08 mm (0.2") de penetración		
Muestra	C.B.R. AL 95%	C.B.R. AL 100%
SA-85 + SBA-15	13.9	16.3

Fuente: Elaboración propia

Analizando los datos obtenidos gracias a las pruebas realizadas con la muestra de suelo modificado con 15% de SBA, se entendió que el C.B.R. a 2,54 mm (0,1") era del 11.4 al 95% y del 15.8 al 100% de penetración. En cuanto al C.B.R. a 5,08 mm (0,2"), los datos que se registraron fueron de 13.9 al 95% y

de 16.3 al 100% de penetración. En las curvas graficadas en la Figura 11, se representa el vínculo entre la M.D.S. y el índice de C.B.R. a 2,54 mm (0,1") y 5,08 mm (0,2") de penetración.

Figura 16. Densidad seca vs porcentaje de C.B.R. a 2,54 mm (0,1") y 5,08 mm (0,2") de penetración (SA-85+SBA-15)



Luego de recopilar los datos de las pruebas realizadas, se resumieron detalladamente en la Tabla 32, donde se exhibe un resumen de estos para demostrar las propiedades físicas y mecánicas del espécimen de suelo modificado con 15% de SBA.

Tabla 32. Resultados de ensayos a la muestra del suelo modificado con 15% de SBA.

TABLA DE RESULTADOS DE ENSAYOS A LA MUESTRA DE SUELO MODIFICADO CON 15% DE SBA			
PROPIEDADES	ENSAYOS	DESCRIPCIÓN	SA-100
		FÍSICO	CLASIFICACIÓN DE SUELO

MECÁNICAS	ANÁLISIS	Grava %	0.2
	GRANULOMÉTRICO ASTM D 422 – MTC E 107-2013	Arena %	6.9
		Finos %	92.9
	CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D 422 – MTC E 107-2013	MH %	26.9
	LÍMITES DE ATTERBERG NTP 339.129 (99)	LL %	46.0
		LP %	22.0
		IP %	24.0
	ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO ASTM D 1557 - NTP 339.141	M.D.S. gr/cm ³	1.774
		O.C.H. %	18.1
	ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)	C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1" %	15.8
		C.B.R. (95% M.D.S.) 0.1" %	11.4
	ASTM D1883 - NTP 339.145	C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1" %	16.3
	C.B.R. (95% M.D.S.) 0.1" %	13.9	

Basándonos en los datos detallados de la Tabla 32, se observaron cambios en el suelo modificado con un 15% de SBA. Si bien es cierto que el valor del índice de C.B.R. del 11.4% indica que el terreno aumentó su resistencia relativamente entre baja y moderada para llevar a cabo trabajos de pavimentación o cimentación, la categorización de suelos según las normativas SUCS y AASHTO varió. Ahora se clasifica como suelo CL / A-7-6 (24). Este tipo de suelo es una arcilla con baja plasticidad y compresión. Además, no experimenta cambios significativos en su volumen con las variaciones de humedad. Se obtuvieron variaciones en los límites de Atterberg, observando mejor índice plástico, límite líquido y plástico. Estos resultados indican que el suelo tiene una capacidad moderada para cambiar su volumen en función de la humedad. Si se compacta correctamente, el suelo puede llegar a ser estable. Sin embargo, es importante considerar su resistencia al corte, la compatibilidad y la densidad óptima, ya que estas propiedades serán influenciadas por otros factores, como la cohesión y la fricción interna.

Análisis granulométrico del suelo modificado con 25% de SBA

El ensayo de análisis granulométrico se llevó a cabo de acuerdo a las indicaciones de las normativas ASTM D6913 - (MTC E-107), tal como se detalla en los resultados proporcionados por el laboratorio GEOTEST (anexo 7). En la tabla 33, se presenta la categorización de la muestra de suelo modificado con 25% de SBA según la normativa SUCS y la normativa AASHTO, en dichos resultados se exhiben como resultado un suelo arcilloso de baja compresibilidad, con un color marrón claro y mechas rojizas de consideración mediana. Además, en la tabla 34 se incluyen los porcentajes que pasaron a través del tamizado durante el ensayo de granulometría.

Tabla 33. Clasificación del suelo modificado con 25% de SBA según SUCS y AASHTO

Muestra	Descripción	Clasificación		Análisis Granulométrico	
		SUCS	AASHTO	%Grava	%Arena
SA-75 + SBA-25	Arcilla de baja compresibilidad, con 0.2% de grava fina; 6.9% de arena finas. 92.9% de material menor que el tamiz N.º 200 (0,074mm), de alta plasticidad de color marrón claro con manchas rojizas, de consistencia mediano.	CL	A-6 (12)	0.2%	99.8%

Fuente: Elaboración Propia

Basándonos en los datos obtenidos mostrados en la Tabla 33, según las normativas SUCS y AASHTO, se determina que el suelo corresponde a un CL / A-6 (12). Este tipo de suelo es una arcilla con baja plasticidad y no experimenta cambios significativos volumétricos. Dado que está compuesto principalmente de arcilla, se recomienda estabilizarlo y considerar sus propiedades de expansibilidad al utilizarlo en la construcción de cimientos o pavimentos.

Tabla 34. Análisis granulométrico del suelo modificado con 25% de SBA

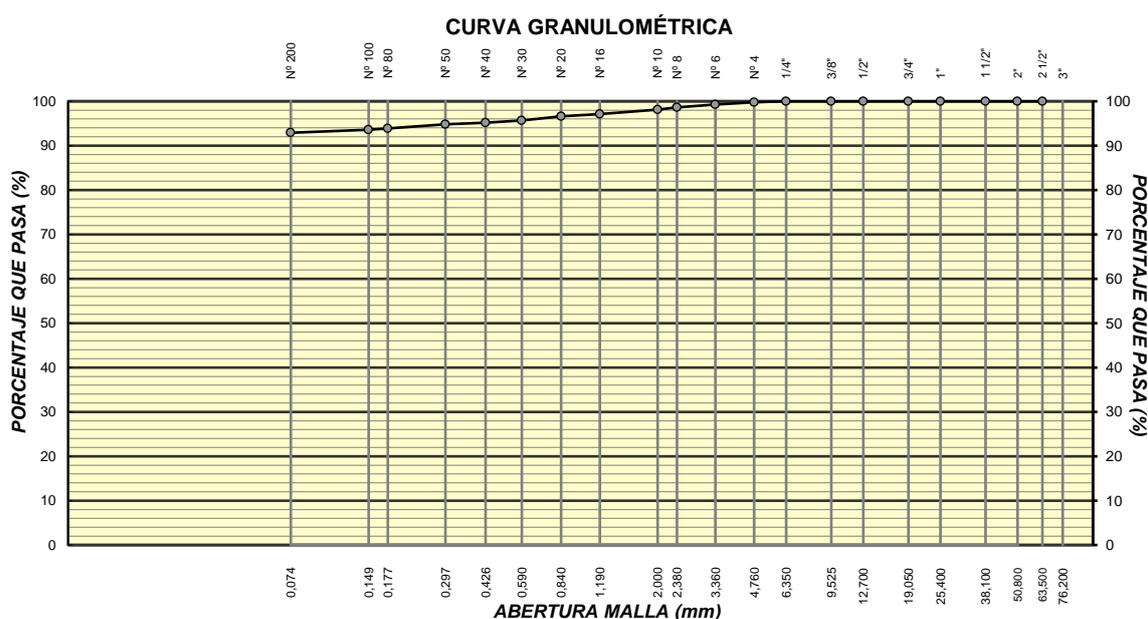
Tamiz	Abertura	P. retenido (g)	Ret. Parcial (%)	Ret. Acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
3"	76.200	-	-	-	-

2 ½"	63.500	-	-	-	100.0
2"	50.800	-	-	-	100.0
1 ½"	38.100	-	-	-	100.0
1"	25.400	-	-	-	100.0
¾"	19.050	-	-	-	100.0
½"	12.700	-	-	-	100.0
⅜"	9.525	-	-	-	100.0
¼"	6.350	-	-	-	100.0
N° 4	4.760	1.0	0.2	0.2	99.8
N° 6	3.360	2.4	0.5	0.7	99.3
N° 8	2.380	3.7	0.7	1.4	98.6
N°10	2.000	2.3	0.5	1.9	98.1
N°16	1.190	4.8	1.0	2.9	97.1
N°20	0.840	2.7	0.5	3.4	96.6
N°30	0.590	4.6	0.9	4.3	95.7
N°40	0.426	2.6	0.5	4.8	95.2
N°50	0.297	1.8	0.4	5.2	94.8
N° 80	0.177	4.5	0.9	6.1	93.9
N° 100	0.149	1.3	0.3	6.4	93.6
N° 200	0.074	3.7	0.7	7.1	92.9
N° 200	-	465.2	92.9	100.0	-

Fuente: Elaboración Propia

Se presentó la Tabla 34 donde se registran los porcentajes de los materiales presentes en la muestra de suelo modificado con un 25% de SBA. Se observa un 0.2% de grava fina, un 6.9% de arenas finas y un 92.9% de material con tamaño menor al tamiz N.º 200 (0.074 mm). En la figura 17 se exhibe la curva granulométrica del espécimen del suelo arcilloso natural, junto con el porcentaje que pasa al utilizar diferentes tamices en el laboratorio. Estos tamices abarcan desde la malla N° 200 hasta la malla de 3 pulgadas.

Figura 17. Curva granulométrica del suelo modificado con 25% de SBA



Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo modificado con 25% de SBA

Para conocer los límites de consistencia se realizó el ensayo de Atterberg se llevaron a cabo de acuerdo con la norma NTP 339.129 (99), tal como se especifica en los resultados proporcionados por el laboratorio GEOTEST (anexo 8). Los datos obtenidos en esta prueba se presentan en la tabla 35 detallando el óptimo contenido de humedad del espécimen de suelo modificado con 25% de SBA.

Tabla 35. Contenido de humedad del suelo modificado con 25% de SBA

Descripción	LL			LP	
	1	2	3	1	2
Ensayo N°	1	2	3	1	2
Capsula N°	10	11	12	15	16
P. Cápsula + suelo húmedo, g	39.58	40.21	56.40	23.56	22.54
P. Cápsula + suelo seco, g	35.31	36.16	50.54	21.19	20.46
P. agua, g	4.07	4.05	5.86	2.37	2.08
P. de la capsula, g	24.76	24.87	33.11	11.47	11.58
P. suelo seco, g	10.55	11.29	17.43	9.72	8.88
Contenido de humedad %	38.58	35.87	33.62	24.38	23.42
Número de golpes	17	25	33	-	-

Fuente: Elaboración Propia

Los datos obtenidos a través del ensayo de límites de consistencia se detallan a continuación en la tabla 36. Estos valores indican lo siguiente:

- Índice de Plasticidad (IP): El suelo tiene un IP del 12.1%, lo que refleja su capacidad para cambiar de estado semisólido a plástico.
- Límite Plástico (LP): El LP es del 23.9%, marcando el óptimo contenido de humedad (MC) en el que los suelos transitan de una condición semisólido a uno plástico.
- Límite Líquido (LL): El LL es del 36.0%, indicando el punto en el que el suelo modifica su condición plástica a semilíquido.

Estos resultados demuestran cómo la humedad afecta las propiedades del suelo, influyendo en su estructura y capacidad de deformación.

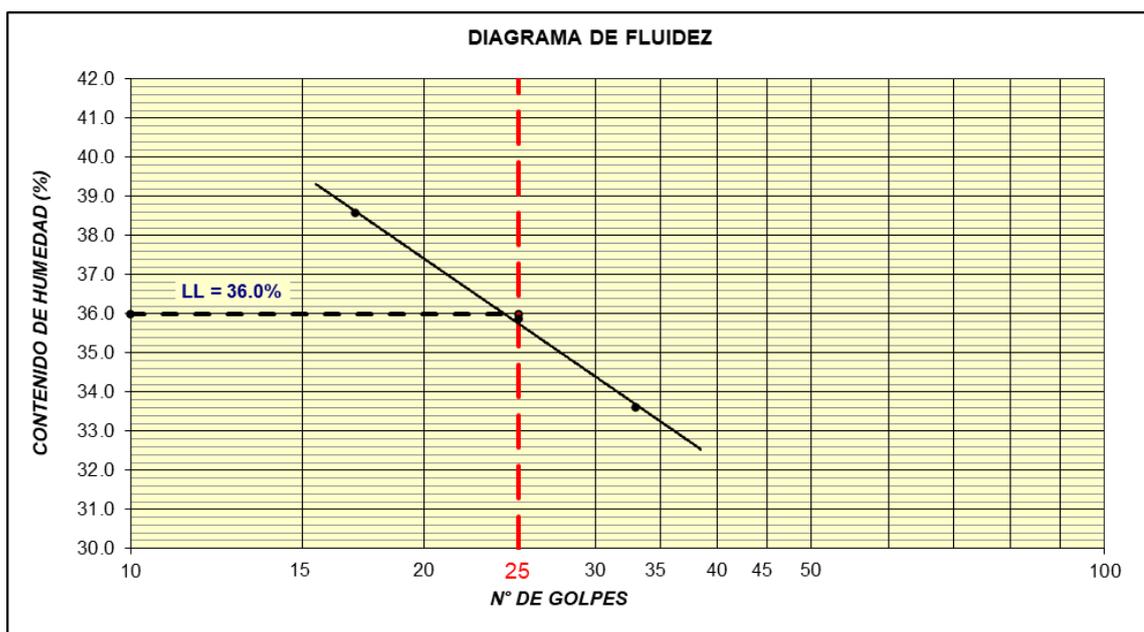
Tabla 36. Límites de Atterberg de la muestra de suelo modificado con 25% de SBA

Muestra	Límites de Atterberg		
	LL (%)	LP (%)	IP (%)
SA-75 + SBA-25	36.0	23.9	12.1

Fuente: Elaboración propia

Resulta esencial destacar que estos ensayos fueron cruciales para caracterizar rápidamente el suelo, demostrando que se tenía una clasificación correcta del suelo natural según SUCS y AASHTO. El suelo se clasificó como CL, lo que significa que es un suelo arcilloso con baja plasticidad. En resumen, estos suelos tienden a deformarse significativamente sin romperse y tienen la propiedad de detención de líquido considerable, como se evidencia en los resultados de la tabla 36. Además, mediante el gráfico de la figura 18 se exhibe el diagrama de fluidez, que ilustra lo que conocemos como la relación entre la consistencia del suelo modificado con el 25% de SBA y su MH, proporcionando una idea aproximada de la resistencia del terreno o suelo bajo estudio y demostrando cómo los límites de consistencia afectan la resistencia y condición del suelo arcilloso de acuerdo a su contenido de humedad.

Figura 18. Diagrama de Fluidez del suelo modificado con 25% de SBA



Proctor modificado del suelo modificado con 25% de SBA

Una vez realizada la prueba de Proctor modificado, de acuerdo con las indicaciones de su procedimiento, en el cual se emplea energía modificada, se llevó a cabo conforme a las normativas ASTM D1557 y NTP 339.141. En relación al espécimen de suelo modificado con 15% de SBA (SA-75%+SBA-25%), se presentan las tablas 37 y 38, donde se puede apreciar el porcentaje del contenido óptimo de humedad (O.C.H.) y la densidad seca máxima (M.D.S.).

Tabla 37. Ensayo de Proctor modificado del suelo modificado con 25% de SBA

ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO PARA CBR ASTM D1883 – NTP 339.145					
	Vol. Molde	943.0	cm ³		
	P. Molde	1974.0	gr		
NUMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4
P. Suelo Húmedo + Molde	gr.	3558.0	3872.0	3895.0	3752.0
P. Suelo Húmedo	gr.	1584.0	1898.0	1921.0	1778.0
Densidad de Suelo Húmedo	g/cm ³	1680.0	2.013	2.037	1.885
Tarro N°		100	102	105	108
P. Suelo Húmedo + tarro	gr.	356.2	312.8	327.8	330.4
P. Suelo Seco + tarro	gr.	300.0	258.9	267.2	265.5
P. del agua	gr.	55.9	53.9	60.6	64.9
P. del tarro	gr.	38.9	38.9	38.9	38.9
P. del suelo seco	gr.	261.5	220.1	228.4	226.7

Contenido de Humedad	%	21.38	24.49	26.54	28.63
Promedio de Humedad	%	21.4	24.5	26.5	28.6
Densidad del suelo seco	g/cm ³	1.384	1.617	1.610	1.466
Cantidad de agua añadida	cm ³	0	120	270	390

M.D.S.: 1.793 gr/cm³

O.C.H.: 17.5%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38. Resultados del Ensayo Proctor modificado del suelo modificado con 25% de SBA

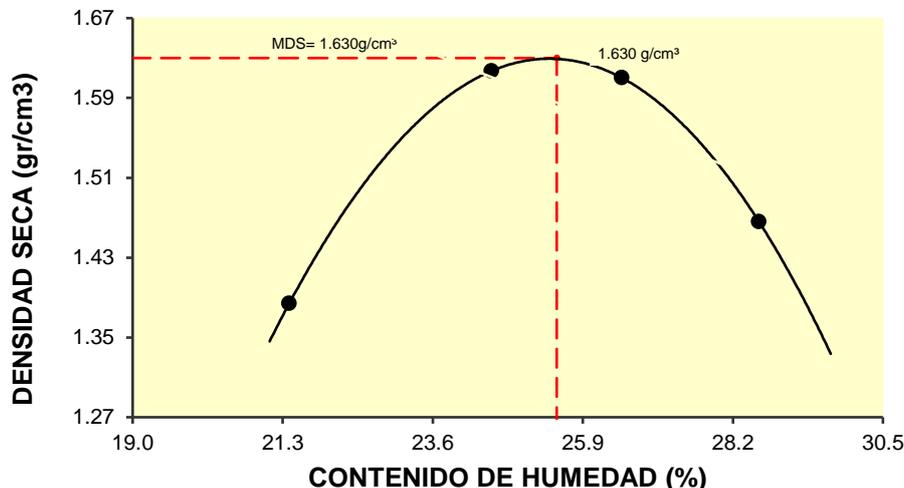
Muestra	Proctor modificado		
	Humedad Optima (%)	Densidad seca máxima (g/cm ³)	Método compactación
SA-75 + SBA-25	17.6	1.793	A

Fuente: Elaboración propia

La humedad óptima alude a la proporción de agua necesaria para que cada suelo de acuerdo a su ubicación geográfica alcance su M.D.S. Todos con una energía de compactación específica. Según los datos obtenidos en el ensayo ejecutado con el espécimen del suelo modificado con 25% de SBA, se determinó que el 17.6% era la proporción de líquido necesario para obtener la máxima compactación, utilizando la energía aplicada en la prueba de Proctor modificado. Además, la densidad máxima que el suelo podía alcanzar al ser compactado con un 18.1% de humedad era de 1.793 g/cm³.

En la Figura 19, se presentó una gráfica con la curva que muestra el vínculo entre el O.C.H. y la M.D.S. del espécimen de suelo, después de llevar a cabo la prueba de C.B.R. con el método de compactación "A". Posteriormente, se demarcó y se determinó cuál era el O.C.H. y la M.D.S. para dicho espécimen

Figura 19. Curva de compactación del suelo modificado con 25% de SBA



California Bearing Ratio (C.B.R.) del suelo modificado con 25% de SBA

Una vez realizada la prueba de C.B.R., la que se llevó a cabo de acuerdo con las indicaciones de su procedimiento conforme a las normativas ASTM D1883 y NTP 339.145, los resultados entregados por el laboratorio de suelos GEOTEST del espécimen del suelo natural se detallan en las tablas 39 y 40.

Tabla 39. Resultados de ensayo CBR del suelo modificado con 25% de SBA

ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA ASTM D1557 – NTP 339.141												
CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (C.B.R.)												
Molde N.º		4			5			6				
Número de capas		5			5			5				
Número de golpes		57			25			12				
Condición de la muestra		Sin embeber		Embebido		Sin embeber		Embebido		Sin embeber		Embebido
P. suelo húmedo + molde (gr.)		9425.0		9463.0		9210.0		9250.0		8987.0		9042.0
P. molde (gr.)		4939.0		4939.0		5011.0		5011.0		4989.0		4989.0
P. suelo húmedo (gr.)		4486.0		4524.0		4199.0		4239.0		3998.0		4053.0
Vol. del espécimen (cm ³)		2128.0		2128.0		2110.0		2110.0		2112.0		2112.0
Densidad húmeda (gr./cm ³)		2.108		2.126		1.990		2.009		1.893		1.919
Densidad Seca (gr./cm ³)		1.774		1.774		1.689		1.689		1.601		1.601
CONTENIDO DE HUMEDAD												
P. de tara (gr.)		38.9				38.9				38.9		
Tara + suelo húmedo (gr.)		326.5				344.2				366.7		
Tara + suelo seco (gr.)		283.4				298.5				318.4		
P. de agua (gr.)		43.1				45.7				48.3		
P. de suelo seco (gr.)		244.6				259.6				279.5		
Humedad (%)		17.62				17.60				17.28		
Promedio de humedad (%)		17.6		18.60		17.6		18.70		17.3		18.9
EXPANSIÓN												
Fecha	Hora	Tiempo Días	Dial pulg	Exp.		Dial pulg	Exp.		Dial pulg	Exp.		
				mm	%		mm	%		mm	%	
21/05/2024	02:25 p.m.	0	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	
22/05/2024	02:25 p.m.	1	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	
23/05/2024	02:25 p.m.	2	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	
24/05/2024	02:25 p.m.	3	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	
25/05/2024	02:25 p.m.	4	0.000	0.00	S/E	0.000	0.00	S/E	0.000	0.00	S/E	
ABSORCIÓN												
Molde N°		4			5			6				
P. suelo húmedo + plato + molde, g		12965.0			12688.0			12515.0				
P. del plato + molde, g		8441.0			8449.0			8462.0				
P. suelo húmedo embebido, g		4524.0			4239.0			4053.0				
P. suelo húmedo sin embeber, g		4486.0			4199.0			3998.0				
P. del agua absorbida, g		38.0			40.0			55.0				
P. del suelo seco, g		3814.6			3570.6			3408.4				
Absorción de agua, %		1.00			1.12			1.61				
PENETRACIÓN												
Penet.	Carga Standard	Molde N° 1			Molde N° 2			Molde N° 3				

(pulg.)	(kg/cm ²)	DIAL	CARGA A (kg)	PRESIÓN (kg/cm ²)	DIAL	CARGA (kg)	PRESIÓN (kg/cm ²)	DIAL	CARGA A (kg)	PRESIÓN (kg/cm ²)
0.000		0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00
0.635		47.1	182.5	8.93	36.0	144.4	7.07	15.5	74.1	3.63
1.270		114.4	412.8	20.21	92.8	339.0	16.60	35.6	143.1	7.00
1.905		202.3	712.3	34.87	168.5	597.3	29.24	72.0	267.8	13.11
2.540	70.3	299.9	1043.0	51.06	244.2	854.5	41.83	111.0	401.2	19.64
3.810		483.5	1659.9	81.26	345.5	1196.9	58.59	192.0	677.3	33.16
5.080	105.5	641.5	2185.4	106.98	428.0	1474.1	72.16	279.5	974.0	47.68
6.350		778.9	2638.4	129.15	488.0	1675.0	81.99	367.4	1270.6	62.20
7.620		886.6	2990.8	146.40	538.2	1842.4	90.19	459.4	1579.3	77.31
10.160		1094.6	3664.8	179.40	640.8	2183.1	106.87	613.7	2093.3	102.47
12.700		1274.6	4241.0	207.61	829.1	2802.9	137.21	668.9	2276.1	111.42

Fuente: Elaboración propia

Como se puede notar en las gráficas de la Figura 20, se exhiben las tres curvas de compactación de acuerdo a la energía utilizada en cada una de las pruebas en el ensayo de C.B.R. Estas curvas ilustran la densidad, expansión, absorción y humedad de penetración.

Figura 20. Energía de compactación, relación Penetración – Presión e Índice de CBR de la muestra del suelo modificado con 25% de SBA.

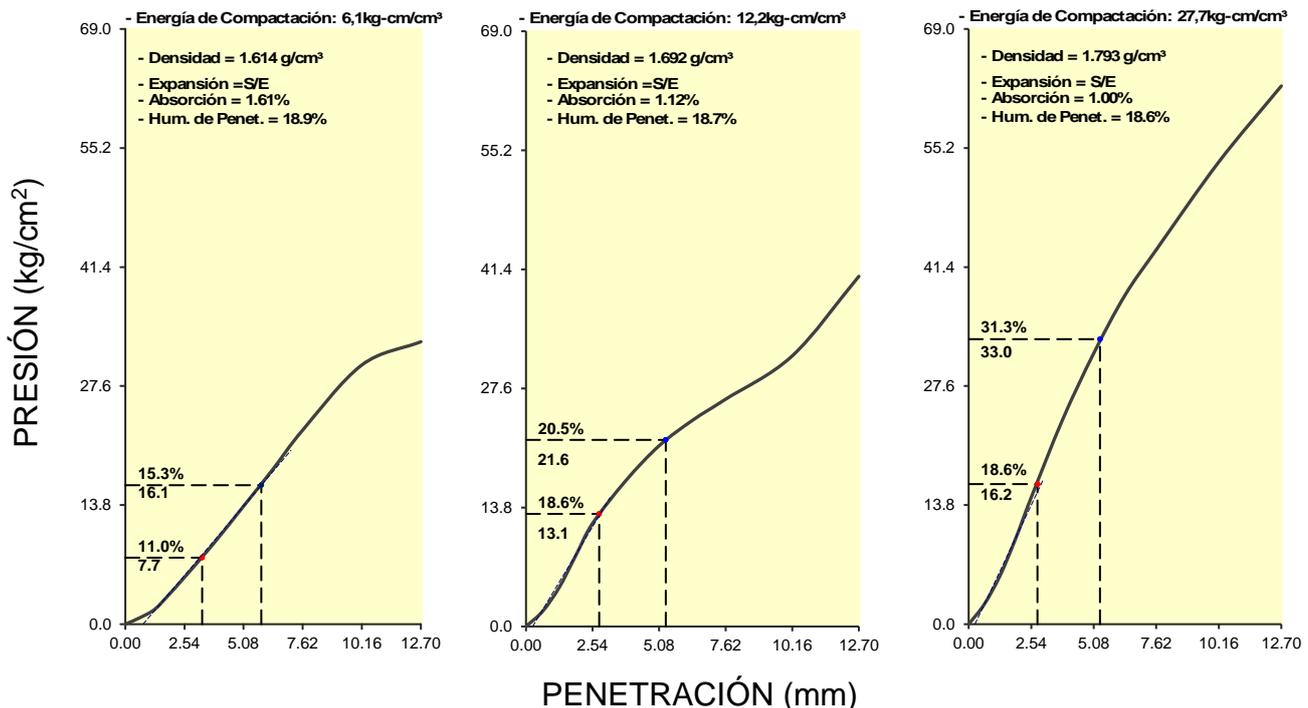


Tabla 40. Resultados de ensayo CBR del suelo modificado con 25% de SBA

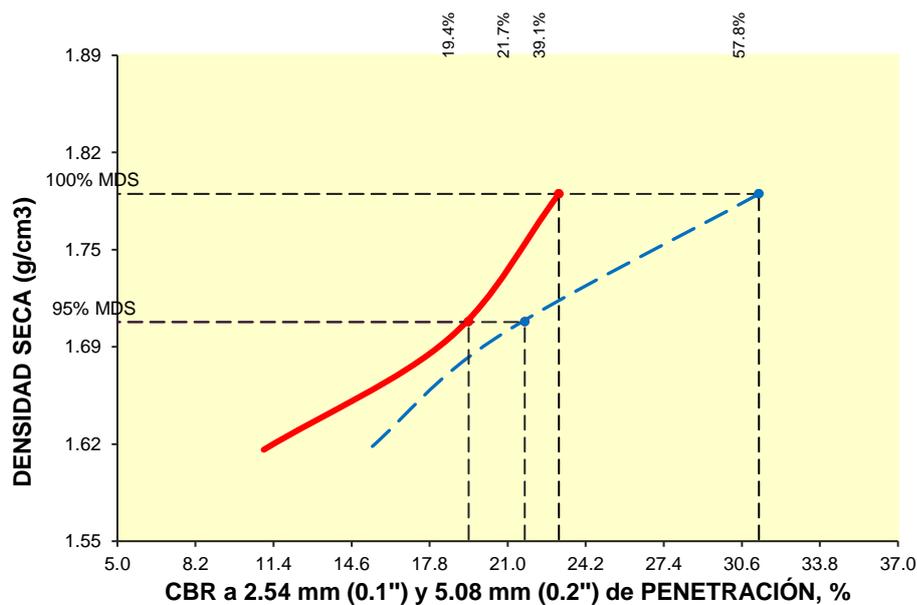
Resultados C.B.R. SA-75 + SBA-25		
C.B.R. a 2.54 mm (0.1") de penetración		
Muestra	C.B.R. AL 95%	C.B.R. AL 100%

SA-75 + SBA-25	19.4	23.1
C.B.R. a 5.08 mm (0.2") de penetración		
Muestra	C.B.R. AL 95%	C.B.R. AL 100%
SA-75 + SBA-25	21.7	31.3

Fuente: Elaboración propia

Analizando los datos obtenidos gracias a las pruebas realizadas con la muestra de suelo modificado con 25% de SBA, se entendió que el C.B.R. a 2,54 mm (0,1") era del 19.4 al 95% y del 23.1 al 100% de penetración. En cuanto al C.B.R. a 5,08 mm (0,2"), los datos que se registraron fueron de 21.7 al 95% y de 31.3 al 100% de penetración. En las curvas graficadas en la Figura 11, se representa el vínculo entre la M.D.S. y el índice de C.B.R. a 2,54 mm (0,1") y 5,08 mm (0,2") de penetración.

Figura 21. Densidad seca vs porcentaje de C.B.R. a 2,54 mm (0,1") y 5,08 mm (0,2") de penetración (SA-75+SBA-25)



Luego de recopilar los datos de las pruebas realizadas, se resumieron detalladamente en la Tabla 41, donde se exhibe un resumen de estos para demostrar las propiedades físicas y mecánicas del espécimen de suelo modificado con 25% de SBA.

Tabla 41. Resultados de ensayos a la muestra del suelo modificado con 25% de SBA.

TABLA DE RESULTADOS DE ENSAYOS A LA MUESTRA DE SUELO MODIFICADO CON 25% DE SBA			
PROPIEDADES	ENSAYOS	DESCRIPCIÓN	SA-100
	FÍSICAS	CLASIFICACIÓN DE SUELO	Clasificación AASHTO
Clasificación SUCS			CL
ANÁLISIS		Grava %	0.2
GRANULOMÉTRICO ASTM D 422 – MTC E 107-2013		Arena %	6.9
		Finos %	92.9
CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D 422 – MTC E 107-2013		MH %	26.9
LÍMITES DE ATTERBERG NTP 339.129 (99)		LL %	36.0
		LP %	23.9
		IP %	12.1
MECÁNICAS		ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO ASTM D 1557 - NTP 339.141	M.D.S. gr/cm ³
	ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)	O.C.H. %	17.6
		C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1" %	23.1
	ASTM D1883 - NTP 339.145	C.B.R. (95% M.D.S.) 0.1" %	19.4
		C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1" %	31.3
	C.B.R. (95% M.D.S.) 0.1" %	21.7	

Fuente: Elaboración propia

Basándonos en los datos detallados de la Tabla 41, se observaron cambios en el suelo modificado con un 25% de SBA. Si bien es cierto que el valor del índice de C.B.R. del 19.4% indica que el terreno aumentó su resistencia relativamente entre baja y moderada para llevar a cabo trabajos de pavimentación o cimentación, la categorización de suelos según las normativas SUCS y AASHTO varió. Ahora se clasifica como suelo CL / A-6 (12). Este tipo de suelo es una arcilla con baja plasticidad y compresión. Además, no experimenta

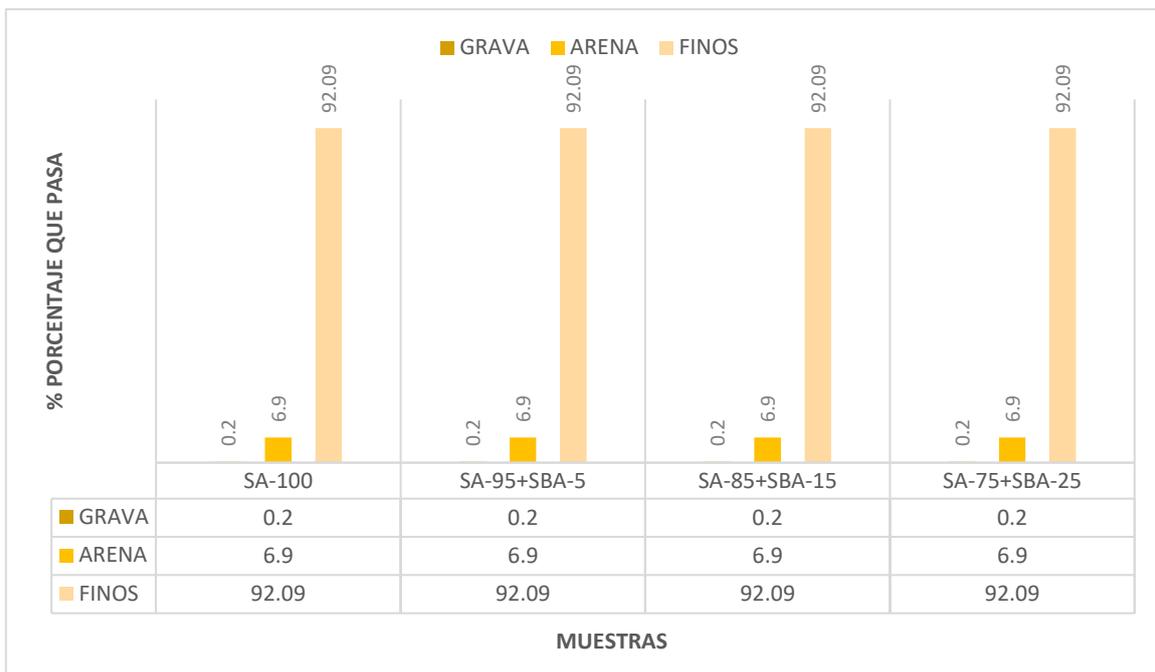
cambios significativos en su volumen con las variaciones de humedad. Se obtuvieron variaciones en los límites de Atterberg, observando mejor índice plástico, límite líquido y plástico. Estos resultados indican que el suelo tiene una capacidad mínima para cambiar su volumen en función de la humedad, lo que se debe tener en cuenta al momento de diseñar cimentaciones o estructuras sobre este tipo de suelos.

3.4. Comparación estadística entre suelo natural y los suelos modificados

Se compararon las características mecánicas entre el suelo natural y el modificado con SBA en proporciones del 5%, 15% y 25%. Por este motivo, se graficaron los datos para poder compararlos y distinguirlos de una forma más comprensible.

Comparación de resultados en el ensayo de Análisis granulométrico del suelo natural y los suelos modificados

Figura 22. Comparación de granulometría entre las muestras de suelo natural y modificado



En el gráfico estadístico de barras mostrado en la figura 22, se detallaron y compararon los porcentajes de grava, arena y finos. Se observó una predominancia de finos, con un 92.09% de material, seguido de un 6.9% de arena y un 0.2% de grava. Además, al categorizar según los sistemas SUCS y AASHTO, se identificaron variaciones en la clasificación de todas las muestras. La categorización de los suelos se presenta detalladamente en la tabla 42.

Tabla 42. Comparación de clasificación SUCS y AASHTO de las muestras de suelo natural y modificado

Muestra	Clasificación		Análisis Granulométrico	
	SUCS	AASHTO	%Grava	%Arena
SA-100	MH	A-7-5 (32)	0.2%	92.9%
SA-95+SBA-5	CH	A-7-6 (28)	0.2%	92.8%
SA-85+SBA-15	CL	A-7-6 (24)	0.2%	93.1%
SA-75+SBA-25	CL	A-6 (12)	0.2%	92.9%

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar a detalle en la tabla 42, la clasificación del suelo cambió conforme se agregaba un porcentaje de cenizas a los suelos. Inicialmente, se trataba de un suelo arcilloso inorgánico de alta plasticidad (MH). Sin embargo, después de la modificación con SBA, se reclasificó como un suelo arcilloso inorgánico de baja compresibilidad (CL). Este último tipo de suelo contiene una proporción significativa de arcilla y demuestra ser menos plástico y cohesivo.

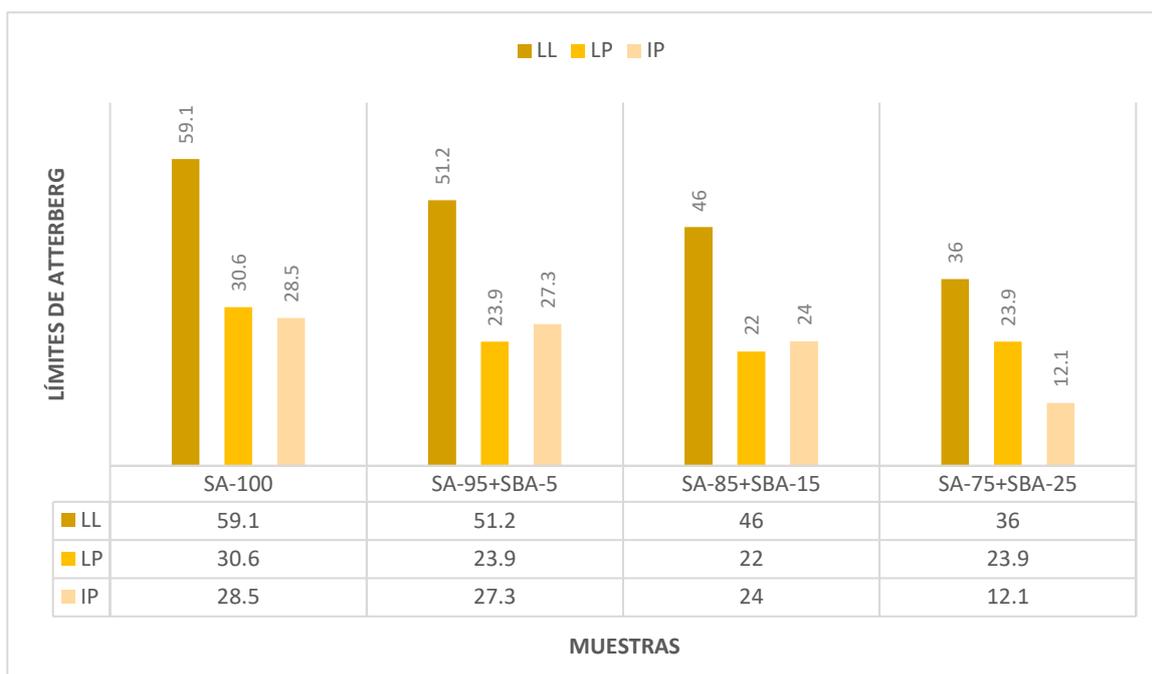
Figura 23. Comparación de contenido de humedad entre las muestras de suelo natural y modificado



Comparación de resultados en los ensayos de límites de atterberg del suelo natural y los suelos modificados

En la figura 24 se muestra la comparación de los resultados de los límites de atterberg del suelo natural y los suelos modificados.

Figura 24. Comparación de límites de atterberg entre las muestras de suelo natural y modificado

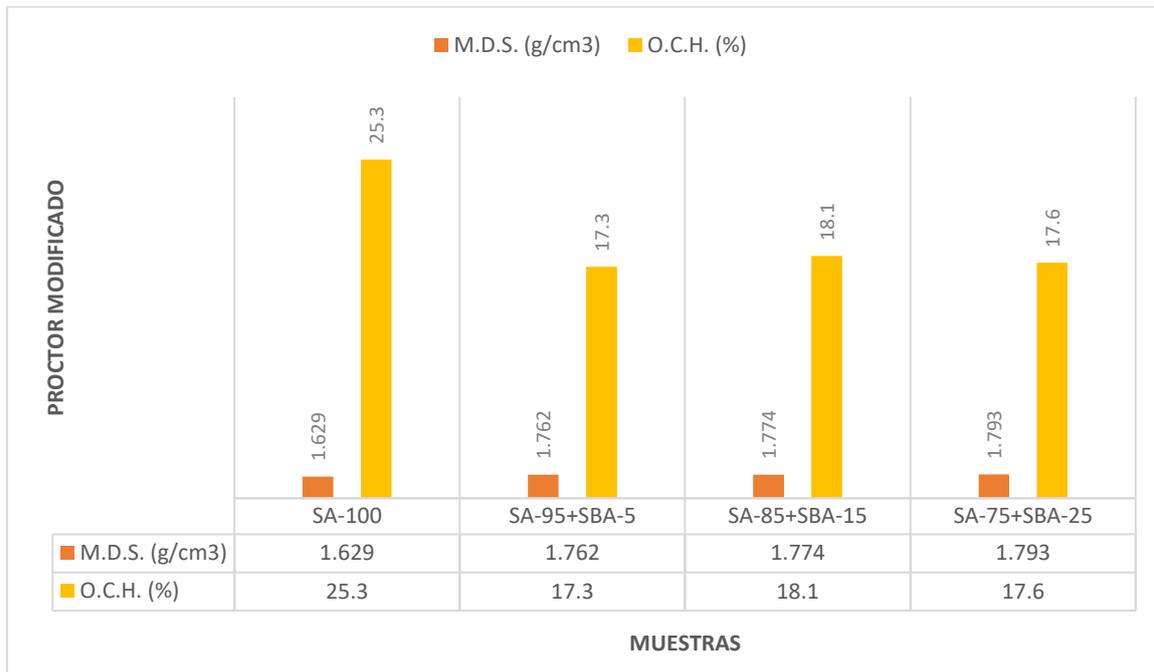


Al comparar los límites de Atterberg, se observa que el suelo natural presentaba un LL de 59.1, un LP de 30.6 y un IP de 28.5. Sin embargo, al realizar los mismos ensayos en muestras con porcentajes del 5, 15 y 25% de SBA, se evidencia una disminución en los límites. Esto indica que el suelo experimenta cambios en su consistencia y plasticidad debido a la variación de humedad. Tomemos como ejemplo el suelo modificado con un 25% de SBA, que arrojó los mejores resultados: su LL fue de 36, su LP de 23.9 y su IP de 12.1.

Comparación de resultados en los ensayos de Proctor modificado del suelo natural y los suelos modificados

Al comparar los resultados del Proctor modificado, se observa que el suelo natural tenía una máxima densidad seca (M.D.S.) de 1.629 g/cm³ y un óptimo contenido de humedad (O.C.H.) del 25.3%. Sin embargo, al realizar los mismos ensayos con la muestra de suelo modificada con un 25% de SBA, se observan variaciones tanto en su M.D.S., que es igual a 1.793 g/cm³, como en su O.C.H., que es del 17.6%.

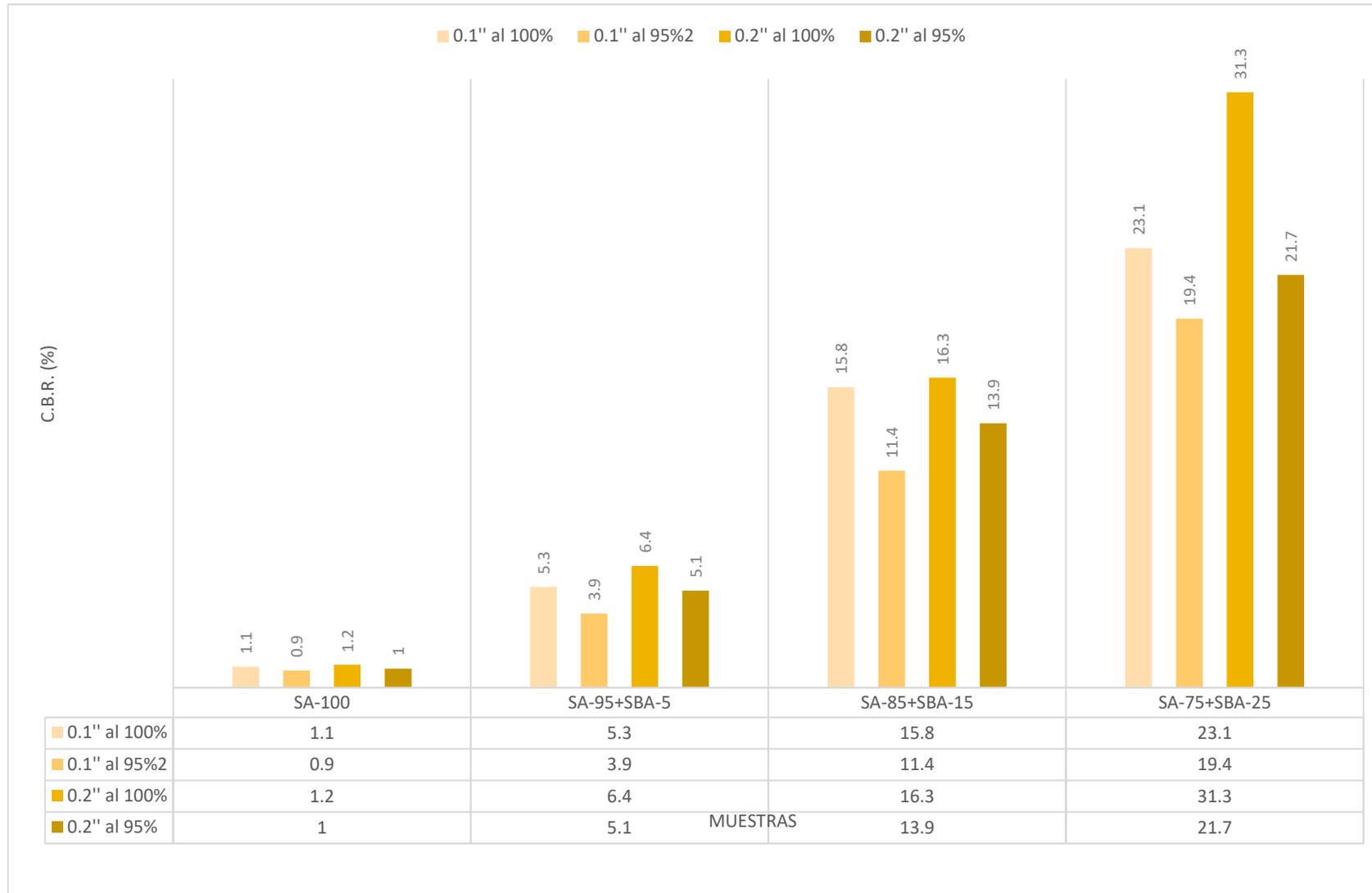
Figura 25. Comparación de resultados de ensayo de Proctor modificado entre las muestras de suelo natural y modificado



Comparación de resultados en los ensayos California Bearing Ratio (C.B.R.) del suelo natural y los suelos modificados

Considerando los resultados de los ensayos de C.B.R., observamos que el porcentaje más bajo corresponde al suelo natural, con un valor del 0.9% de C.B.R. a 2.54 mm (0.1") al 95% de la máxima densidad seca (M.D.S.). Esto indica que la capacidad del suelo para soportar cargas es relativamente baja. Sin embargo, en la muestra con un 5% de SBA, el valor aumenta a un 3.9% de C.B.R. a 2.54 mm (0.1") al 95% de la M.D.S., lo que sigue siendo relativamente bajo, pero muestra un incremento en la resistencia del suelo debido a la adición de ceniza de bagazo de caña. En el caso de la muestra con un 15% de SBA, el valor alcanza el 11.4% de C.B.R. a 2.54 mm (0.1") al 95% de la M.D.S. Por último, la muestra con un 25% de SBA presenta un valor positivo del 19.4% de C.B.R. a 2.54 mm (0.1") al 95% de la M.D.S., lo que sugiere que el suelo tiene una buena capacidad para soportar cargas antes de deformarse o fallar. La figura 26 muestra los resultados de los ensayos de C.B.R. desde el suelo natural hasta el suelo modificado, tanto para C.B.R. a 2.54 mm (0.1") como para C.B.R. a 5.08 mm (0.2").

Figura 26. Comparación del porcentaje de CBR en diferentes penetraciones al 95 y 100% entre la muestra de suelo natural y modificados



En la tabla 43, 44 y 45 encontramos los resultados de las pruebas de ANOVA – Tukey realizadas con los datos de los ensayos de Proctor modificado para identificar el promedio de humedad (%).

Tabla 43. Prueba ANOVA - tukey - comparaciones entre suelo natural y modificado

RESUMEN				
Muestras	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
SA-100	4	101	25.25	9.39
SA-95+SBA-5	4	70.2	17.55	6.856666667
SA-85+SBA-15	4	101	25.25	9.39
SA-75+SBA-25	4	101	25.25	9.39

Tabla 44. Prueba ANOVA - tukey - comparaciones entre suelo natural y modificado

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	177.87	3	59.29	6.770 84126 4	0.006 34849 1	3.490294 819
Dentro de los grupos	105.08	12	8.756666667			
Total	282.95	15				

Tabla 45. Prueba tukey - comparaciones entre suelo natural y modificado

Dif. poblacional	Dif. muestral	Decisión
$\mu_A - \mu_B$	7.70	Significativa
$\mu_A - \mu_C$	0.00	No significativa
$\mu_A - \mu_D$	0.00	No significativa
$\mu_B - \mu_C$	7.70	Significativa
$\mu_B - \mu_D$	7.70	Significativa
$\mu_C - \mu_D$	0.00	No significativa

Tabla 46. Prueba ANOVA - tukey - comparaciones entre suelo natural y modificado

RESUMEN					
Muestras	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	
SA-100	4	6.077	1.51925	0.012972917	
SA-95+SBA-5	4	6.354	1.5885	0.018689667	
SA-85+SBA-15	4	6.077	1.51925	0.012972917	
SA-75+SBA-25	4	6.077	1.51925	0.012972917	

Tabla 47. Prueba ANOVA - tukey - comparaciones entre suelo natural y modificado

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.014386688	3	0.004795563	0.332976518	0.80175834	3.490294819
Dentro de los grupos	0.17282525	12	0.014402104			
Total	0.187211938	15				

Tabla 48. Prueba tukey - comparaciones entre suelo natural y modificado

Dif. poblacional	Dif. muestral	Decisión
$\mu_A - \mu_B$	0.07	Significativa
$\mu_A - \mu_C$	0.00	Significativa
$\mu_A - \mu_D$	0.00	Significativa
$\mu_B - \mu_C$	0.07	Significativa
$\mu_B - \mu_D$	0.07	Significativa
$\mu_C - \mu_D$	0.00	Significativa

En las tablas 46, 47 y 48 se ve que la diferencia muestral de todos los grupos es menor a $p=0.06$, esto indica que se encuentra una disimilitud significativa entre los datos obtenidos del índice de CBR al agregar las proporciones del 5, 15 y 25% de SBA al suelo natural.

IV. DISCUSIÓN

El estudio actual analiza cómo la incorporación de SBA afecta las propiedades estructurales y mecánicas del suelo arcilloso.

Como primer objetivo específico, planteamos analizar las características y propiedades de las SBA mediante un análisis de fluorescencia de rayos X (XRF) y granulometría. Los resultados obtenidos del ensayo de XRF revelan la constitución química de los elementos presentes con mayor porcentaje de existencia en las muestras. Esta composición química demuestra que el óxido de silicio representa un 53.981%, el óxido de hierro un 10.452%, el óxido de calcio un 9.344%, el óxido de potasio un 7.648% y el óxido de aluminio un 5.439%, siendo esenciales para activar la puzolana de las cenizas de bagazo de caña. Esta reacción ocurre gracias al alto contenido de sílice, que, al entrar en relación con la humedad del suelo, reacciona con el hidróxido de calcio, formando compuestos cementantes. Por esta razón, las SBA mejoran la resistencia, reducen la permeabilidad y aumentan la durabilidad de los materiales. Además, el análisis granulométrico de las SBA mediante un procedimiento de tamizado integral indica que no presentan límites de Atterberg y tienen un contenido de humedad del 0.8%. Utilizando el porcentaje de cenizas finas que pasan a través del tamiz N°200.

Basándonos en los estudios previos, sabemos que las SBA están compuestas principalmente por sílice (SiO_2), óxido de aluminio (Al_2O_3), óxido de hierro (Fe_2O_3) y óxido de calcio (CaO). Para lograr una reacción uniforme, es crucial controlar el tamaño de las partículas mediante tamices en un laboratorio de suelos. Estas cenizas desempeñan un papel esencial, ya sea como adición en la producción de diferentes materiales compuestos o como agentes estabilizadores, según se plantea en este estudio. En la actualidad, las SBA encuentran aplicaciones en el sector de la construcción. Investigaciones recientes proponen su uso en la producción de concretos, plásticos, caucho o como sustituto parcial del cemento y/o la cal (Agunsoye y Aigbodion 2013).

El contenido de dióxido de silicio en las cenizas, que representa un 48.7%, indica que puede actuar como una puzolana cuando se añade al concreto, mortero o como potenciador para optimizar las características físicas y mecánicas del suelo. La puzolana, al reaccionar con el hidróxido de calcio

liberado, forma compuestos adicionales que optimizan la resistencia y durabilidad a largo plazo del material. Por lo tanto, la mayoría de las aplicaciones de las SBA están orientadas hacia el fortalecimiento de estos materiales en la construcción y la ingeniería civil (Sravan et al. 2023).

En relación con el segundo objetivo específico, estamos identificando las características y propiedades de los suelos naturales mediante ensayo de granulometría, límites de consistencia, Proctor modificado y C.B.R. Los resultados obtenidos son los siguientes: Según la categorización SUCS, el suelo sin modificaciones se considera un suelo limoso o arenoso fino (MH). Por otro lado, según la Categorización AASHTO, se clasifica como una arcilla de alta compresión (A-7-5 (32)). Estos suelos presentan características plásticas y pueden experimentar expansiones o contracciones debido a los cambios en la humedad. En el análisis granulométrico, la muestra de suelo natural corresponde a un suelo arcilloso de alta plasticidad. Contiene un 0.2% de grava fina y un 6.9% de arena fina. El 92.9% del material es menor que el tamiz N.º 200 (0.074 mm). Este suelo muestra alta plasticidad, con un color marrón claro y manchas rojizas, y su consistencia es mediana. En cuanto a los Límites de Atterberg, los valores obtenidos según el ensayo siguiendo la norma NTP 339.129 (99) son los siguientes: límite líquido del 59.1%, límite plástico del 30.6% e índice de plasticidad del 28.5%. Además, el Ensayo C.B.R. reveló una M.D.S. de 1.629 g/cm³ y un contenido de humedad óptimo del 25.3%. Por último, el Proctor modificado indicó un C.B.R. del 0.9% al 95% de la M.D.S., lo que sugiere que el suelo tiene una resistencia relativamente baja cuando se compacta a este nivel de densidad. Por lo tanto, se destaca la necesidad de mejoramiento o estabilización para su uso en construcción.

Desde una perspectiva teórica, los suelos ricos en partículas de arcilla, exhiben una notable plasticidad, lo que significa que pueden cambiar su forma y consistencia en respuesta a variaciones en la humedad (Alavéz et al. 2012). Cuando las arcillas se secan, se vuelven rígidas y presentan una permeabilidad extremadamente baja, lo que dificulta el flujo de agua a través de ellas. Estas propiedades únicas de las arcillas permiten su categorización en diversas clases según sistemas de clasificación SUCS o AASHTO. La comprensión de estas características es fundamental para el diseño y la ingeniería geotécnica,

especialmente cuando se considera su uso en construcción y cimentación (Terzaghi y Peck 1978). Según las escalas de clasificación, un suelo que contiene un 35% de arena, un 35% de limo y un 30% de arcilla se denomina franco arcilloso arenoso (Ciancaglini 2016).

Para consolidar los terrenos, se realiza un procedimiento que modifica las características físico-mecánicas del suelo, otorgándole nuevas propiedades estructurales. El objetivo principal de este proceso es prevenir el daño o desgaste de las estructuras durante su período de uso. Para lograr este propósito, se recomienda la incorporación o el uso de sustancias químicas, ya sean naturales o sintéticas (Daz 2014).

Con respecto al tercer objetivo específico, se evaluaron las características y propiedades de los suelos después de ser modificados con SBA mediante ensayos de granulometría, límites de consistencia, Proctor modificado y C.B.R. Los resultados obtenidos son los siguientes: Los suelos modificados con adiciones de cenizas en proporciones del 5%, 15% y 25% muestran una mejora progresiva en sus propiedades. Estos hallazgos han generado un debate sobre el potencial de las SBA para optimizar las características del suelo. Para el estudio, creamos una mezcla compuesta por un 95% de suelo arcilloso (SA) y un 5% de SBA. El análisis granulométrico de esta mezcla reveló una transformación en su clasificación de suelos según SUCS, pasando a ser considerada un suelo (CH) de arcilla de alta plasticidad. Esto sugiere que la mezcla tiene una notable capacidad para deformarse sin fracturarse bajo tensión o presión. En cuanto a la clasificación AASHTO, el suelo modificado se identifica como A-7-6 (28), un suelo de grano fino con alta plasticidad y expansión. Este índice de grupo (28) proporciona información específica sobre su capacidad de soporte y comportamiento bajo carga. Además, realizamos ensayos de límites de Atterberg siguiendo la norma NTP 339.129 (99), determinando un LL del 51.2%, un LP del 23.9% y un IP del 27.3%. Estos hallazgos son esenciales para comprender cómo el suelo se comporta en diferentes niveles de humedad, lo que tiene implicaciones cruciales para el diseño y la construcción de cimientos. En el ensayo C.B.R., encontramos que M.D.S. es de 1.762 g/cm³ y el porcentaje de humedad óptimo ideal es del 17.3%. Esto indica que, durante la compactación, el suelo debe contener ese

porcentaje de agua para obtener su M.D.S. Sin embargo, el ensayo de C.B.R. mostró que cuando el suelo se compacta hasta el 95% de su máxima densidad seca, su resistencia, medida a través del C.B.R., es solo del 3.9%. Esto significa que el suelo tiene una resistencia baja cuando se compacta a este nivel de densidad. Dicha resistencia podría no ser suficiente para ciertas aplicaciones de construcción, como la creación de cimientos, donde se requiere un suelo con mayor resistencia. Por lo tanto, es posible que se necesite mejorar o estabilizar el suelo antes de utilizarlo en tales aplicaciones.

La segunda mezcla, denominada SA-85 + SBA-15, consiste en un 85% de SA y un 15% de SBA. Al aumentar la proporción de ceniza, evaluamos una alteración en la categorización del suelo según SUCS y también según la clasificación AASHTO. Este cambio se atribuye a la floculación, un proceso en el que las partículas del suelo se aglomeran para formar estructuras más grandes conocidas como flóculos. La adición de ceniza no solo genera flóculos, no solo modifica el suelo, sino que también fortalece su estructura y aumenta su capacidad para retener agua. A continuación, describimos las mejoras observadas en la segunda muestra de suelos modificados. Según el SUCS, el suelo contiene una cantidad considerable de partículas de arcilla (CL). A pesar de esto, no se observa una tendencia significativa a cambiar su forma o volumen con perturbaciones en el contenido de agua. En la clasificación AASHTO, el suelo se identifica como A-7-6 con un grado (24), esto sugiere que estamos frente a un suelo arcilloso con una alta capacidad de compresión. En los límites de Atterberg, se obtienen los siguientes resultados: un índice plástico del 24.0%, un límite plástico del 22.0% y un límite líquido del 46.0%. Estos valores son cruciales para el estudio, ya que nos permiten explorar cómo se comporta el suelo modificado bajo diversos estados de humedad y carga. Además, en el ensayo de C.B.R., hemos determinado que la M.D.S. tiene un valor de 1.630 g/cm³ y que el contenido de humedad ideal es del 25.5%. Asimismo, el ensayo de compactación con energía modificada revela que el C.B.R. al 95% de la M.D.S. es del 11.4%, lo que advierte que el suelo presenta una resistencia moderada cuando se compacta hasta este nivel de densidad. En resumen, la adición de SBA tiene una repercusión moderada en las propiedades y características del suelo natural, lo que puede ser relevante para

su uso en diversas aplicaciones.

Finalmente, se estudió la mezcla denominada SA-75 + SBA-25, que evidencia que, al agregar cenizas, se logra una mejora en las características físico-mecánicas del suelo en estudio. Mediante el análisis granulométrico, se clasificó el suelo de la siguiente manera: según SUCS, se identifica como un suelo CL, lo que indica que estamos frente a un suelo arcilloso con baja plasticidad. Esta clasificación nos permite explorar su comportamiento. En la clasificación AASHTO, se categoriza como un suelo A-6 con grado (12), señalando una presencia notable de partículas de arcilla capaces de alterar su volumen o forma con cambios en el contenido de agua. Los límites de Atterberg proporcionan resultados importantes para comprender la plasticidad del suelo. En este caso, medimos un LL del 36%, un LP del 23.9% y un IP del 12.1%. Estos valores indican que el suelo mantiene su integridad dentro de un rango específico de humedad. En el ensayo C.B.R., encontramos que la M.D.S. es de 1.630 g/cm^3 y que el contenido de humedad ideal es del 25.5%. Esto significa que, para lograr la M.D.S. durante la compactación, el suelo debe conservar ese nivel específico de humedad. Además, el ensayo de compactación con energía modificada revela que el C.B.R. al 95% de la M.D.S. es del 19.4%. Esto sugiere que la adición de ceniza al 25% es ideal para aumentar la resistencia del suelo arcilloso hasta un nivel moderado apto para la construcción de cimientos y edificaciones.

Los resultados de este estudio muestran paralelismos con investigaciones anteriores. Por ejemplo, Sravan et al. (2023) exploraron el efecto de incorporar cenizas de hojas de plátano en proporciones del 5%, 15% y 25% para estabilizar los suelos. Observaron un aumento en el valor del C.B.R. correlacionado con los porcentajes de ceniza utilizados. Tingal (2023), por su parte, se propuso mejorar las propiedades de los suelos arcillosos mediante la incorporación de cenizas derivadas de residuos de caña. Al incluir estas cenizas (SBA) en el ensayo Proctor modificado, se observó un aumento significativo en el valor del CBR, alcanzando un 9.150%. Los suelos naturales presentaban una M.D.S. de 1.305 g/cm^3 y un O.C.H. del 23.740%. Sin embargo, al mezclar el suelo con un 20% de cenizas de SBA, se obtuvo una M.D.S. de 1.268 g/cm^3 y un O.C.H. del 33.280%.

Adnan et al. (2023), investigan la aplicación de SBA. Después de rigurosas pruebas con un 3%, 8% y 16% de ceniza, determinaron que la proporción óptima es del 6% en peso de cal y el 16% de SBA. Esta mezcla mejora la resistencia a la compresión sin confinamiento y reduce el Índice de Plasticidad (IP) del terreno. Los datos obtenidos en los análisis de Máxima Densidad Seca (MDD), C.B.R. y resistencia a la compresión demostraron aumentos del 5.8%, 41.52% y 43.58%, respectivamente. Estos hallazgos indican que las SBA mejoran proporcionalmente el suelo estabilizado, ofreciendo una solución rentable y sostenible para la gestión de residuos.

El estudio realizado por Arya et al. (2023), los suelos pueden experimentar considerables expansiones y contracciones debido a las variaciones en su contenido de humedad. Estas características pueden optimizarse mediante el refuerzo con diferentes materiales. Una alternativa para consolidar los suelos en diversas áreas de la ingeniería es el uso de fibra de poliéster (FP) y ceniza de bagazo (BA). En este estudio, se emplearon proporciones variables de ceniza de bagazo (0%, 4%, 8%) y fibra de poliéster (0%, 0.15%, 0.30%, 0.60%) en dependencia del peso del suelo. Se realizaron pruebas como el límite líquido (LL), límite plástico (PL), gravedad específica (SG), distribución del tamaño de grano del suelo, prueba Standard Proctor (SP) y prueba California Bearing Ratio (CBR). Los resultados obtenidos muestran un incremento porcentual en los ensayos CBR, lo que sugiere una mejora en la resistencia del suelo.

Según el cuarto objetivo específico, comparamos los resultados obtenidos de los suelos modificados con los suelos convencionales. Tras un análisis detallado, observamos un incremento en la resistencia del suelo, evaluada mediante el ensayo de C.B.R., al pasar del 0.9% en el suelo sin adiciones de ceniza al 19.4% en el suelo modificado con un 25% de cenizas (SBA). En cuanto a los límites de Atterberg, el índice de plasticidad muestra una mejora notable, disminuyendo del 28.5% en el suelo natural al 12.1% en el suelo modificado. De manera similar, el límite líquido ha disminuido del 59.1% en el suelo natural al 36.0% en el suelo modificado. Estas variaciones indican que el suelo natural, después de ser modificado, se ha vuelto más firme y menos plástico, lo cual es ventajoso para aplicaciones que requieren que el suelo soporte cargas, como en la construcción de cimientos. En el ensayo Proctor

modificado, determinamos que la máxima densidad seca (M.D.S.) del suelo natural es de 1.629 g/cm^3 con un contenido de humedad ideal del 25.3%. En contraste, el suelo modificado con un 25% de SBA muestra una M.D.S. de 1.630 g/cm^3 y un contenido de humedad ideal de 25.5%.

V. CONCLUSIONES

- Se ha demostrado que la adición de SBA (agregado siderúrgico) tiene una impresión efectiva en las características geotécnicas del suelo destinado a la construcción de estructuras y cimientos. Esta mejora fue especialmente notable al utilizar la combinación de SA-75 y SBA-25. Se observaron mejoras significativas, especialmente en los límites de consistencia y en los ensayos de C.B.R. Como resultado, el suelo se optimizó, fortaleciendo su resistencia y catalogándose como adecuado para su uso en proyectos de construcción e infraestructura.
- De acuerdo al contexto del primer objetivo específico, se ha evidenciado que el elevado contenido de sílice en las SBA desempeña un papel fundamental en la mejora de las propiedades geotécnicas de los SA. La sílice, como componente esencial de estas cenizas, contribuye de manera significativa a la estabilidad y resistencia del terreno. Al incorporar estas cenizas al suelo, la sílice interactúa con sus componentes, formando silicatos de calcio hidratados que benefician la estructura del suelo. Como resultado, se logra un aumento en la resistencia al corte y la capacidad de carga del suelo, lo cual es valioso para diversas aplicaciones en la ingeniería civil.
- En el contexto del segundo objetivo específico, se llevaron a cabo los análisis de las propiedades físicas y mecánicas del terreno en el asentamiento humano Virgen Asunta, ubicado en la ciudad de Chachapoyas. Según la clasificación SUCS, este suelo se cataloga como MH. Además, de acuerdo con la clasificación AASHTO, corresponde a un suelo A-7-5 (32). Estos resultados señalan que el suelo es altamente plástico, elástico y tiene buena capacidad de retención de agua. En cuanto a los límites de consistencia, se obtuvieron los siguientes valores: el límite líquido (LL) es del 59.1%, el límite plástico (LP) es del 30.6% y el índice de plasticidad (IP) es del 28.5%. Además, mediante el estudio de Proctor modificado, se determinó una densidad seca máxima (M.D.S.) de 1.629 g/cm³ y un contenido óptimo de humedad del 25.3%. Finalmente, al evaluar la capacidad de soporte de cargas del suelo mediante el ensayo de C.B.R. al 95% de la M.D.S. con una penetración de 0.1 pulgadas, se obtuvo un valor de CBR de 0.9%. Estos resultados son relevantes para considerar las implicancias en proyectos de

construcción que involucren este tipo de suelo.

- En el contexto del tercer objetivo específico, se analizaron las variaciones en las características físicas y mecánicas del suelo después de modificarlo con SBA en cantidades del 5%, 15% y 25%. El análisis granulométrico de las mezclas estudiadas reveló que al aumentar la cantidad de SBA, también aumentaba la proporción de partículas más grandes. Esto se debe a la floculación de los fragmentos de arcilla en presencia de la ceniza. Además, se observó una mayor estabilidad volumétrica del suelo, evidenciada por la disminución o eliminación de su potencial expansivo. Los resultados indican que el índice de plasticidad del suelo natural era del 28.5%. En las mezclas con un 15% de SBA y un 85% de suelo natural (SA), el índice fue del 24.0%. En el caso de la mezcla con un 25% de SBA y un 75% de SA, el índice se redujo al 12.1%. La variación en las curvas del ensayo de C.B.R. sugiere que los suelos tratados requieren menos energía para compactarse en comparación con el suelo natural. Por ejemplo, el suelo natural presentó un índice de CBR del 0.9%, indicando una capacidad de soporte insuficiente. En contraste, las mezclas con un 15% y un 25% de SBA mostraron índices de CBR del 11.4% y 19.4%, respectivamente, al compactarse al 95% de la densidad seca máxima (M.D.S.) con una penetración de 0.1 pulgadas. Estos hallazgos sugieren que la combinación de un 25% de SBA y un 75% de SA es la más efectiva para optimizar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos.
- En el contexto del cuarto objetivo específico, se compararon las diferencias entre el suelo natural y el suelo modificado con un 25% de SBA. Los límites de consistencia del suelo natural arrojaron los siguientes valores: el límite líquido (LL) fue del 59.1%, el límite plástico (LP) fue del 30.6% y el índice de plasticidad (IP) fue del 28.5%. Además, mediante los resultados del Proctor modificado, se determinó una D.S.M. de 1.629 g/cm³ y un contenido óptimo de humedad del 25.3%. La combinación de un 25% de ceniza de bagazo con un 75% de suelo natural (SA-75 + SBA-25) demostró mejoras significativas en las propiedades del suelo. El análisis granulométrico reveló que esta mezcla contenía un 92.9% de partículas finas, lo que facilita la compactación y optimiza las características geotécnicas. El índice de

plasticidad registrado fue del 12.1%, indicando una baja plasticidad según las clasificaciones SUCS y AASHTO (suelo CL y A-6 [12]), lo que sugiere una calidad de subrasante mediana. Los ensayos mediante el Proctor Modificado arrojaron una M.D.S. de 1.630 g/cm³ y una humedad óptima del 25.5%, factores cruciales para lograr una compactación efectiva. Además, un valor de California Bearing Ratio del 19.4% indica una capacidad de soporte moderada, lo cual es fundamental para evaluar la idoneidad del suelo en la construcción de cimientos y estructuras.

VI. RECOMENDACIONES

- Es crucial garantizar que las muestras de suelo y ceniza seleccionadas estén libres de materia orgánica y sustancias químicas que puedan reaccionar con los aditivos. La interacción entre estos componentes podría afectar negativamente las propiedades inherentes del suelo.
- Además de añadir SBA al suelo, es viable combinarlo con otros aditivos comunes. La elección de estos aditivos y su proporción dependerá de la clasificación y el tipo de suelo, así como de las mejoras específicas que se deseen lograr. Se recomienda utilizar estos aditivos en cantidades reducidas para maximizar los beneficios de las cenizas de bagazo.
- La incorporación de SBA altera las características técnicas del suelo, las cuales están influenciadas por su composición mineral. Es fundamental llevar a cabo investigaciones adicionales para comprender la interacción entre las cenizas de bagazo y estas propiedades, prestando especial atención al tipo predominante de arcilla. Además, se sugiere investigar los suelos arcillosos en distintas localidades geográficas, dado que su comportamiento puede variar considerablemente alrededor del mundo.

REFERENCIAS

- ADNAN, M., KUMAR, S., GARG, N., KUMAR GUPTA, K. y KUMAR DAS, S., 2023. Soil stabilization using waste “Bagasse ash and lime”: A review. *Materials Today: Proceedings*, ISSN 22147853. DOI 10.1016/j.matpr.2023.05.018.
- AGUNSOYE, J.O. y AIGBODION, V.S., 2013. Bagasse filled recycled polyethylene bio-composites: Morphological and mechanical properties study. *Results in Physics*, vol. 3, ISSN 22113797. DOI 10.1016/j.rinp.2013.09.003.
- CERCADO VÁSQUEZ, L. y ZAVALETA DETQUIZÁN, J., 2018. Análisis del grado de expansibilidad de suelos arcillosos en las calles del Asentamiento Humano Señor de los Milagros del distrito de Chachapoyas - Amazonas. En: Accepted: 2018-07-06T20:51:25Z, *Universidad Privada Antenor Orrego* [en línea], [consulta: 27 octubre 2023]. Disponible en: <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/4174>.
- COAZUCAR: Corporación Azucarera del Perú. [en línea], 2021. [consulta: 27 octubre 2023]. Disponible en: <https://coazucar.com/esp/index.html>.
- CPG19-55 «*Problemática geotécnica en la ciudad de Chachapoyas, Región Amazonas*» [en línea], [sin fecha]. S.l.: s.n. [consulta: 27 octubre 2023]. Disponible en: <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/CPG19-55.pdf>.
- DANG, L.C., FATAHI, B. y KHABBAZ, H., 2016. Behaviour of Expansive Soils Stabilized with Hydrated Lime and Bagasse Fibres. *Procedia Engineering*, vol. 143, ISSN 18777058. DOI 10.1016/j.proeng.2016.06.093.
- DAZ, B.M., 2014. (PDF) Fundamentos de ingeniería geotécnica braja m das 4ta edición | Alejandra Roque - Academia.edu. [en línea]. [consulta: 27 octubre 2023]. Disponible en: https://www.academia.edu/36776734/Fundamentos_de_ingenieria_geotecnica_braja_m_das_4ta_edicion.
- GOMEZ, J.C., 2020. La geofísica y el monitoreo de deslizamientos. [en línea]. [consulta: 27 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/igp/noticias/195008-la-geofisica-y-el-monitoreo-de-deslizamientos>.
- INSTRUCTIVO _R001_ *Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico* [en línea], [sin fecha]. S.l.: s.n. [consulta: 27 octubre 2023]. Disponible en: http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20_R001_Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf.
- JAMES, J., ROSHNA, R. y SANTHIYA, S., 2022. Cashew nut shell ash as a supplementary additive in lime stabilized expansive soil composites. *Materials Today: Proceedings*, vol. 62, ISSN 22147853. DOI

10.1016/j.matpr.2022.03.627.

- LAGOS-BURBANO, E. y CASTRO-RINCÓN, E., 2019. Caña de azúcar y subproductos de la agroindustria azucarera en la alimentación de rumiantes. *Agronomía Mesoamericana*, ISSN 2215-3608. DOI 10.15517/am.v30i3.34668.
- MARADEI-GARCÍA, M.F., DIAZ-RAMIREZ, G. y LINARES, G.V.-, 2019. Bagasse sugarcane fibers as reinforcement agents for natural composites: description and polymer composite applications. *Revista UIS Ingenierías*, vol. 18, no. 4, ISSN 2145-8456. DOI 10.18273/revuin.v18n4-2019011.
- MEDINA ALLCCA, L. y DUEÑAS BRAVO, S., 2007. Informe de zonas críticas región Amazonas. En: Accepted: 2019-04-17T22:28:47Z, *Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET* [en línea], [consulta: 27 octubre 2023]. Disponible en: <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2003>.
- MINAGRI, 2020. MINAGRI desarrollará tecnología que proteja al banano orgánico de letal hongo Fusarium Oxysporium – Instituto Nacional de Innovación Agraria. [en línea]. [consulta: 27 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.inia.gob.pe/2020-nota-040/>.
- MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO, 2022. Observatorio de commodities Azúcar. En: Accepted: 2022-08-02T00:40:27Z [en línea]. Technical Report. S.I.: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. [consulta: 27 octubre 2023]. Disponible en: <http://repositorio.midagri.gob.pe:80/jspui/handle/20.500.13036/1290>.
- ORDOÑEZ ARMIJOS, A.S., 2016. Repositorio Digital de la UTMACH: Impacto ambiental en los recursos naturales derivado de la actividad agrícola bananera en el Cantón Machala Provincia de el Oro. [en línea]. [consulta: 27 octubre 2023]. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/8430>.
- SOL DE LAREDO, 2017. Cosecha en verde | Manuelita S.A. [en línea]. [consulta: 27 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.agroindustriallaredo.com/cosecha-en-verde/>.
- SRAVAN RAO, T., LOKESH, U., SURESH, K., RANADEEP, B. y THANGAMANI, K., 2023. Strength properties of soil stabilization with banana leaves ash. *Materials Today: Proceedings*, ISSN 22147853. DOI 10.1016/j.matpr.2023.04.558.
- TERZAGHI, K. y PECK, R.B., 1978. Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica. *La Librería del Ingeniero* [en línea]. [consulta: 27 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.libreriaingeniero.com/2020/05/mecanica-de-suelos-en-la-ingenieria-practica-karl-terzaghi-ralph-b-peck.html>.
- TINGAL, S.P.P., 2023. Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de bagazo de caña de azúcar. En: Accepted: 2023-07-20T21:21:56Z [en línea],

[consulta: 27 octubre 2023]. Disponible en:
<https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/194869>.

UMA MAGUESVARI, M., MUTHAIYAN, P. y YUGASINI, S., 2023. Stabilization of soil using kenaf fibre and rice husk ash. *Materials Today: Proceedings*, ISSN 22147853. DOI 10.1016/j.matpr.2023.06.261.

ANEXOS

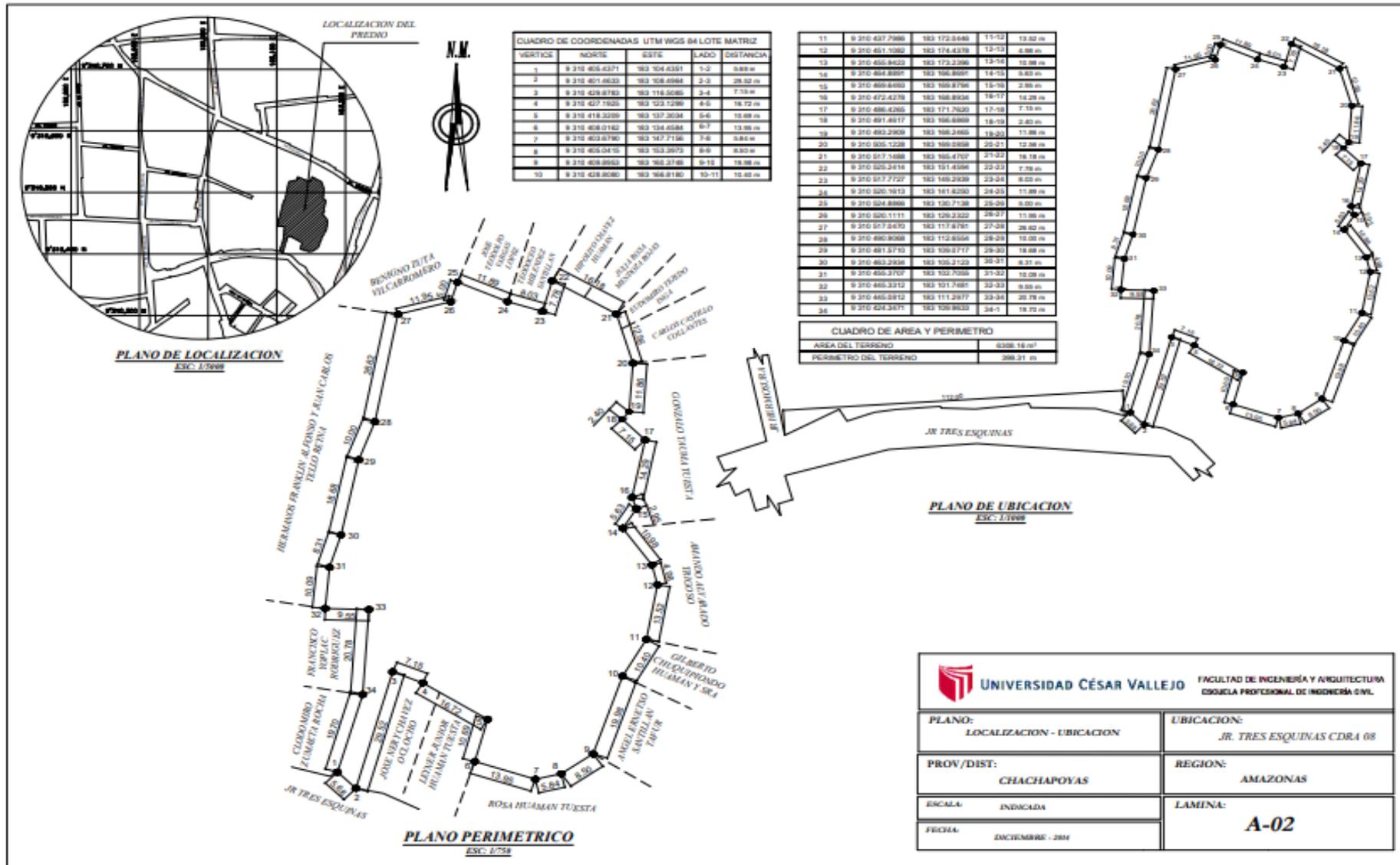
Anexo 1: Matriz de operacionalización

VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	
VARIABLE DEPENDIENTE	Propiedades mecánicas y físicas de los suelos arcillosos naturales y modificados	En términos generales, la estabilización se refiere a los métodos utilizados para modificar las características de los suelos con el fin de mejorar su rendimiento técnico. El objetivo principal de la estabilización es mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo (Srajan et al. 2023)	Se determinarán las propiedades físicas y mecánicas del suelo, y este será mejorado en diferentes dosificaciones con ceniza de bagazo de caña de azúcar para mejorar las propiedades mecánicas y físicas del suelo arcilloso.	Propiedades físicas de los suelos arcillosos naturales	Ensayo de análisis granulométrico Ensayo Límites de Atterberg	Razón
				Propiedades mecánicas de los suelos arcillosos naturales	Ensayo C.B.R. Ensayo Proctor Modificado	
				Propiedades físicas de los suelos modificados	Ensayo de análisis granulométrico Ensayo Límites de Atterberg	
				Propiedades mecánicas de los suelos modificados	Ensayo C.B.R. Ensayo Proctor Modificado	
				Comparación entre los suelos naturales y modificados con 5, 15 y 25% de SBA	ANOVA Y Tukey	
VARIABLE INDEPENDIENTE	Cenizas de bagazo de caña de azúcar	Las cenizas del bagazo de caña de azúcar, un subproducto generado en las calderas de las industrias azucareras cuando se utiliza el bagazo como combustible, están constituidas por altos valores de sílice. Esta característica les confiere un potencial significativo para su uso en la producción de concreto con el fin de mejorar sus propiedades (Adnan et al. 2023).	Se recolectarán muestras de ceniza de bagazo de caña de azúcar para luego utilizarlas como aditivo natural en la optimización de los suelos, logrando un efecto positivo en sus propiedades físicas y mecánicas.	Propiedades físico-químicas	Ensayo de análisis granulométrico Ensayo de fluorescencia de rayos X	Razón

Anexo 2: Matriz de consistencia

TITULO	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO GENERAL	OBJETIVOS ESPECIFICOS	VARIABLES	HIPOTESIS DE INVESTIGACIÓN	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN DE ESTUDIO	MUESTRA DE ESTUDIO	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS												
<p>“Optimización de los suelos utilizando cenizas de bagazo de caña de azúcar en el asentamiento humano Virgen Asunta – Chachapoyas”</p>	<p>¿Cómo afecta la adición de cenizas de bagazo de caña de azúcar a las propiedades físicas y mecánicas de estos suelos?</p>	<p>Evaluar el efecto de la adición de cenizas de bagazo de caña de azúcar en las propiedades físicas y mecánicas de los suelos del asentamiento humano Virgen Asunta de la ciudad de Chachapoyas, mediante ensayos de granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado y C.B.R.</p>	<p>Analizar las características y propiedades de las cenizas de bagazo de caña de azúcar, mediante un análisis de fluorescencia de rayos X y granulometría.</p> <hr/> <p>Identificar las características y propiedades de los suelos naturales mediante ensayos de granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado y C.B.R.</p> <hr/> <p>evaluar las características y propiedades de los suelos después de ser modificados con cenizas de bagazo de caña de azúcar mediante ensayos de granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado y C.B.R</p> <hr/> <p>Realizar una comparación estadística entre los resultados obtenidos de los suelos modificados y los suelos convencionales.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE: Cenizas de bagazo de caña de azúcar</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE: Propiedades mecánicas y físicas de los suelos arcillosos naturales y modificados</p>	<p>Se plantea como hipótesis que la incorporación de cenizas de bagazo de caña de azúcar en porcentajes del 5 %, 15 % y 25 % respecto al peso del suelo optimiza las propiedades físicas y mecánicas de los suelos arcillosos, volviéndolos aptos para la edificación de cimientos y estructuras.</p>	<p>-Básica: Experimental -Diseño cuasiexperimental con posprueba y grupo de control</p> <table border="1"> <tr> <td>G1</td> <td>---</td> <td>O1</td> </tr> <tr> <td>G2</td> <td>X1</td> <td>O2</td> </tr> <tr> <td>G3</td> <td>X2</td> <td>O3</td> </tr> <tr> <td>G4</td> <td>X3</td> <td>O4</td> </tr> </table>	G1	---	O1	G2	X1	O2	G3	X2	O3	G4	X3	O4	<p>Suelo del Asentamiento Humano – Virgen Asunta de la ciudad de Chachapoyas</p>	<p>Se realizó una calicata, de la cual se tomaron 10 muestras: 9 para las mezclas con cenizas y 1 como base.</p>	<p>TÉCNICAS: Se utilizará la técnica de observación directa para analizar los datos obtenidos de los ensayos realizados. El objetivo es examinar estos datos de manera directa para recopilar información relevante.</p> <hr/> <p>INSTRUMENTOS: Equipos de laboratorio, cámara fotográfica, EPP, Fichas técnicas para ensayos.</p>
G1	---	O1																			
G2	X1	O2																			
G3	X2	O3																			
G4	X3	O4																			

Anexo 4: Plano de ubicación A-02



Anexo 5: Cotizaciones de ensayos de laboratorio



GEOTEST
EIRL

ESTUDIOS GEOTÉCNICOS • MECÁNICA DE ROCAS Y SUELOS • PAVIMENTOS •

"AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO"

Chachapoyas, 23 de mayo del 2024.

COTIZACIÓN N°13-2023/GEOTEST/EIRL

Atención:

Sr. Jhosep Alexander Vargas Meléndez

Proyecto:

Optimización De Los Suelos Utilizando Cenizas De Bagazo De Caña En El Asentamiento Humano Virgen Asunta – Chachapoyas

Asunto:

Alcanzo cotización para ensayos de laboratorio de suelos y concreto.

Tengo el agrado de dirigirme a usted y a su vez alcanzar la siguiente cotización.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD	P.U.	SUB TOTAL (S/.)
1	ENSAYOS DE CALICATAS				
1.1	Análisis Granulométrico (NPT 339.128) (Incluye clasificación de suelos SUCS y AASHTO)	Ensayo	01	80	80.00
1.2	Límite Líquido y Plástico (NTP 339.129)	Ensayo	01	50	50.00
1.3	Contenido de humedad (NTP 339.127)	Ensayo	01	12	120.00
1.4	Ensayo Proctor (Modificado) (NTP 339.141)	Ensayo	01	100	100.00
1.5	Ensayo CBR (NTP 339.145)	Ensayo	01	190	190.00
SUB TOTAL					432.00
2	ENSAYOS DE CALICATAS MAS 5% DE CENIZA				
2.1	Análisis Granulométrico (NPT 339.128) (Incluye clasificación de suelos SUCS y AASHTO)	Ensayo	01	80	80.00
2.2	Límite Líquido y Plástico (NTP 339.129)	Ensayo	01	50	50.00
2.3	Contenido de humedad (NTP 339.127)	Ensayo	01	12	120.00
2.4	Ensayo Proctor (Modificado) (NTP 339.141)	Ensayo	01	100	100.00
2.5	Ensayo CBR (NTP 339.145)	Ensayo	01	190	190.00
SUB TOTAL					432.00

Jr. Ortiz Arrieta N° 1490 - Chachapoyas
Lote 36, Mz. H- Urb. Los Nogales- Pimentel- Chiclayo

Email: geotest_suelos@outlook.com
Cel.: 983678648-972934425



3 ENSAYOS DE CALICATAS MAS 15% DE CENIZA					
3.1	Análisis Granulométrico (NPT 339.128) (Incluye clasificación de suelos SUCS y AASHTO)	Ensayo	01	80	80.00
3.2	Límite Líquido y Plástico (NTP 339.129)	Ensayo	01	50	50.00
3.3	Contenido de humedad (NTP 339.127)	Ensayo	01	12	120.00
3.4	Ensayo Proctor (Modificado) (NTP 339.141)	Ensayo	01	100	100.00
3.5	Ensayo CBR (NTP 339.145)	Ensayo	01	190	190.00
SUB TOTAL					432.00
3 ENSAYOS DE CALICATAS MAS 25% DE CENIZA					
3.1	Análisis Granulométrico (NPT 339.128) (Incluye clasificación de suelos SUCS y AASHTO)	Ensayo	01	80	80.00
3.2	Límite Líquido y Plástico (NTP 339.129)	Ensayo	01	50	50.00
3.3	Contenido de humedad (NTP 339.127)	Ensayo	01	10	10.00
3.4	Ensayo Proctor (Modificado) (NTP 339.141)	Ensayo	01	100	100.00
3.5	Ensayo CBR (NTP 339.145)	Ensayo	01	190	190.00
SUB TOTAL					432.00
4	EXCAVACIÓN DE CALICATA				100.00
TOTAL					1,828.00

CONDICIONES GENERALES

* Las muestras permanecerán bajo custodia 10 días después de entregar resultados de laboratorio.

* El precio viene incluido Ensayos de Laboratorio y emisión de Certificados de Calibración de los Equipos.

*Forma de pago: 50%, enviando el boucher al correo electrónico (geotest_suelos@outlook.com) o al número de WhatsApp 902-401-991. El saldo será a la entrega de resultados.

* La recepción de las muestras se hará los días de lunes a viernes de 8 y 30 am a 1 pm y de 2 y 30 pm a 5 pm.

*La muestras a dejar en laboratorio tienen que estar debidamente sellada con la finalidad de que esta no pierda humedad. Asimismo, la muestra deberá estar rotulada.

* Tiempo de entrega de informes y resultados de laboratorio es de 20 días, a partir de la recepción de la muestra.

Atentamente:



GEOTEST EIRL
WALTER VASQUEZ HOYOS
TITULAR GERENTE



GEOTEST
EIRL

ESTUDIOS GEOTÉCNICOS • MECÁNICA DE ROCAS Y SUELOS • PAVIMENTOS •

CUENTAS DE PAGO:

Cuenta Corriente BCP Soles: 2902112293084

Código de Cuenta Interbancaria BCP Soles: 00229000211229308451

COTIZACIÓN DE SERVICIO COT-126290-SL24 V00

DATOS DEL CLIENTE

Solicitante : JOSEF ALEXANDER VARGAS MELLENDEZ RUC / DNI : 70932625
 Dirección : -
 E-mail : josefvargas25@gmail.com Contacto : Josep Vargas
 Asesor Com. : Anal Lizana / 908 838 218 Teléfono : 972685573

DATOS DE LA MUESTRA

Producto : COCCAS
 Descripción de muestra : 1 muestra de ceniza de bagazo de caña de azúcar
 Cantidad de muestra requerida : 100 g/ Muestra

Código de Servicio	Descripción del Servicio Solicitado	Método de Referencia / Técnica Analítica	Precio Unit.	Número de muestras	Total
EGC122	Ensayo de Fluorescencia de Rayos X Composición Química por (óxidos): SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , CaO, MgO, K ₂ O, Na ₂ O, etc	Fluorescencia de Rayos X - FRX	450.00	1	450.00

Moneda : Soles
 Entrega de resultados : 7 Días Hábiles a partir de la recepción de muestra e ingreso.

SUB TOTAL	Soles	450.00
IGV	Soles	81.00
TOTAL	Soles	531.00

Observaciones / Comentarios : La presente cotización es válida para el conjunto de los ítem presentados y número de muestras.

Cuentas Bancarias

Banco	Moneda	N° Cuenta Corriente	Código de Cuenta Interbancario
Banco de Crédito del Perú	Soles	191-2460191-0-10	002-191-002460191010-00
Banco de Crédito del Perú	Dólares	191-2423567-1-83	002-191-002423567183-01
<u>Cuenta Corriente de Depósitos</u> Banco de la Nación	Soles	00-074-116221	

Condiciones de Pago : Contado

(*) Sistema de Pago de Obligaciones Tributarias D.L. N° 940 (12%). Aplicable por ingresos mayores a S/700.00

En caso realice el pago en Dólares Americanos, contemplar el tipo de cambio de acuerdo a lo establecido por la SUNAT, al día de emitida la factura.

Comisiones por operaciones bancarias debe ser asumido por el cliente.

EL ACEPTACIÓN DE LA COTIZACIÓN DE SERVICIO

- Aceptada la cotización de servicio, le solicitamos su confirmación mediante comunicación afirmativa a su contacto comercial preferentemente vía e-mail, para proceder con las coordinaciones de inicio de servicio. El envío del comprobante de pago debe dirigirse al correo de su asesor comercial poniendo en copia a facturacion@slabperu.com
- La Cotización de Servicio es válida por 30 días calendario desde su emisión, excepto relación contractual.

Atte,

Anal Lizana / 908 838 218 Asesor Comercial
 SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C. RUC: 20602010889
 Calle 22 Vpól Naranjal 102, E. Lote 07, San Martín de Porras-Lima
 Celular: 919 472 031
ventas1@slabperu.com / contacto@slabperu.com
www.slabperu.com

COTIZACIÓN DE SERVICIO COT-126290-SL24 V00

II. CONDICIONES DEL SERVICIO

- Una vez confirmada la aceptación del servicio, la cancelación y/o reducción del alcance del servicio será improcedente y facturable. No se aceptarán devoluciones de materiales en mal estado.
- Para la recepción e ingreso de las muestras, el cliente deberá cumplir con lo establecido en la presente cotización como cantidad de muestra requerida o el anexo adjunto.
- Los resultados de los análisis serán emitidos al cliente en un informe ensayo, en caso de alguna observación se procederá a generar un nuevo informe de ensayo en un plazo máximo de 48 horas, caso contrario, pasado el plazo máximo, se aplicará un costo adicional.
- El cliente puede solicitar que se le envíe las copias (fel al original) que requiera, al costo de la tarifa vigente.
- Comisiones por operaciones bancarias debe ser asumido por el cliente.
- Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. cuenta con una política de laboratorio y un código de ética, que está documentada en nuestro sistema de gestión, por lo cual se compromete a guardar CONFIDENCIALIDAD sobre los registros y/o gestión de la información obtenida o creada durante la realización de las actividades del laboratorio, además, solicitud aprobación con antelación acerca de la información que pretenda poner al alcance del público, excepto por la información que el cliente considere pública. En caso sea requerida información del cliente por ley o autorizado por las disposiciones contractuales, para revelar información confidencial, se notificará al cliente o a la persona interesada la información correspondiente, salvo que esté prohibido por ley.
- Ningún trabajador de Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. , excepto, ni permite presiones internas ni externas, sea comercial, financiera, de clientes y/o de cualquiera de las partes interesadas de la organización, que pueda comprometer la imparcialidad, el juicio profesional o afectar adversamente la calidad de su trabajo o la validez de los resultados.
- Para la gestión de quejas, reclamos u oportunidades de mejoras enviar un correo a calidad@slabperu.com con asunto Queja, reclamo u oportunidad de mejoras.
- El Cliente debe incluir la siguiente información relacionada a Datos de Cliente, Datos y Descripción de Muestra en los documentos asociados "Planillo de Muestra" o "Cedente de custodia", cualquier cambio por este concepto posterior a la emisión de informe tendrá un costo adicional de \$150.00 nuevos soles por documento.
- Para cualquier consulta de los ítems mencionados consultar a su asesor comercial.

Anexo 6: Certificados de calibración de los laboratorios

Certificado



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente certificado de Acreditación a:

SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C.

Laboratorio de Ensayo

En su sede ubicada en: Calle 22 Mz E Lt 7 Urbanización Vipol de Naranjal, distrito de San Martín de Porres, provincia y departamento de Lima

Con base en la norma

NTP-ISO/IEC 17025:2017 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número de registro indicado líneas abajo.

Fecha de Acreditación: 21 de julio de 2023
Fecha de Vencimiento: 20 de julio de 2026



Firmado digitalmente por AGUILAR RODRIGUEZ Lidia Patricia FAU
20600263015 soft
Fecha: 2023-08-18 08:52:23
Motivo: Soy el Autor del Documento

PATRICIA AGUILAR RODRÍGUEZ
Directora (d.t.), Dirección de Acreditación - INACAL

Fecha de emisión: 15 de agosto de 2023



Cedula N°: 228-2023-INACAL/DA
Contrato N°: 039-2023/INACAL-DA
Registro N°: LE - 211

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y fecha de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web www.inacal.gob.pe/acreditacion/casegros/acreditados, y/o a través del código QR al momento de hacer uso del presente certificado.

La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) de Inter American Accreditation Cooperation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mútuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

DA-acr-06P-02M Ver. 03



LABORATORIO DE METROLOGÍA
ESPECIALIZADO EN INGENIERÍA CIVIL



CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° A7C-2024 GLM

Página 1 de 3

FECHA DE EMISIÓN : 2024-02-01

1. SOLICITANTE : GEOTEST E.I.R.L.

DIRECCIÓN : JR. ORTIZ ARRIETA NRO. 1490
AMAZONAS - CHACHAPOYAS -

2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : BALANZA

MARCA : OHAUS

MODELO : SE6001F

NÚMERO DE SERIE : B832476282

ALCANCE DE INDICACIÓN : 6000 g

DIVISIÓN DE ESCALA / RESOLUCIÓN : 0,1 g

DIVISIÓN DE VERIFICACIÓN (e) : 0,1 g

PROCEDENCIA : USA

IDENTIFICACIÓN : NO INDICA

TIPO : ELECTRÓNICA

UBICACIÓN : LABORATORIO

FECHA DE CALIBRACIÓN : 2024-01-24

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

G & L LABORATORIO S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC 011 4ta Edición, 2010: "Procedimiento para la calibración de balanzas de funcionamiento no automático clase I y clase II" del INDECOPI.

4. LUGAR DE CALIBRACIÓN

LAB. DE SUELOS Y CONCRETOS DE GEOTEST E.I.R.L.
JR. ORTIZ ARRIETA NRO. 1490 AMAZONAS - CHACHAPOYAS - CHACHAPOYAS



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.

Av. Miraflores Mz. E LL. 60 Urb Santa Elisa II Etapa. Los Olivos - Lima

Correos:
certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com

Teléfono (01) 622 - 58 - 14 Celular 992 - 302 - 883 / 927 - 603 - 430



Firmado digitalmente por:
YOPLAC VILLANUEVA JHON
JEFFERSON FIR 7081 2584 hard
Motivo: JEFE DEPARTAMENTO
DE METROLOGÍA
Fecha: 01/02/2024 12:36:44-0500



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° A7C-2024 GLM

Página 2 de 3

5. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperatura	28.4 °C	26.9 °C
Humedad Relativa	42 %	41 %

6. TRAZABILIDAD

Los resultados de la calibración realizada tienen trazabilidad a los patrones nacionales del INACAL-DM, en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrones de referencia de METROIL	Termohigrómetro	1AT - 1318 - 2023
Patrones de referencia de DM - INACAL	Pesas (Exactitud E2)	LM - C - 432 - 2023
Patrones de referencia de TOTAL WEIGHT	Pesas (Exactitud M2)	CM - 1988 - 2023

7. OBSERVACIONES

Para 6000 g la balanza indicó 6000,7 g. Se ajustó y se procedió a su calibración. Los errores máximos permitidos (emp) para esta balanza corresponden a los emp para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II, según la Norma Metroológica Peruana 004 - 2010. Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático. Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".

8. RESULTADOS DE MEDICIÓN

INSPECCIÓN VISUAL			
AJUSTE DE CERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	CURSOS	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	NIVELACIÓN	TIENE
SISTEMA DE TRABA	TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Medición N°	Carga L1= 3 000,0 g	Temp. (°C)		Carga L2= 6 000,0 g	Δ L (g)	E (g)
		Inicial	Final			
1	3 000,0	28,4	28,4	6 000,0	0,07	-0,02
2	3 000,0			6 000,0	0,06	-0,01
3	3 000,0			6 000,0	0,06	0,00
4	3 000,0			6 000,0	0,06	-0,01
5	3 000,0			6 000,0	0,06	-0,01
6	3 000,0			6 000,0	0,06	0,00
7	3 000,0			6 000,0	0,07	-0,02
	3 000,0			6 000,0	0,06	0,00
	3 000,0			6 000,0	0,06	-0,01
	3 000,0			6 000,0	0,06	-0,01
						0,07
						0,02
						± 0,3 g
						± 0,3 g

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.





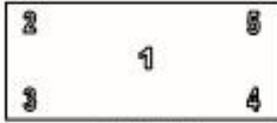
LABORATORIO DE METROLOGÍA
ESPECIALIZADO EN INGENIERÍA CIVIL



CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° A7C-2024 GLM

Página 3 de 3



Vista Frontal

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Temp. (°C)	Inicial	Final
	28,4	28,3

Posición de la Carga	Determinación de E ₀				Determinación del Error corregido				
	Carga Mínima*(g)	l(g)	Δ L (g)	E ₀ (mg)	Carga L (g)	l(g)	Δ L (g)	E (g)	E _c (g)
1	1,0	1,0	0,06	-0,01	2 000,0	2 000,0	0,07	-0,02	-0,01
2		1,0	0,06	-0,01		1 999,9	0,04	-0,09	-0,08
3		1,0	0,07	-0,02		1 999,9	0,05	-0,10	-0,08
4		1,0	0,03	0,02		2 000,0	0,04	0,01	-0,01
5		1,0	0,06	-0,01		2 000,0	0,08	-0,03	-0,02

(*) valor entre 0 y 10 e

Error máximo permitido : ± 0,2 g

ENSAYO DE PESAJE

Temp. (°C)	Inicial	Final
	27,0	26,9

Carga L(g)	l(g)	CRECIENTES			DECRECIENTES			emp(**)	
		Δ L (g)	E (g)	E _c (g)	l(g)	Δ L (g)	E (g)		E _c (g)
1,0	1,0	0,05	0,00					0,1	
5,0	5,0	0,07	-0,02	-0,02	5,0	0,06	-0,01	-0,01	0,1
10,0	10,0	0,04	0,01	0,01	10,0	0,05	0,00	0,00	0,1
50,0	50,0	0,06	-0,01	-0,01	50,0	0,06	-0,01	-0,01	0,1
100,0	100,0	0,05	0,00	0,00	100,0	0,04	0,01	0,01	0,1
500,0	500,0	0,06	-0,01	-0,01	500,0	0,05	0,00	0,00	0,1
1 000,0	1 000,0	0,04	0,01	0,01	1 000,0	0,07	-0,02	-0,02	0,2
2 000,0	2 000,0	0,06	-0,01	-0,01	2 000,0	0,06	-0,01	-0,01	0,2
4 000,0	4 000,0	0,06	-0,01	-0,01	4 000,0	0,04	0,01	0,01	0,3
5 000,0	5 000,0	0,07	-0,02	-0,02	5 000,0	0,05	0,00	0,00	0,3
6 000,0	6 000,0	0,05	0,00	0,00	6 000,0	0,05	0,00	0,00	0,3

(**) error máximo permitido

Lectura corregida e incertidumbre expandida del resultado de una pesada

$$R_{\text{corregida}} = R + 1,83E-06 \times R$$

$$U_R = 2 \sqrt{2,56E-03 \text{ g}^2 + 1,03E-10 \times R^2}$$

R: Lectura de la balanza AL: Carga incrementada E: Error encontrado E₀: Error en cero E_c: Error corregido

Unidad de tipo Científico E-xx = 10^{xx} (Ejemplo: E-05 = 10⁻⁵)

FIN DEL DOCUMENTO



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.

Correos:
certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gyllaboratorio@gmail.com

Teléfono: (01) 622 - 58 - 14 **Celular:** 992 - 302 - 883 / 927 - 603 - 430

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb Santa Elisa II Etapa.
Los Olivos - Lima



LABORATORIO DE METROLOGÍA
ESPECIALIZADO EN INGENIERÍA CIVIL



CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° AA4-2024 GLM

Página 1 de 3

FECHA DE EMISIÓN : 2024-02-01

1. SOLICITANTE : GEOTEST E.I.R.L.

DIRECCIÓN : JR. ORTIZ ARRIETA NRO. 1490 AMAZONAS -
CHACHAPOYAS - CHACHAPOYAS

2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : **BALANZA**

MARCA : OHAUS

MODELO : R31P30

NÚMERO DE SERIE : 8341130249

ALCANCE DE INDICACIÓN : 30000 g

DIVISIÓN DE ESCALA / RESOLUCIÓN : 1 g

DIVISIÓN DE VERIFICACIÓN (e) : 10 g

PROCEDENCIA : CHINA

IDENTIFICACIÓN : NO INDICA

TIPO : ELECTRÓNICA

UBICACIÓN : LABORATORIO

FECHA DE CALIBRACIÓN : 2024-01-24

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

G & L LABORATORIO S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC 001 1ra Edición, 2019: "Procedimiento para la calibración de balanzas de funcionamiento no automático clase III y clase IIII" del INACAL-DM.

4. LUGAR DE CALIBRACIÓN

LAB. DE SUELOS Y CONCRETOS DE GEOTEST E.I.R.L.
JR. ORTIZ ARRIETA NRO. 1490 AMAZONAS - CHACHAPOYAS - CHACHAPOYAS



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60 Urb Santa Elisa II Etapa. Los Olivos - Lima

Correos:
certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com

Teléfono (01) 622 - 58 - 14 **Celular** 992 - 302 - 883 / 927 - 603 - 430



Firmado digitalmente por:
YOPLAC VILLANUEVA JHON
JEFFERSON FIR 70812584 hard
Motivo: JEFE DEPARTAMENTO
DE METROLOGÍA
Fecha: 01/02/2024 12:36:45-0500



LABORATORIO DE METROLOGÍA
ESPECIALIZADO EN INGENIERÍA CIVIL



CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° AA4 - 2024 GLM
Página 2 de 3

5. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperatura	20,1 °C	20,2 °C
Humedad Relativa	61 %	62 %

6. TRAZABILIDAD

Los resultados de la calibración realizada tienen trazabilidad a los patrones nacionales del INACAL-DM, en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrones de referencia de METROIL	Termohigrómetro	1AT - 1318 - 2023
Patrones de referencia de DM - INACAL	Pesas (Exactitud E2)	LM - C - 432 - 2023
Patrones de referencia de TOTAL WEIGHT	Pesas (Exactitud M2)	CM - 1988 - 2023 CM - 1989 - 2023 CM - 1990 - 2023

7. OBSERVACIONES

Para 30000 g. la balanza indicó 29998 g. Se ajustó y se procedió a su calibración.
Los errores máximos permitidos (e.m.p.) para esta balanza corresponden a los e.m.p. para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud III, según la Norma Metroológica Peruana 003 - 2009. Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático.
Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de "CALIBRADO".

8. RESULTADOS DE MEDICIÓN

INSPECCIÓN VISUAL			
AJUSTE DE CERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	CURSOR	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	NIVELACIÓN	TIENE
SISTEMA DE TRABA	TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Medición N°	Carga L1= 15 000 g	Temp. (°C)		Carga L2= 30 000 g	ΔL(g)	E(g)
		Inicial	Final			
1	15 000	20,1	20,1	30 000	0,7	-0,2
2	15 000			30 000	0,2	0,3
3	15 000			30 000	0,3	0,2
4	15 000			30 000	0,6	-0,1
5	15 000			30 000	0,2	0,3
6	15 000			30 000	0,7	-0,2
7	15 000			30 000	0,8	-0,3
8	15 000			30 000	0,3	0,2
9	15 000			30 000	0,7	-0,2
10	15 000			30 000	0,2	0,3
						0,6
						0,2
						± 20 g
						± 30 g



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.

Correos:
certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com

Teléfono: (01) 622 - 58 - 14 **Celular:** 992 - 302 - 883 / 927 - 603 - 430

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb Santa Elisa II Etapa.
Los Olivos - Lima



LABORATORIO DE METROLOGÍA
ESPECIALIZADO EN INGENIERÍA CIVIL



CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° BWG-2024 GLL

Página 1 de 2

FECHA DE EMISIÓN	: 2024-01-29
1. SOLICITANTE	: GEOTEST E.I.R.L.
DIRECCIÓN	: JR. ORTIZ ARRIETA NRO. 1490 AMAZONAS - CHACHAPOYAS - CHACHAPOYAS
2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	: COMPARADOR DE CUADRANTES
MARCA	: INSIZE
MODELO	: 2302-25
NÚMERO DE SERIE	: 9C15987
ALCANCE DE INDICACIÓN	: 0 mm a 25 mm
DIV. MINIMA DE ESCALA	: 0,01 mm
INDICACIÓN	: ANÁLOGICO
PROCEDENCIA	: NO INDICA
IDENTIFICACIÓN	: NO INDICA
TIPO	: NO INDICA
UBICACIÓN	: LABORATORIO
FECHA DE CALIBRACIÓN	: 2024-01-24

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

G&L LABORATORIO S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de G&L LABORATORIO S.A.C.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de G&L LABORATORIO S.A.C.

3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó con patrones que tiene trazabilidad por INACAL, se usó el Procedimiento PC - 014; "PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE COMPARADORES UTILIZANDO BLOQUES PATRONES DE LONGITUD. Tercera Edición - Julio 2019.

4. LUGAR DE CALIBRACIÓN

LAB. DE SUELOS Y CONCRETOS DE GEOTEST E.I.R.L.
JR. ORTIZ ARRIETA NRO. 1490 AMAZONAS - CHACHAPOYAS - CHACHAPOYAS



Av. Miraflores Mz. E Lt. 60 Urb Santa Elisa II Etapa. Los Olivos - Lima

Correos:
certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com

Teléfono: (01) 622 - 58 - 14 **Celular:** 992 - 302 - 883 / 927 - 603 - 430



Firmado digitalmente por:
YOPLAC VILLANUEVA JHON
JEFFERSON FIR 70812584 hard
Motivo: JEFE DEPARTAMENTO
DE METROLOGÍA
Fecha: 29/01/2024 17:59:21 -0500

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.



LABORATORIO DE METROLOGÍA
ESPECIALIZADO EN INGENIERÍA CIVIL



CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° BWG - 2024 GLL
Página 2 de 2

5. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperatura	26,1 °C	26,1 °C
Humedad Relativa	38 %	38 %

6. TRAZABILIDAD

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales e internacionales que materializan las unidades físicas de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrones de referencia de METROIL	Termohigrómetro	1AT - 1318 - 2023
Patrones de referencia de DM - INACAL	Juego de Bloque Planoparalelos Grado 0	LLA - 282 - 2023

7. RESULTADOS DE MEDICIÓN

ALCANCE DEL ERROR DE INDICACIÓN (fe)

PATRÓN DE MEDICIÓN mm	INDICACIÓN DEL COMPARADOR mm	ERROR µm
0,00	0,00	0
2,50	2,52	20
5,00	5,04	40
7,50	7,56	60
10,00	10,08	80
12,50	12,57	70
15,00	15,09	90
17,50	17,58	80
20,00	20,09	90
22,50	22,59	90
25,00	25,10	100

ERROR DE REPETIBILIDAD (fw)

PATRÓN DE MEDICIÓN mm	INDICACIÓN DEL COMPARADOR m	ERROR µm	INCERTIDUMBRE µm
25,00	25,09	90	3,74
	25,09	90	
	25,10	100	
	25,11	110	
	25,10	100	

Incertidumbre encontrada en la Repetibilidad (fw): 3,74 µm

8. INCERTIDUMBRE

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según el "Guía de la Expresión de la Incertidumbre en la Medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del $\pm 95\%$ de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente $\pm 95\%$.

FIN DEL DOCUMENTO



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.

Correos:
certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gyl@laboratorio@gmail.com

Teléfono: (01) 622 - 58 - 14 **Celular:** 992 - 302 - 883 / 927 - 603 - 430

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb Santa Elisa II Etapa,
Los Olivos - Lima



LABORATORIO DE METROLOGÍA
ESPECIALIZADO EN INGENIERÍA CIVIL



CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

CERTIFICADO DE VERIFICACIÓN N° B40-2024 GLL

Página 1 de 2

FECHA DE EMISIÓN : 2024-02-01

1. SOLICITANTE : GEOTEST E.I.R.L
DIRECCIÓN : JR. ORTIZ ARRIETA NRO. 1490 AMAZONAS - CHACHAPOYAS - CHACHAPOYAS

2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : EQUIPO PARA DENSIDADES PARA EL MÉTODO DEL CONO DE ARENA

MARCA : G&L LABORATORIO PROCEDENCIA : NO INDICA
MODELO : GLS-22-2 IDENTIFICACIÓN : NO INDICA
N° DE SERIE : A-11 UBICACIÓN : LABORATORIO
FECHA DE VERIFICACIÓN : 2024-01-24

3. MÉTODO DE CALIBRACIÓN EMPLEADO

Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena.
1ª Edición – NTP 339.143:1999 (revisada el 2019).

4. LUGAR DE INSPECCIÓN

La verificación se realizó el 24 de Enero del 2024 en el LAB. DE SUELOS Y CONCRETOS DE GEOTEST E.I.R.L.

5. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperatura °C	24,2	24,2
Humedad Relativa %HR	48	48

6. TRAZABILIDAD

Los resultados de la calibración realizada son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales del Instituto Nacional de Calidad – INACAL en concordancia con el sistema Internaciones de Unidades de Medida (SI) y el sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrones de referencia de METROIL	Termohigrómetro	1AT - 1318 - 2023
Patrones de referencia de METROIL	Pie de Rey Digital de 0 a 300 mm	1AD - 0127 - 2023

7. OBSERVACIONES

(*) Códigos de identificación inscrito en el instrumento.

Este informe inspección presenta las mediciones realizadas al molde cilíndrico para concreto, los cuales nos permiten confirmar el cumplimiento de los requisitos para la norma técnica ASTM D-1556 / AASHTO T191.

8. RESULTADOS

Base Cuadrada (mm)	PLATO BASE DE ALUMINIO			PROMEDIO (mm)	ERROR DE INDICACIÓN (mm)
	INDICACION DEL PATRÓN (mm)				
300	1	3		283,25	16,75
	283,07	283,47	283,52		

Jhon Jefferson Yoplac Villanueva
Jefe Departamento de Metrología



Av. Miraflores Mz. E Lt. 60 Urb Santa Elisa II Etapa. Los Olivos - Lima

Correos:
certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gyllaboratorio@gmail.com

Teléfono: (01) 622 - 58 - 14 Celular: 992 - 302 - 883 / 927 - 603 - 430



Firmado digitalmente por:
YOPLAC VILLANUEVA JHON
JEFFERSON FIR 70812584 hard
Motivo: JEFE DEPARTAMENTO
DE METROLOGÍA
Fecha: 01.02/2024 15:18:50-0500

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.



LABORATORIO DE METROLOGÍA
ESPECIALIZADO EN INGENIERÍA CIVIL



CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

CERTIFICADO DE VERIFICACIÓN Nº B40-2024 GLL

Página 2 de 2

Diámetro de Agujero de Placa base(mm)	INDICACIÓN DEL PATRÓN (mm)			PROMEDIO (mm)	ERROR DE INDICACIÓN (mm)
	1	2	3		
165,1	165,39	165,30	165,31	165,33	-0,23

CONO REBORDEADO					
Diámetro del Cono (mm)	INDICACIÓN DEL PATRÓN (mm)			PROMEDIO (mm)	ERROR DE INDICACIÓN (mm)
	1	2	3		
165,1	163,95	163,94	163,95	163,95	1,15

FRASCO PLASTICO DE 1 GALÓN					
Capacidad (gl)	INDICACIÓN DEL PATRÓN (galón)			PROMEDIO (mm)	ERROR DE INDICACIÓN (mm)
	1	2	3		
1	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0

FIN DEL DOCUMENTO



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.



Correos:
certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gyl@laboratorio@gmail.com

Teléfono: (01) 622 - 58 - 14 **Celular:** 992 - 302 - 883 / 927 - 603 - 430

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb Santa Elisa II Etapa.
Los Olivos - Lima



LABORATORIO DE METROLOGÍA
ESPECIALIZADO EN INGENIERÍA CIVIL



CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° BA8-2024 GLL

Página 1 de 3

FECHA DE EMISIÓN	:	2024-02-01
1. SOLICITANTE	:	GEOTEST E.I.R.L.
DIRECCIÓN	:	JR. ORTIZ ARRIETA NRO. 1490 AMAZONAS - CHACHAPOYAS - CHACHAPOYAS.
2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	:	PIE DE REY
MARCA	:	INSIZE
MODELO	:	1108-300W
NÚMERO DE SERIE	:	1002171512
ALCANCE DE INDICACIÓN	:	0 mm a 300 mm
DIVISIÓN DE ESCALA / RESOLUCIÓN	:	0,01 mm
DIVISIÓN DE VERIFICACIÓN	:	NO INDICA
PROCEDENCIA	:	NO INDICA
IDENTIFICACIÓN	:	NO INDICA
TIPO	:	DIGITAL
UBICACIÓN	:	LABORATORIO
FECHA DE CALIBRACIÓN	:	2024-01-24

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

G&L LABORATORIO S.A.C. no es responsable de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de G&L LABORATORIO S.A.C.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de G&L LABORATORIO S.A.C.

3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

La calibración se efectuó por comparación directa, según el PC-012 Edición 5 "Procedimiento de calibración de Pie de Rey" del INDECOPI-SNM.

4. LUGAR DE CALIBRACIÓN

LAB. DE SUELOS Y CONCRETOS DE GEOTEST E.I.R.L.
JR. ORTIZ ARRIETA NRO. 1490 AMAZONAS - CHACHAPOYAS - CHACHAPOYAS.



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60 Urb Santa Elisa II Etapa. Los Olivos - Lima

Correos:
certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com

Teléfono: 011 622 - 58 - 14 **Celular:** 993 - 302 - 883 / 927 - 603 - 430



Firmado digitalmente por:
YOPRAC VILLANUEVA JHON
JEFFERSON FIR 70612564 hard
Motivo: JEFE DEPARTAMENTO
DE METROLOGÍA



LABORATORIO DE METROLOGÍA
ESPECIALIZADO EN INGENIERÍA CIVIL



CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Nº B48 - 2024 GLL

Página 2 de 3

5. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperatura	26,1 °C	26,0 °C
Humedad Relativa	43 %	43 %

6. TRAZABILIDAD

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales e internacionales que materializan las unidades físicas de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrones de referencia de METROIL	Termohigrómetro	1AT - 1318 - 2023
Patrones de referencia de DM - INACAL	Juego de Bloque Planoparalelos Grado 0	LLA - 262 - 2023

7. RESULTADOS DE MEDICIÓN

ERROR DE REFERENCIA INICIAL (I) = 0 µm

ERROR DE INDICACIÓN DE PIE DE REY PARA MEDICIONES DE EXTERIORES

VALOR PATRÓN mm	PROMEDIO DE LA INDICACIÓN DEL PIE DE REY mm	ERROR µm
0,00	0,00	0
20,00	20,00	0
50,00	50,00	0
100,00	100,01	10
150,00	150,01	10
200,00	200,01	10
300,00	300,01	10

ERROR DE CONTACTO DE LA SUPERFICIE PARCIAL (E)

VALOR PATRÓN (mm)	ERROR (µm)
300,00	10

ERROR DE REPETIBILIDAD (R)

VALOR PATRÓN (mm)	ERROR (µm)
300,00	10

ERROR DE CAMBIO DE ESCALA DE EXTERIORES A INTERIORES (Se-i)

VALOR PATRÓN mm	ERROR (µm)
10,00	-30

ERROR DE CAMBIO DE ESCALA DE EXTERIORES A PROFUNDIDAD (Se-p)

VALOR PATRÓN mm	ERROR (µm)
10,00	-10



Correos: certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gyl@laboratorio@gmail.com

Teléfono: 011 622 - 58 - 14 Celular: 992 - 302 - 883 / 927 - 603 - 430

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb. Santa Elisa II Etapa.
Los Olivos - Lima

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.



LABORATORIO DE METROLOGÍA
ESPECIALIZADO EN INGENIERÍA CIVIL



CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Nº BAS - 2024 GLL
Página 3 de 3

ERROR DE CONTACTO LINEAL (L)

VALOR PATRÓN mm	ERROR (µm)
10,00	0

ERROR DE CONTACTO DE SUPERFICIE COMPLETA (J)

VALOR PATRÓN mm	ERROR (µm)
10,00	0

ERROR POR LA DISTANCIA DE CRUCE DE LAS SUPERFICIES DE MEDICIÓN PARA INTERIORES (K)

VALOR PATRÓN mm	ERROR (µm)
5,00	10

8. INCERTIDUMBRE:

$$(20,399^2 + 0,0003^2 + L^2)^{1/2} \mu\text{m}$$

L: Indicación del pie de rey en milímetros (mm)

NOTA 1: Error de indicación del pie de rey para medición de interiores = Error de indicación de exteriores + Error de cambio de escala de exteriores de interiores.

NOTA 2: Error de indicación del pie de rey para medición de profundidad = Error de indicación de exteriores + Error de cambio de escala de exteriores a profundidad.

NOTA 3: El instrumento tiene un error máximo permisible de $\pm 30 \mu\text{m}$, según norma DIN 862.

ERROR DE INDICACIÓN DEL PIE DE REY



9. OBSERVACIONES



Indicaciones en una etiqueta adherida a la caja del instrumento.

Se colocó en el instrumento una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".

La capacidad de medición expandida reportada es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura $k=2$ de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95 %.

FIN DEL DOCUMENTO



Correos:
certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com

Teléfono: 011 622 - 58 - 14
Celular: 992 - 302 - 883 / 927 - 605 - 430

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb Santa Elisa II Etapa.
Los Olivos - Lima

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.



LABORATORIO DE METROLOGÍA
ESPECIALIZADO EN INGENIERÍA CIVIL



CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

Certificado de Calibración - Laboratorio de Fuerza

Calibration Certificate - Laboratory of Force

714-2024 GLF

Page / Pág. 1 de 6

Objeto de Prueba Text Object	MÁQUINA DE ENSAYOS A COMPRESIÓN
Instrumento Instrument	MÁQUINA MANUAL PARA ENSAYOS CBR CON INDICADOR DIGITAL
Fabricante Manufacturer	HIWEIGH (INDICADOR) // ZEMIC (CELDA DE CARGA TIPO "S") // G&L LABORATORIO (MARCO)
Modelo Model	X3 (INDICADOR) // HS-C3-5.0i-6B (CELDA DE CARGA TIPO "S") // GLS-91 (MARCO)
Número de Serie Serial Number	MH20200730062 (INDICADOR) // 5.0i WC208778 (CELDA DE CARGA TIPO "S") // 18-22 (MARCO)
Identificación Interna Internal Identification	NÓ INDICA
Capacidad Máxima Maximum Capacity	5000 kgf
División de Escala Scale Division	0,1 kgf
Solicitante Customer	GEOTEST E.I.R.L.
Dirección Address	JR. ORTIZ ARRIETA NRO. 1490 AMAZONAS - CHACHAPOYAS - CHACHAPOYAS
Ciudad City	CHACHAPOYAS
Fecha de calibración Date of calibration	2024-01-24
Fecha de Emisión Date of issue	2024-01-30

Los resultados emitidos en este Certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.

Este Certificado de Calibración documenta y asegura la trazabilidad de los resultados a patrones nacionales e internacionales, que reproducen las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

El usuario es responsable de la Calibración de los instrumentos en apropiados intervalos de tiempo.

The results issued in this Certificate relates to the time and conditions under which the measurements. These results correspond to the item that relates on page number one. The laboratory, which will not be liable for any damages that may arise from the improper use of the instruments and/or the information provided by the customer.

This Calibration Certificate documents and ensures the traceability of the reported results to national and international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).

The user is responsible for Calibration the measuring instruments at appropriate time intervals.

Número de páginas del certificado, incluyendo anexos 5
Number of pages of the certificate and documents attached

Sin la aprobación del Laboratorio de Metrología G&L Laboratorio no se puede reproducir el Certificado, excepto cuando se reproduce en su totalidad, ya que proporciona la seguridad que las partes del Certificado no se sacan de contexto. Los certificados de calibración sin firma no son válidos.

Without the approval of the G&L Laboratorio Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the Certificate are not taken out of context. Unsigned calibration certificates are not valid.

Firmas que Autorizan el Certificado

Signatures Authorizing the Certificate



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60 Urb Santa Elisa II Etapa. Los Olivos - Lima

Correos:
certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com

Teléfono (01) 622 - 58 - 14 **Celular** 992 - 302 - 883 / 927 - 603 - 430



Firmado digitalmente por:
YOPLAC VILLANUEVA JHON
JEFFERSON FIR 70812584 hard
Motivo: JEFE DEPARTAMENTO DE METROLOGÍA
Fecha: 30/01/2024 15:33:06-0500



714-2024 GLF

Page / Pág. 2 de 6

DATOS TÉCNICOS

Instrumento Bajo Calibración (IBC)		Instrumento(s) de Referencia	
Clase según ISO 7500-1	0,5	Instrumento	Celda de Carga Tipo "S" 5T
Clase según ISO 376	No identificable	Marca	OHAUS // KELI
Dirección de Carga	Compresión	Modelo	T71P // A-FED
Tipo de Indicación	Digital	Clase ISO 7500-1	0,2
División de Escala	0,1 kgf	Número de Serie	B504530209 // AGBB505
Resolución	5 kgf	Certificado de	CC - 0195 - 2023
Intervalo de Medición	Del 10% al 100% de la carga máxima	Calibración	2023 - 11 - 07
Calibrado		Fecha Calibración	
Límite Superior de Calibración	5000 kgf	Termohigrómetro	EUROTECH // SH-110 // TER-G&L-031 1AT-1318-2023

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

La calibración se efectuó siguiendo los lineamientos establecidos en el documento de referencia ABNT NBR 8197:2021 "Materiais Metálicos - Calibração de Instrumentos de Medição de Força de Uso Geral", en donde se especifica un intervalo de temperatura comprendido entre 10°C a 35°C, con una variación máxima de 3°C durante cada serie de medición.

Se utilizó el método de comparación directa aplicando Fuerza Indicada Constante.

Se realizó una inspección general del equipo y se determina que: El equipo requiere ajuste de la indicación.

Tabla 1.

Indicaciones como se encuentra el equipo previo al ajuste

Indicación del IBC	Indicaciones Registradas del Patrón					Errores Relativos		
	%	kgf	S ₁	S ₂	S ₃	Promedio	Indicación	Repetibilidad
			Accidente	Accidente	Accidente		g	b
			kgf	kgf	kgf	S _{1, 2 y 3}	%	%
20	1000	1010,2	1012,0	1011,2	1011,1	-1,10	0,18	
60	3000	3023,2	3026,2	3024,8	3024,7	-0,82	0,10	
100	5000	5031,4	5034,8	5033,2	5033,1	-0,66	0,07	

Tabla 2.

Indicaciones como se entrega el equipo posterior al ajuste

Indicación del IBC	Indicaciones Registradas del Equipo Patrón para Cada Serie						Promedio
	%	kgf	S ₁	S ₂	S ₂ '	S ₃	
			Accidente	Accidente	No Aplica	Accidente	
			kgf	kgf	kgf	kgf	S _{1, 2 y 3}
10	500	501,8	501,0	---	501,4	---	501,4
20	1000	1002,0	1000,2	---	1001,2	---	1001,1
30	1500	1501,2	1498,2	---	1499,8	---	1499,7
40	2000	1999,6	1996,2	---	1998,0	---	1997,9
50	2500	2499,0	2499,0	---	2499,0	---	2499,0
60	3000	2998,2	2996,2	---	2997,2	---	2997,2
70	3500	3497,0	3498,2	---	3497,6	---	3497,6
80	4000	3995,6	3997,2	---	3995,4	---	3996,1
90	4500	4493,0	4495,6	---	4494,4	---	4494,3
100	5000	4991,0	4994,0	---	4992,6	---	4992,5
Ind. después de Carga		0,0	0,0	---	0,0	---	---

Técnico de Calibración: Euler Tiznado Becerra

Firmas que Autorizan el Certificado
Signatures Authorizing the Certificate



Correos:
certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gyl@laboratorio@gmail.com

Teléfono: (01) 622 - 58 - 14
Celular: 992 - 302 - 883 / 927 - 603 - 430

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb Santa Elisa II Etapa.
Los Olivos - Lima

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.



LABORATORIO DE METROLOGÍA
ESPECIALIZADO EN INGENIERÍA CIVIL



CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

714-2024 GLF

Page / Pág. 3 de 8

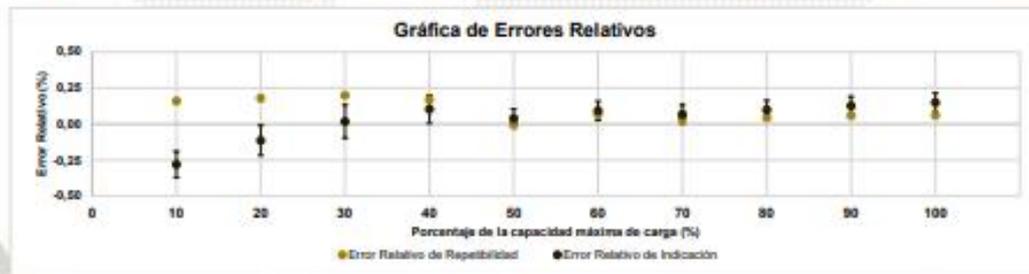
RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN Continuación...

Tabla 3.
Error relativo de cero, t_0 , calculado para cada serie de medición a partir de su cero residual.

$t_{0,01}$ %	$t_{0,02}$ %	$t_{0,03}$ %	$t_{0,04}$ %	$t_{0,05}$ %
0,000	0,000	---	0,000	---

Tabla 4.
Resultados de la Calibración del instrumento para medición de fuerza.

Indicación del IBC % kgf	Errores Relativos				Resolución Relativa a %	Incertidumbre Expandida U kgf %	
	Indicación q %	Repetibilidad b %	Reversibilidad v %	Accesorios Acces. %			
10	500	-0,279	0,160	---	0,004	0,461	0,092
20	1000	-0,113	0,180	---	0,002	1,040	0,104
30	1500	0,018	0,200	---	0,001	1,734	0,116
40	2000	0,103	0,170	---	0,001	1,966	0,098
50	2500	0,040	0,000	---	0,001	1,650	0,066
60	3000	0,093	0,067	---	0,001	1,980	0,066
70	3500	0,069	0,034	---	0,001	2,310	0,066
80	4000	0,098	0,045	---	0,001	2,640	0,066
90	4500	0,126	0,058	---	0,000	2,970	0,066
100	5000	0,150	0,060	---	0,000	3,300	0,066



CONDICIONES AMBIENTALES

La Calibración fue ejecutada en el LAB. DE SUELOS Y CONCRETOS DE GEOTEST E.I.R.L. ubicado en la ciudad de CHACHAPOYAS. Durante la Calibración se presentaron las siguientes condiciones ambientales.

Temperatura Ambiente Máxima: 21,2°C
Humedad Relativa Máxima: 61% HR

Temperatura Ambiente Mínima: 21,3°C
Humedad Relativa Mínima: 62% HR

Firmas que Autorizan el Certificado
Signatures Authorizing the Certificate



Correos:
certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com

Teléfono: (01) 622 - 58 - 14 Celular: 992 - 302 - 883 / 927 - 603 - 430

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb Santa Elisa II Etapa,
Los Olivos - Lima

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.



LABORATORIO DE METROLOGÍA
ESPECIALIZADO EN INGENIERÍA CIVIL



CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

714-2024 GLF

Page / Pág. 4 de 8

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN Continuación...

Tabla 5.

Coefficientes para el cálculo de la fuerza en función de su deformación y su R², el cual refleja la bondad del ajuste del modelo a la variable.

A ₀	A ₁	A ₂	A ₃	—	R ²
3,5378E+00	9,9580E-01	1,3072E-06	-1,8171E-10		1,0000E+00

Ecuación 1: donde F (kgf) es la fuerza calculada y X (kgf) es el valor de deformación evaluado.

$$F = A_0 + (A_1 \cdot X) + (A_2 \cdot X^2) + (A_3 \cdot X^3)$$

Tabla 6.

Valores calculados en función de la fuerza aplicada (kgf)

Indicación kgf	0	50	100	150	200
500	501,7	551,8	601,4	651,3	701,2
750	751,0	800,9	850,8	900,7	950,6
1000	1000,5	1050,4	1100,3	1150,2	1200,1
1250	1250,0	1299,9	1349,8	1399,7	1449,6
1500	1499,6	1549,5	1599,4	1649,3	1699,3
1750	1749,2	1799,1	1849,1	1899,0	1949,0
2000	1998,9	2048,9	2098,8	2148,7	2198,7
2250	2248,6	2298,6	2348,5	2398,5	2448,4
2500	2498,4	2548,3	2598,3	2648,2	2698,1
2750	2748,1	2798,0	2848,0	2897,9	2947,9
3000	2997,8	3047,7	3097,7	3147,6	3197,5
3250	3247,5	3297,4	3347,3	3397,2	3447,1
3500	3497,1	3547,0	3596,9	3646,8	3696,7
3750	3746,6	3796,5	3846,4	3896,3	3946,1
4000	3996,0	4045,9	4095,8	4145,6	4195,5
4250	4245,3	4295,2	4345,0	4394,9	4444,7
4500	4494,5	4544,4	4594,2	4644,0	4693,8
4750	4743,6	4793,4	4843,2	4893,0	4942,7
5000	4992,5				

Tabla 7.

Valores Residuales

Indicación del IBC kgf	Promedio S _{1,2 y 3} kgf	Por Interpolación kgf	Residuales kgf
500	501,4	501,7	0,3
1000	1001,1	1000,5	-0,7
1500	1499,7	1499,6	-0,2
2000	1997,9	1998,9	1,0
2500	2499,0	2498,4	-0,6
3000	2997,2	2997,8	0,6
3500	3497,6	3497,1	-0,5
4000	3996,1	3996,0	-0,1
4500	4494,3	4494,5	0,2
5000	4992,5	4992,5	0,0

Firmas que Autorizan el Certificado

Signatures Authorizing the Certificate



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.

Correos:
certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gyl@laboratorio@gmail.com

Teléfono: (01) 622 - 58 - 14 **Celular:** 992 - 302 - 883 / 927 - 603 - 430

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb Santa Elisa II Etapa.
Los Olivos - Lima



LABORATORIO DE METROLOGÍA
ESPECIALIZADO EN INGENIERÍA CIVIL



CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

714-2024 GLF

Page / Pág. 5 de 8

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN Continuación...

La Tabla 8 y Tabla 9 de este Certificado de Calibración se generan debido a que las unidades de la indicación del equipo bajo Calibración no coinciden con los Newton que son las unidades definidas en el Sistema Internacional de Unidades para la magnitud derivada fuerza. Los valores aquí presentados corresponden a la multiplicación de los resultados plasmados en la Tabla 2 y Tabla 4 de este Certificado de Calibración por el factor de conversión correspondiente. Cabe aclarar que los resultados mostrados como valores relativos no se modifican al realizar la conversión de unidades.

El factor de conversión utilizado para los cálculos fue: (kgf) a (kN) = 0,00980665, tomado del documento NIST SPECIAL PUBLICATION 811: Guide for the use of the International System of Units (SI) - Anexo B8.

Tabla 8.
Indicaciones obtenidas durante la Calibración para cada valor de carga aplicado en kN.

Indicación del IBC	Indicaciones Registradas del Equipo Patrón para Cada Serie						Promedio S _{1,2,3} kN
	S ₁ Acordante	S ₂ Acordante	S ₃ No Aplica	S ₄ Acordante	S ₅ No Aplica		
%	kN	kN		kN		kN	
10	4,903	4,921	---	4,913	---	4,917	---
20	9,807	9,826	---	9,809	---	9,818	---
30	14,710	14,722	---	14,692	---	14,708	---
40	19,613	19,609	---	19,576	---	19,594	---
50	24,517	24,507	---	24,507	---	24,507	---
60	29,420	29,402	---	29,383	---	29,392	---
70	34,323	34,294	---	34,306	---	34,300	---
80	39,227	39,183	---	39,199	---	39,181	---
90	44,130	44,061	---	44,087	---	44,075	---
100	49,033	48,945	---	48,974	---	48,961	---
Ind. después de Carga	0,000	0,000	---	0,000	---	0,000	---

Tabla 9.
Resultados de la Calibración del instrumento para medición de fuerza.

Indicación del IBC	Errores Relativos					Resolución Relativa a	Incertidumbre Expandida U	
	Indicación q	Repetibilidad b	Reversibilidad v	Accesorios Acces.			kN	%
%	kN	%	%	%	%	%		
10	4,903	-0,279	0,160	---	---	0,004	0,005	0,092
20	9,807	-0,113	0,180	---	---	0,002	0,010	0,104
30	14,710	0,018	0,200	---	---	0,001	0,017	0,116
40	19,613	0,103	0,170	---	---	0,001	0,019	0,098
50	24,517	0,040	0,000	---	---	0,001	0,016	0,066
60	29,420	0,093	0,067	---	---	0,001	0,019	0,066
70	34,323	0,069	0,034	---	---	0,001	0,023	0,066
80	39,227	0,098	0,045	---	---	0,001	0,026	0,066
90	44,130	0,126	0,058	---	---	0,000	0,029	0,066
100	49,033	0,150	0,060	---	---	0,000	0,032	0,066

Firmas que Autorizan el Certificado
Signatures Authorizing the Certificate



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.

Correos:
certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com

Teléfono: (01) 622 - 58 - 14 Celular: 992 - 302 - 883 / 927 - 603 - 430

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb Santa Elisa II Etapa.
Los Olivos - Lima



714-2024 GLF

Page / Pág. 6 de 6

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

La incertidumbre expandida de la medición reportada se establece como la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura $k=2,013$ y la probabilidad de cobertura, la cual debe ser aproximada al 95% y no menor a este valor. La incertidumbre expandida fue estimada bajo los lineamientos del documento: JCGM 100:2008, GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data Guide to the expression of uncertainty in measurement. First Edition. September 2008.

CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN DEL EQUIPO

La siguiente Tabla proporciona los valores máximos permitidos, para los diferentes errores relativos del sistema de medición de fuerza y para la resolución relativa del indicador de fuerza que caracteriza una clase de instrumento de medición de fuerza de acuerdo con la sección 7 de la Norma ISO 7500-1:2018 y la sección 8 de la Norma ISO 376:2011.

ERRORES MÁXIMOS PERMITIDOS SEGÚN NORMA ISO 7500-1:2018					
Clase	Indicación	Repetibilidad	Cero	Reversibilidad	Resolución Relativa
0,5	0,50	0,50	0,05	0,75	0,25
1	1,00	1,00	0,10	1,50	0,50
2	2,00	2,00	0,20	3,00	1,00
3	3,00	3,00	0,30	4,50	1,50

ERRORES MÁXIMOS PERMITIDOS SEGÚN NORMA ISO 376:2011				
Clase	Reproducibilidad	Repetibilidad	Cero	Reversibilidad
0	0,05	0,025	0,012	0,07
0,5	0,10	0,050	0,025	0,15
1	0,20	0,100	0,050	0,30
2	0,40	0,200	0,100	0,50

OBSERVACIONES

- Se realizó una inspección general de la máquina encontrándose en buen estado de funcionamiento.
- Los certificados de calibración sin las firmas no tienen validez.
- El usuario es responsable de la recalibración de los instrumentos de medición. "En circunstancias normales, la calibración debe realizarse a intervalos de no más de 12 meses. Este rango puede variar según el tipo de instrumento de medición de fuerza de propósito general, el mantenimiento y la severidad del uso." (ABNT NBR 8197:2021)
- En cualquier caso, la máquina debe calibrarse si se realiza un cambio de ubicación que requiera desmontaje, o si se somete a ajustes o reparaciones importantes.
- Este certificado expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. No podrá ser reproducido parcialmente, excepto cuando se haya obtenido permiso previamente por escrito del laboratorio que lo emite.
- Los resultados contenidos parcialmente en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos.
- Se emplea la coma (,) como separador decimal.
- Con el presente Certificado de Calibración se adjunta la etiqueta de Calibración No. 714-2024 GLF

Firmas que Autorizan el Certificado
Signatures Authorizing the Certificate



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.

Correos:
certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com

Teléfono (01) 622 - 58 - 14 **Celular** 992 - 302 - 883 / 927 - 603 - 430

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb Santa Elisa II Etapa.
Los Olivos - Lima



LABORATORIO DE METROLOGÍA
ESPECIALIZADO EN INGENIERÍA CIVIL



CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 8TC-2024 GLL

Página 1 de 2

FECHA DE EMISIÓN	: 2024-01-31
1. SOLICITANTE	: GEOTEST E.I.R.L
DIRECCIÓN	: JR. ORTIZ ARRIETA NRO. 1490 AMAZONAS - CHACHAPOYAS
2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	: TAMIZ
MARCA	: FORNEY
MODELO	: NO INDICA
NÚMERO DE SERIE	: 3/8"BS8F909105
IDENTIFICACIÓN	: NO INDICA
TAMIZ	: 3/8"
PROCEDENCIA	: NO INDICA
UBICACIÓN	: LAB. DE SUELOS Y CONCRETOS DE GEOTEST E.I.R.L
FECHA DE CALIBRACIÓN	: 2024-01-24

3. MÉTODO DE CALIBRACIÓN EMPLEADO

Determinación de la abertura y diámetro del alambre del tamiz, por el método de medición directa, utilizando retículas micrométricas. Se tomó como referencia la Norma ASTM E11-17 – Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves.

4. OBSERVACIONES

- Se colocó una etiqueta con la indicación "CALIBRADO".
- (*) Código Asignado por G&L LABORATORIO SAC.
- El resultado de cada uno de las mediciones en el presente documento es de un promedio de tres valores de un mismo punto.
- Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refiere exclusivamente al instrumento calibrado, no debe usarse como certificado de conformidad del producto.
- G&L LABORATORIO S.A.C, no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento.
- El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.
- El presente documento carece de valores de firmas y sellos.

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

G&L LABORATORIO S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de G&L LABORATORIO S.A.C.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de G&L LABORATORIO S.A.C.

Jhon Jefferson Yoplac Villanueva
Jefe Departamento de Metrología



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60 Urb Santa Elisa II Etapa. Los Olivos - Lima

Correos:
certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gyllaboratorio@gmail.com

Teléfono (01) 622 - 58 - 14 **Celular** 992 - 302 - 883 / 927 - 603 - 430



Firmado digitalmente por:
YOPLAC VILLANUEVA JHON
JEFFERSON FIR 70812584 hard
Motivo: JEFE DEPARTAMENTO
DE METROLOGÍA
Fecha: 31.01/2024 12:59:24-0500



LABORATORIO DE METROLOGÍA
ESPECIALIZADO EN INGENIERÍA CIVIL



CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 8TC-2024 GLL
Página 2 de 2

5. CONDICIONES AMBIENTALES

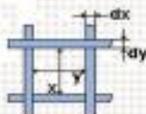
	Inicial	Final
Temperatura °C	20,5 °C	20,5 °C
Humedad Relativa %HR	49%	49%

6. TRAZABILIDAD

Los resultados de la calibración realizada son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales del Instituto Nacional de Calidad – INACAL en concordancia con el sistema Internaciones de Unidades de Medida (SI) y el sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrones de referencia de METROIL	Termohigrómetro	1AT - 1318 - 2023
Patrones de referencia de METROIL	Reticula Micrométrica	1ACD - 0544 - 2023
Patrones de referencia de METROIL	Pie de Rey Digital de 0 a 150 mm	1AD - 0126 - 2023

7. RESULTADOS DE MEDICIÓN



MEDICIONES PARA LA ABERTURA DE LA MALLA

	VALOR NOMINAL (mm)	PROMEDIO (mm)	ERROR (mm)	INCERTIDUMBRE (mm)
HORIZONTAL (y)	9,50	9,51	-0,01	0,010
VERTICAL (x)		9,48	0,02	0,049

MEDICIONES PARA EL DIAMETRO DEL ALAMBRE

	INTERVALO NOMINAL (mm)	PROMEDIO (mm)	ERROR (mm)	INCERTIDUMBRE (mm)
HORIZONTAL (dy)	2,25	2,37	-0,12	0,006
VERTICAL (dx)		2,36	-0,11	0,006

8. INCERTIDUMBRE

- La incertidumbre de medición reportada ha sido calculada de acuerdo con la guía OIML G1-100-en: 2008 (JCGM 100:2008) y OIML G1-104-en: 2009 (JCGM 104: 2009) "Guía para la expresión de la incertidumbre en las mediciones", la cual sugiere desarrollar un modelo matemático que tome en cuenta los factores que influencia durante la calibración.
- La incertidumbre indicada no incluye una estimación de las variaciones a largo plazo.
- La incertidumbre de medición reportada se denomina incertidumbre Expandida (U) y se obtiene de la multiplicación de la incertidumbre Estándar Combinada (u) por el factor de cobertura (k). Generalmente se expresa un factor de confianza de aproximadamente 95 %.

FIN DEL DOCUMENTO



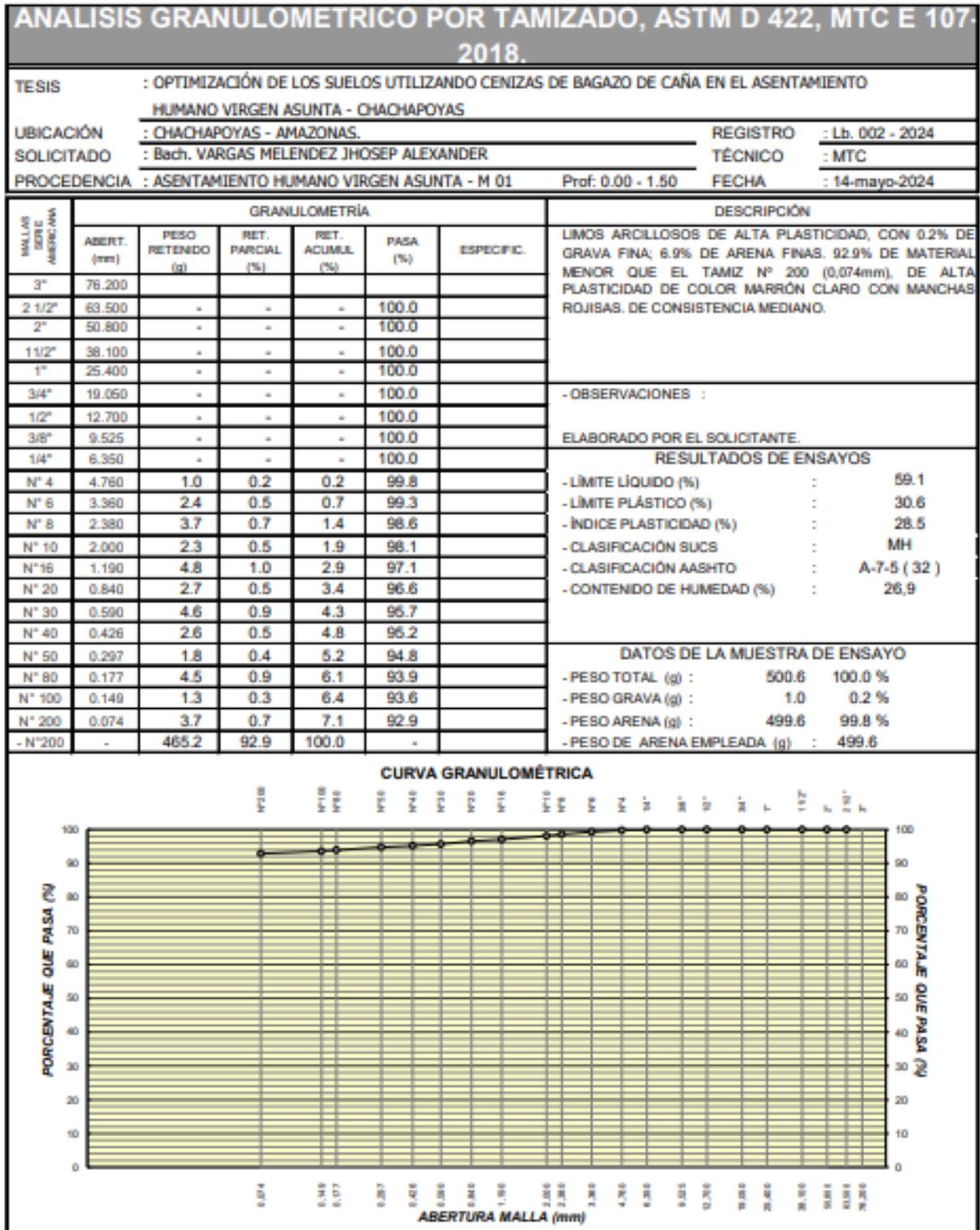
Correos:
certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gyllaboratorio@gmail.com

Teléfono: (01) 622 - 58 - 14 **Celular:** 992 - 302 - 883 / 927 - 603 - 430

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb Santa Elisa II Etapa,
Los Olivos - Lima

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.

Anexo 7. Resultados de análisis granulométrico



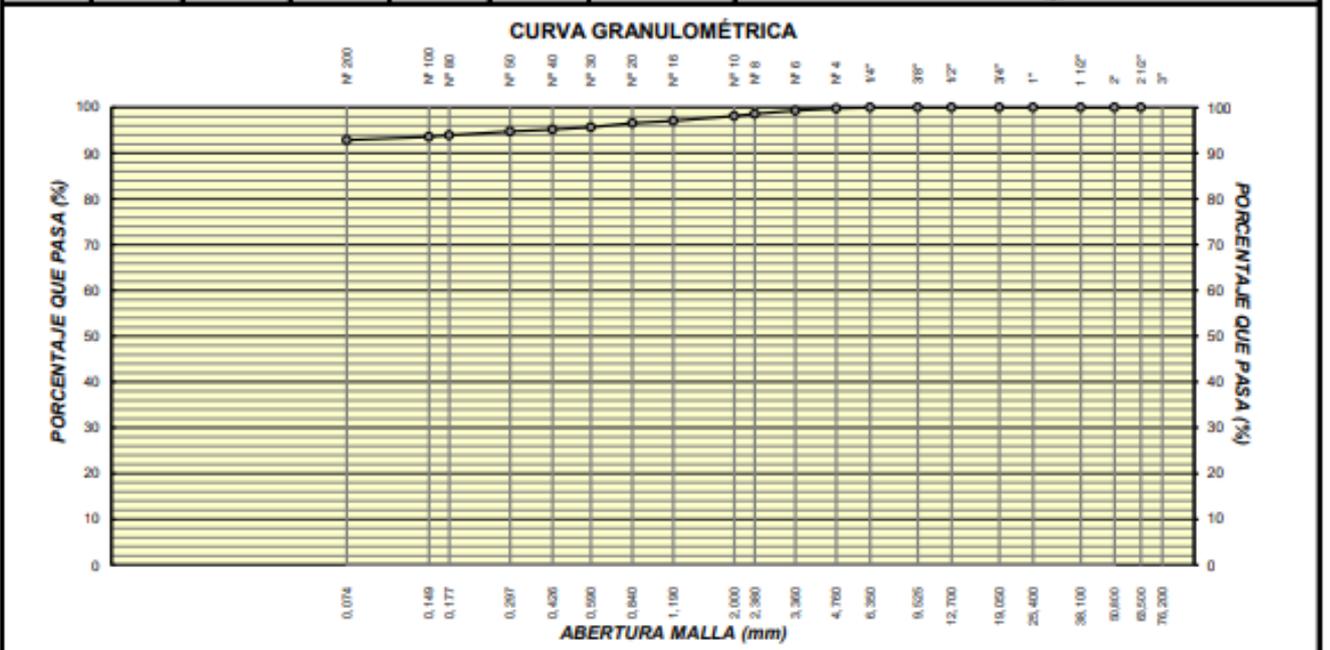
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO, ASTM D 422, MTC E 107-2018.

TESIS : OPTIMIZACIÓN DE LOS SUELOS UTILIZANDO CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO VIRGEN ASUNTA - CHACHAPOYAS
UBICACIÓN : CHACHAPOYAS - AMAZONAS. **REGISTRO** : Lb. 002 - 2024
SOLICITADO : BACH. VARGAS MELENDEZ JOSEF ALEXANDER **TÉCNICO** : MTC
PROCEDENCIA : MUESTRA 01 + 5% DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA **Prof:** 0.00 - 1.50 **FECHA** : 16-mayo-2024

MALLAS SERIE AMERICANA	GRANULOMETRÍA						DESCRIPCIÓN
	ABERT. (mm)	PESO RETENIDO (g)	RET. PARCIAL (%)	RET. ACUMUL. (%)	PASA (%)	ESPECIFIC.	
3"	76.200						LIMOS ARCILLOSOS DE ALTA PLASTICIDAD, CON 0.2% DE GRAVA FINA; 6.9% DE ARENA FINAS. 92.9% DE MATERIAL MENOR QUE EL TAMIZ N° 200 (0,074mm), DE ALTA PLASTICIDAD DE COLOR MARRÓN CLARO CON MANCHAS ROJISAS. DE CONSISTENCIA MEDIANO.
2 1/2"	63.500	-	-	-	100.0		
2"	50.800	-	-	-	100.0		
1 1/2"	38.100	-	-	-	100.0		
1"	25.400	-	-	-	100.0		
3/4"	19.050	-	-	-	100.0		
1/2"	12.700	-	-	-	100.0		
3/8"	9.525	-	-	-	100.0		
1/4"	6.350	-	-	-	100.0		
N° 4	4.760	1.0	0.2	0.2	99.8		
N° 6	3.360	2.4	0.5	0.7	99.3		
N° 8	2.380	3.7	0.7	1.4	98.6		
N° 10	2.000	2.3	0.5	1.9	98.1		
N° 16	1.190	4.8	1.0	2.9	97.1		
N° 20	0.840	2.7	0.5	3.4	96.6		
N° 30	0.590	4.6	0.9	4.3	95.7		
N° 40	0.426	2.6	0.5	4.8	95.2		
N° 50	0.297	1.8	0.4	5.2	94.8		
N° 80	0.177	4.5	0.9	6.1	93.9		
N° 100	0.149	1.3	0.3	6.4	93.6		
N° 200	0.074	3.7	0.7	7.1	92.9		
-N° 200	-	465.2	92.9	100.0	-		

RESULTADOS DE ENSAYOS			
- LÍMITE LÍQUIDO (%)	:	51.2	
- LÍMITE PLÁSTICO (%)	:	23.9	
- ÍNDICE PLASTICIDAD (%)	:	27.3	
- CLASIFICACIÓN SUCS	:	CH	
- CLASIFICACIÓN AASHTO	:	A-7-6 (28)	
- CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	:	26,9	

DATOS DE LA MUESTRA DE ENSAYO			
- PESO TOTAL (g)	:	500.6	100.0 %
- PESO GRAVA (g)	:	1.0	0.2 %
- PESO ARENA (g)	:	499.6	99.8 %
- PESO DE ARENA EMPLEADA (g)	:	499.6	



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO, ASTM D 422, MTC E 107-2018.

TESIS : OPTIMIZACIÓN DE LOS SUELOS UTILIZANDO CENIZAS DE BAGAJO DE CAÑA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO
VIGEN ASUNTA - CHACHAPOYAS
UBICACIÓN : CHACHAPOYAS - AMAZONAS. **REGISTRO** : Lb. 002 - 2024
SOLICITADO : BACH. VARGAS MELENDEZ JHOSEF ALEXANDER **TÉCNICO** : MTC
PROCEDENCIA : MUESTRA 01 + 15% DE CENIZA DE BAGAJO DE CAÑA **Prof:** 0.00 - 1.50 **FECHA** : 18-mayo-2024

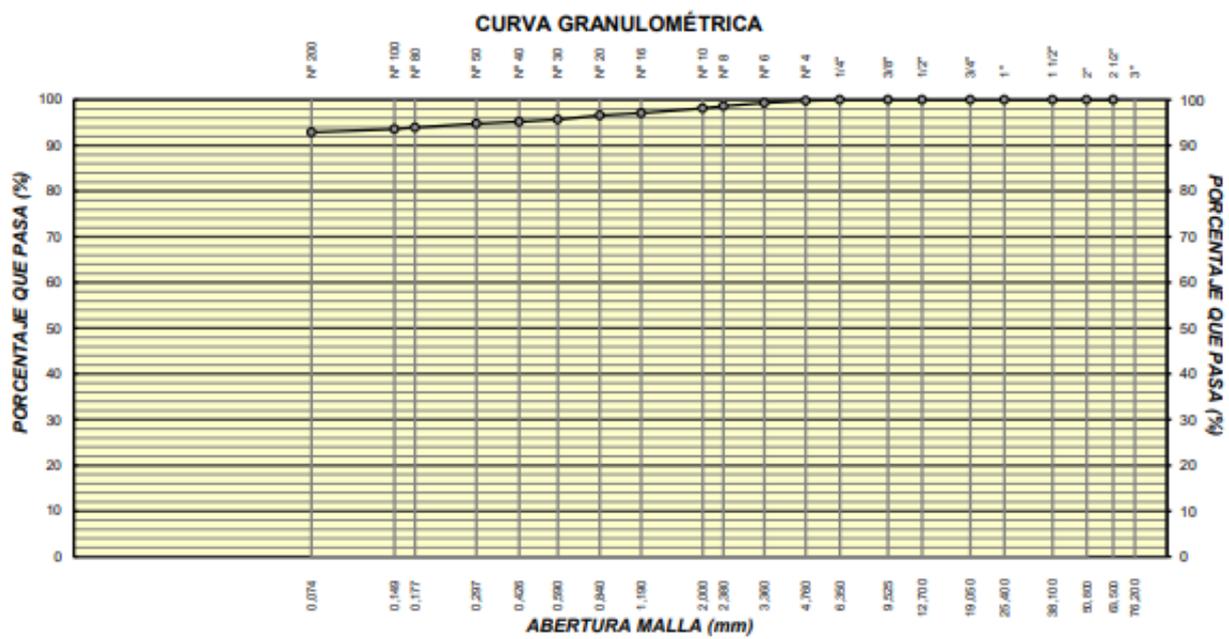
MALLAS SERIE AMERICANA	GRANULOMETRÍA						DESCRIPCIÓN
	ABERT. (mm)	PESO RETENIDO (g)	RET. PARCIAL (%)	RET. ACUMUL (%)	PASA (%)	ESPECIFIC.	
3"	76.200	-	-	-	-	-	LIMOS ARCILLOSOS DE ALTA PLASTICIDAD, CON 0.2% DE GRAVA FINA; 6.9% DE ARENA FINAS. 92.9% DE MATERIAL MENOR QUE EL TAMIZ N° 200 (0,074mm), DE ALTA PLASTICIDAD DE COLOR MARRÓN CLARO CON MANCHAS ROJISAS. DE CONSISTENCIA MEDIANO. - OBSERVACIONES : ELABORADO POR EL SOLICITANTE.
2 1/2"	63.500	-	-	-	100.0	-	
2"	50.800	-	-	-	100.0	-	
1 1/2"	38.100	-	-	-	100.0	-	
1"	25.400	-	-	-	100.0	-	
3/4"	19.050	-	-	-	100.0	-	
1/2"	12.700	-	-	-	100.0	-	
3/8"	9.525	-	-	-	100.0	-	
1/4"	6.350	-	-	-	100.0	-	
N° 4	4.760	1.0	0.2	0.2	99.8	-	
N° 6	3.360	2.4	0.5	0.7	99.3	-	
N° 8	2.380	3.7	0.7	1.4	98.6	-	
N° 10	2.000	2.3	0.5	1.9	98.1	-	
N° 16	1.190	4.8	1.0	2.9	97.1	-	
N° 20	0.840	2.7	0.5	3.4	96.6	-	
N° 30	0.590	4.6	0.9	4.3	95.7	-	
N° 40	0.426	2.6	0.5	4.8	95.2	-	
N° 50	0.297	1.8	0.4	5.2	94.8	-	
N° 80	0.177	4.5	0.9	6.1	93.9	-	
N° 100	0.149	1.3	0.3	6.4	93.6	-	
N° 200	0.074	3.7	0.7	7.1	92.9	-	
- N°200	-	465.2	92.9	100.0	-	-	

RESULTADOS DE ENSAYOS

- LÍMITE LÍQUIDO (%) : 46.0
 - LÍMITE PLÁSTICO (%) : 22.0
 - ÍNDICE PLASTICIDAD (%) : 24.0
 - CLASIFICACIÓN SUCS : CL
 - CLASIFICACIÓN AASHTO : A-7-6 (24)
 - CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 26,9

DATOS DE LA MUESTRA DE ENSAYO

- PESO TOTAL (g) : 500.6 100.0 %
 - PESO GRAVA (g) : 1.0 0.2 %
 - PESO ARENA (g) : 499.6 99.8 %
 - PESO DE ARENA EMPLEADA (g) : 499.6



ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO, ASTM D 422, MTC E 107-2018.

TESIS : OPTIMIZACIÓN DE LOS SUELOS UTILIZANDO CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO
UBICACIÓN : VIRGEN ASUNTA - CHACHAPOYAS
SOLICITADO : BACH. VARGAS MELENDEZ JOSEPH ALEXANDER
PROCEDENCIA : MUESTRA 01 + 25% DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA Prof: 0.00 - 1.50

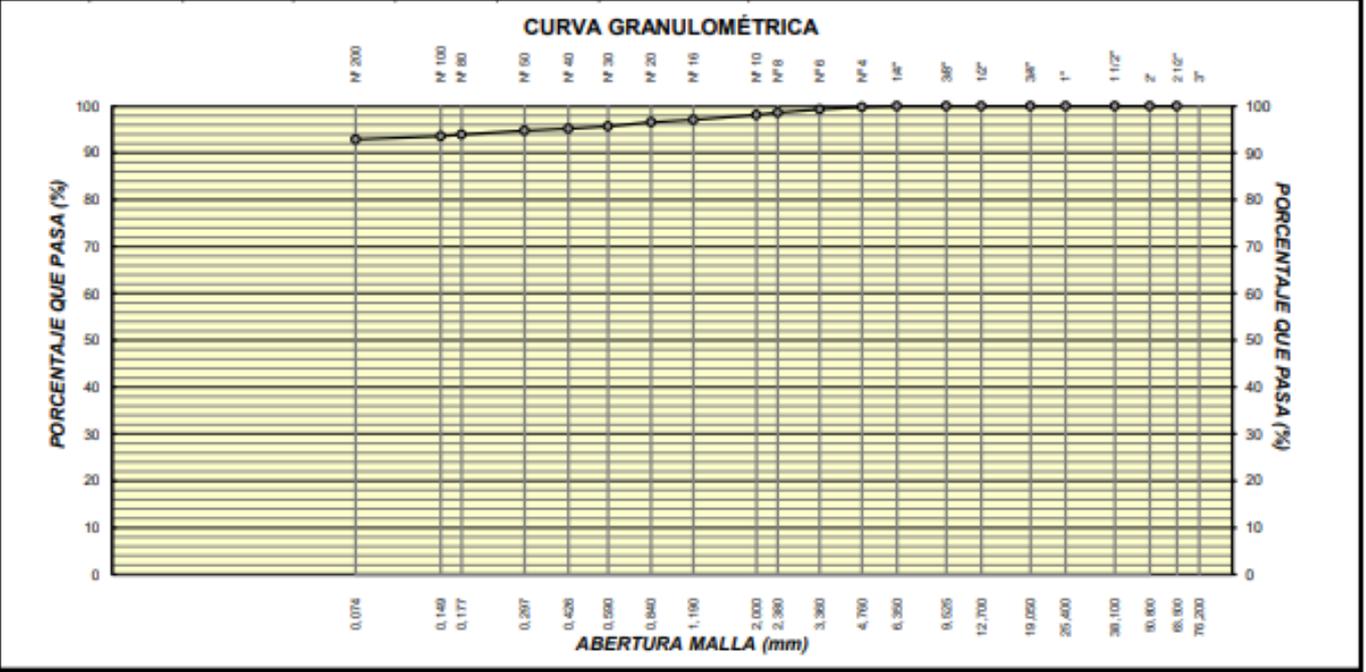
REGISTRO : Lb. 002 - 2024
TÉCNICO : MTC
FECHA : 18-mayo-2024

MALLAS SERIE AMERICANA	GRANULOMETRÍA						DESCRIPCIÓN
	ABERT. (mm)	PESO RETENIDO (g)	RET. PARCIAL (%)	RET. ACUMUL. (%)	PASA (%)	ESPECIFIC.	
3"	76.200						LIMOS ARCILLOSOS DE ALTA PLASTICIDAD, CON 0.2% DE GRAVA FINA; 6.9% DE ARENA FINAS. 92.9% DE MATERIAL MENOR QUE EL TAMIZ N° 200 (0,074mm), DE ALTA PLASTICIDAD DE COLOR MARRÓN CLARO CON MANCHAS ROJISAS. DE CONSISTENCIA MEDIANO.
2 1/2"	63.500	-	-	-	100.0		
2"	50.800	-	-	-	100.0		
1 1/2"	38.100	-	-	-	100.0		
1"	25.400	-	-	-	100.0		
3/4"	19.050	-	-	-	100.0		
1/2"	12.700	-	-	-	100.0		
3/8"	9.525	-	-	-	100.0		
1/4"	6.350	-	-	-	100.0		
N° 4	4.760	1.0	0.2	0.2	99.8		
N° 6	3.360	2.4	0.5	0.7	99.3		
N° 8	2.380	3.7	0.7	1.4	98.6		
N° 10	2.000	2.3	0.5	1.9	98.1		
N° 16	1.190	4.8	1.0	2.9	97.1		
N° 20	0.840	2.7	0.5	3.4	96.6		
N° 30	0.590	4.6	0.9	4.3	95.7		
N° 40	0.426	2.6	0.5	4.8	95.2		
N° 50	0.297	1.8	0.4	5.2	94.8		
N° 80	0.177	4.5	0.9	6.1	93.9		
N° 100	0.149	1.3	0.3	6.4	93.6		
N° 200	0.074	3.7	0.7	7.1	92.9		
- N° 200	-	465.2	92.9	100.0	-		

- OBSERVACIONES :
ELABORADO POR EL SOLICITANTE.

- LÍMITE LÍQUIDO (%)	: 36.0
- LÍMITE PLÁSTICO (%)	: 23.9
- ÍNDICE PLASTICIDAD (%)	: 12.1
- CLASIFICACIÓN SUCS	: CL
- CLASIFICACIÓN AASHTO	: A-6 (12)
- CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	: 26,9

- PESO TOTAL (g)	: 500.6	100.0 %
- PESO GRAVA (g)	: 1.0	0.2 %
- PESO ARENA (g)	: 499.6	99.8 %
- PESO DE ARENA EMPLEADA (g)	: 499.6	



Anexo 8. Resultados del ensayo de límites de atterberg

LÍMITES DE ATTERBERG NTP 339.129 (99)

TESIS : OPTIMIZACIÓN DE LOS SUELOS UTILIZANDO CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO VIRGEN ASUNTA - CHACHAPOYAS

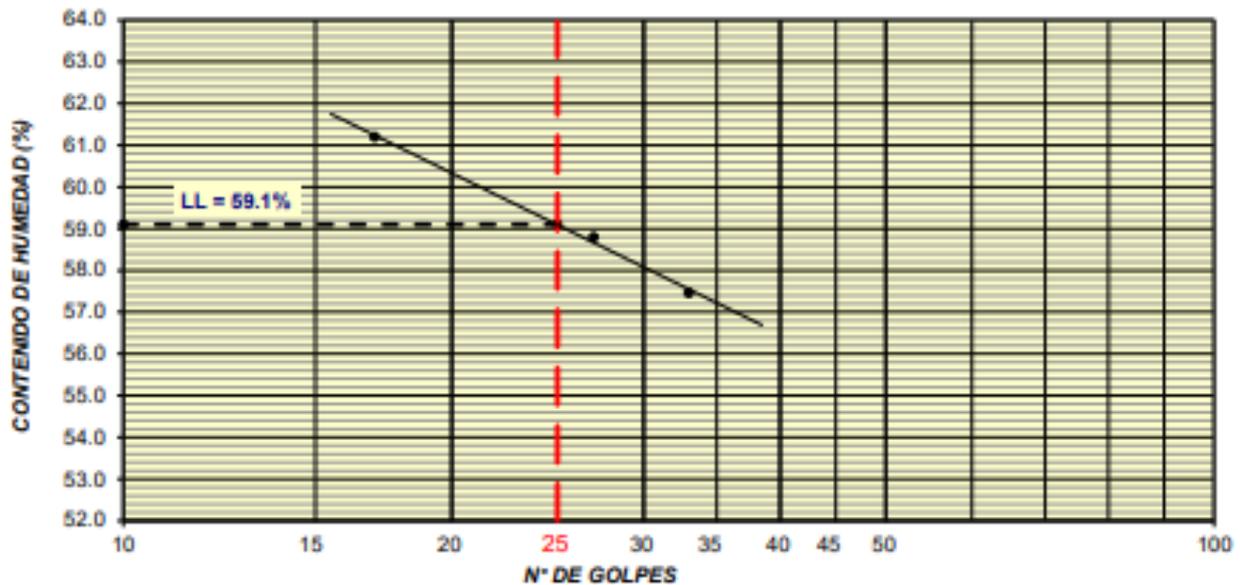
UBICACIÓN : CHACHAPOYAS - AMAZONAS. REGISTRO : Lb. 002 - 2024

SOLICITADO : Bach. VARGAS MELENDEZ JOSEF ALEXANDER TÉCNICO : MTC

PROCEDENCIA : ASENTAMIENTO HUMANO VIRGEN ASUNTA - M 01 Prof: 0.00 - 1.50 FECHA : 14-mayo-2024

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	1	2	3	1	2
ENSAYO No.					
CÁPSULA No.	77	78	79	8	9
PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO, g	39.56	40.12	41.25	21.15	20.85
PESO CÁPSULA + SUELO SECO, g	33.11	33.63	34.43	18.90	18.69
PESO AGUA, g	6.45	6.49	6.82	2.25	2.16
PESO DE LA CÁPSULA, g	22.57	22.59	22.56	11.58	11.59
PESO SUELO SECO, g	10.54	11.04	11.87	7.32	7.10
CONTENIDO DE HUMEDAD, %	61.20	58.79	57.46	30.74	30.42
NÚMERO DE GOLPES	17	27	33		

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



OBSERVACIONES:

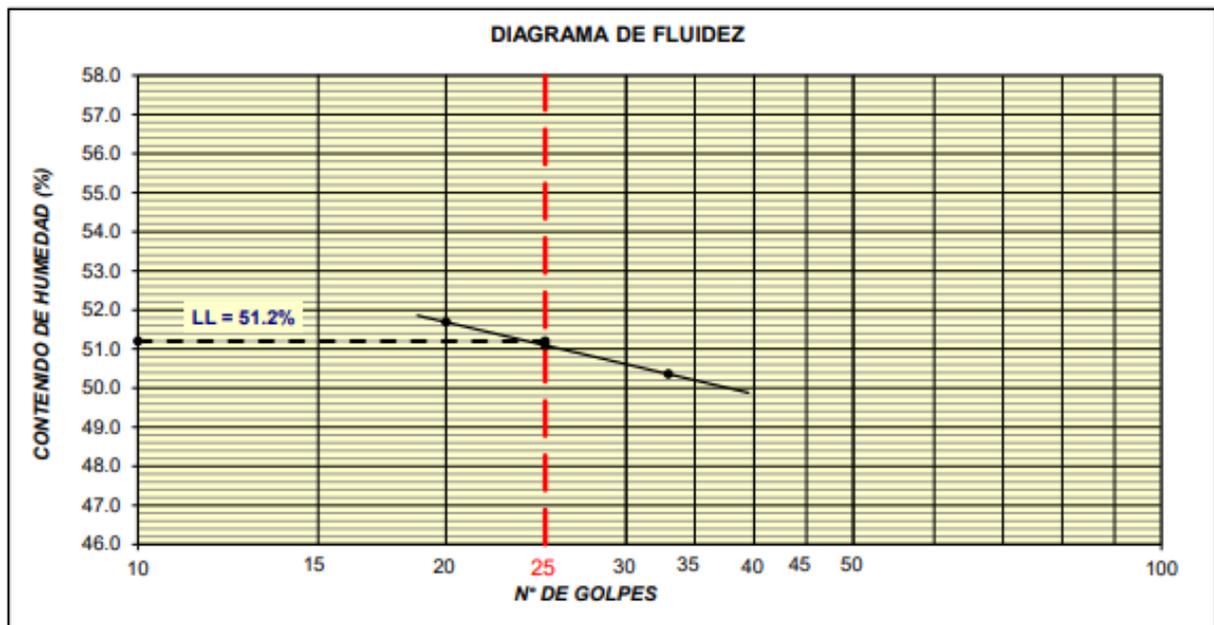
RESULTADOS DE ENSAYOS

LÍMITE LÍQUIDO (%)	59.1	LÍMITE PLÁSTICO (%)	30.6	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	28.5
--------------------	-------------	---------------------	-------------	---------------------------	-------------

LÍMITES DE ATTERBERG NTP 339.129 (99)

TESIS : OPTIMIZACIÓN DE LOS SUELOS UTILIZANDO CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO VIRGEN ASUNTA - CHACHAPOYAS
UBICACIÓN : CHACHAPOYAS - AMAZONAS. **REGISTRO** : Lb. 002 - 2024
SOLICITADO : BACH. VARGAS MELENDEZ JHOSEP ALEXANDER **TÉCNICO** : MTC
PROCEDENCIA : MUESTRA 01 + 5% DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA Prof: 0.00 - 1.50 **FECHA** : 16-mayo-2024

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	1	2	3	1	2
ENSAYO No.	1	2	3	1	2
CÁPSULA No.	53	105	128	1	3
PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO, g	46.60	46.60	46.40	50.40	52.00
PESO CÁPSULA + SUELO SECO, g	39.58	39.60	39.50	48.90	49.60
PESO AGUA, g	7.02	7.00	6.90	1.50	2.40
PESO DE LA CÁPSULA, g	26.00	25.90	25.80	40.10	41.80
PESO SUELO SECO, g	13.58	13.70	13.70	8.80	7.80
CONTENIDO DE HUMEDAD, %	51.69	51.09	50.36	17.05	30.77
NÚMERO DE GOLPES	20	25	33		



OBSERVACIONES:

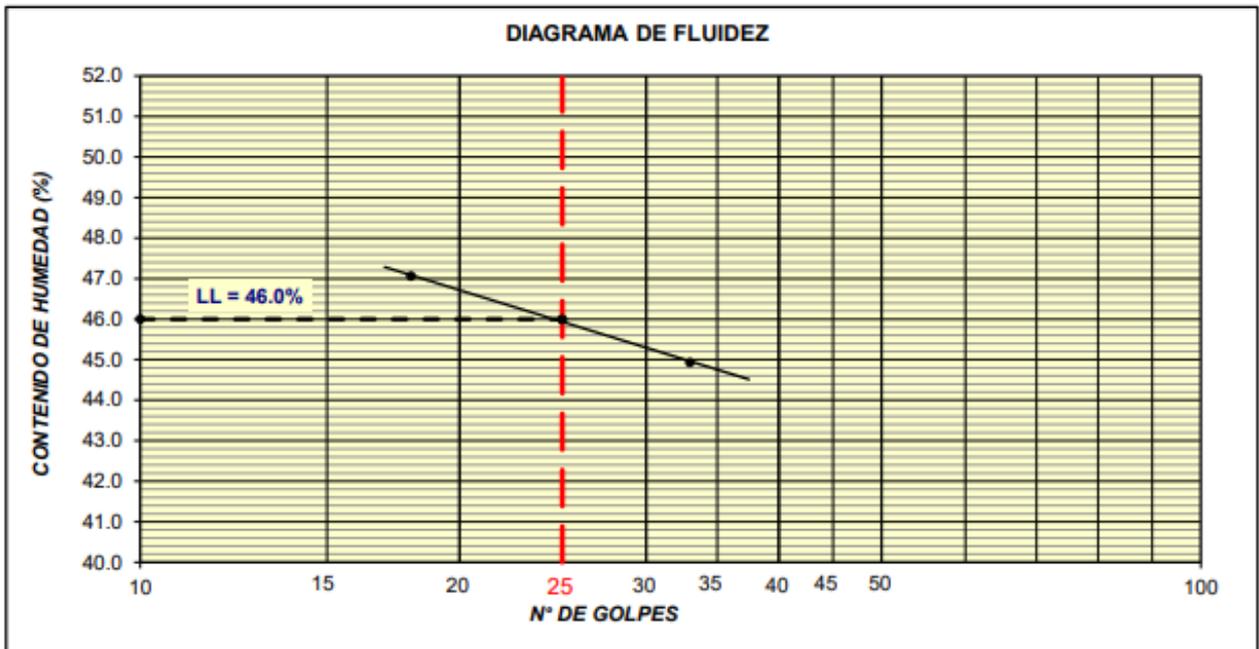
RESULTADOS DE ENSAYOS

LÍMITE LÍQUIDO (%)	51.2	LÍMITE PLÁSTICO (%)	23.9	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	27.3
--------------------	-------------	---------------------	-------------	---------------------------	-------------

LÍMITES DE ATTERBERG NTP 339.129 (99)

TESIS : OPTIMIZACIÓN DE LOS SUELOS UTILIZANDO CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO
VIGEN ASUNTA - CHACHAPOYAS
UBICACIÓN : CHACHAPOYAS - AMAZONAS. **REGISTRO** : Lb. 002 - 2024
SOLICITADO : BACH. VARGAS MELENDEZ JOSEF ALEXANDER **TÉCNICO** : MTC
PROCEDENCIA : MUESTRA 01 + 15% DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA Prof. 0.00 - 1.50 **FECHA** : 18-mayo-2024

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	1	2	3	1	2
ENSAYO No.					
CÁPSULA No.	43	14	10	1	3
PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO, g	42.50	42.50	42.50	32.50	32.50
PESO CÁPSULA + SUELO SECO, g	36.10	32.20	36.30	30.70	30.70
PESO AGUA, g	6.40	6.30	6.20	1.80	1.80
PESO DE LA CÁPSULA, g	22.60	22.50	22.60	22.50	22.50
PESO SUELO SECO, g	13.60	13.70	13.80	8.20	8.20
CONTENIDO DE HUMEDAD, %	47.06	45.99	44.93	21.95	21.95
NÚMERO DE GOLPES	18	25	33		



OBSERVACIONES:

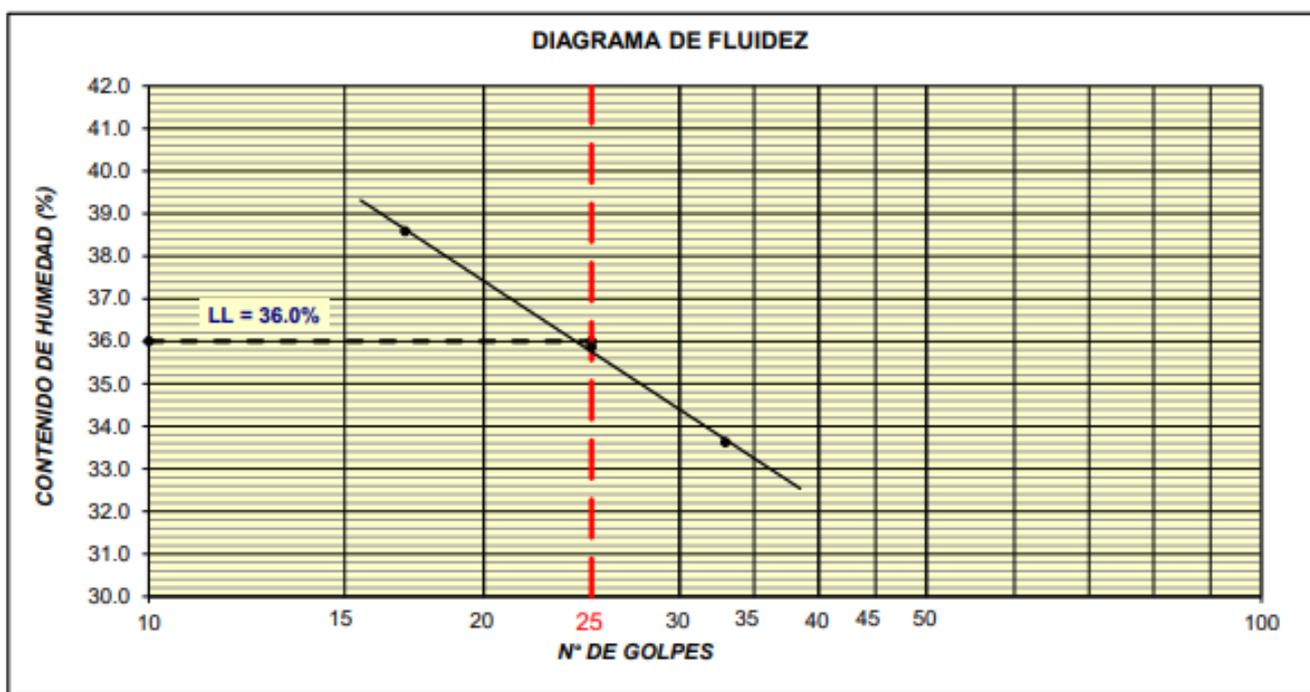
RESULTADOS DE ENSAYOS

LÍMITE LÍQUIDO (%)	46.0	LÍMITE PLÁSTICO (%)	22.0	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	24.0
--------------------	-------------	---------------------	-------------	---------------------------	-------------

LÍMITES DE ATTERBERG NTP 339.129 (99)

TESIS : OPTIMIZACIÓN DE LOS SUELOS UTILIZANDO CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO
VIRGEN ASUNTA - CHACHAPOYAS
UBICACIÓN : CHACHAPOYAS - AMAZONAS. **REGISTRO** : Lb. 002 - 2024
SOLICITADO : BACH. VARGAS MELENDEZ JHOSEP ALEXANDER **TÉCNICO** : MTC
PROCEDENCIA : MUESTRA 01 + 25% DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA Prof: 0.00 - 1.50 **FECHA** : 18-mayo-2024

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	1	2	3	1	2
ENSAYO No.	1	2	3	1	2
CÁPSULA No.	10	11	12	15	16
PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO, g	39.58	40.21	56.40	23.56	22.54
PESO CÁPSULA + SUELO SECO, g	35.31	36.16	50.54	21.19	20.46
PESO AGUA, g	4.07	4.05	5.86	2.37	2.08
PESO DE LA CÁPSULA, g	24.76	24.87	33.11	11.47	11.58
PESO SUELO SECO, g	10.55	11.29	17.43	9.72	8.88
CONTENIDO DE HUMEDAD, %	38.58	35.87	33.62	24.38	23.42
NÚMERO DE GOLPES	17	25	33		



OBSERVACIONES:

RESULTADOS DE ENSAYOS

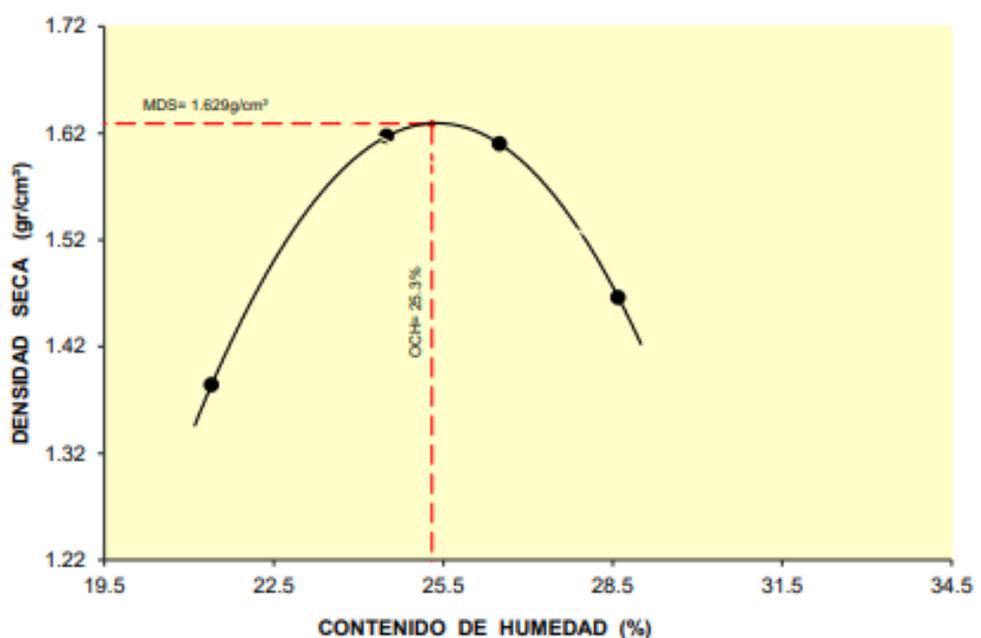
LÍMITE LÍQUIDO (%)	36.0	LÍMITE PLÁSTICO (%)	23.9	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	12.1
--------------------	-------------	---------------------	-------------	---------------------------	-------------

Anexo 9. Resultados de ensayo de compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada

ASTM D1883 - ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA) DE NTP 339.145 SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

TESIS : OPTIMIZACIÓN DE LOS SUELOS UTILIZANDO CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO VIRGEN ASUNTA - CHACHAPOYAS
 SOLICITANTE : BACH. VARGAS MELENDEZ JOSEF ALEXANDER REGISTRO : Lab 001 - 2024
 PROCEDENCIA : ASENTAMIENTO VIRGEN DE ASUNTA - CHACHAPOYAS FECHA : 15-mayo-2024
 CALICATA : C-01 MUESTRA : M-01 PROF. (m) : 0.00 - 1.50

01 - Peso Suelo Húmedo + Molde, g	3558.0	3872.0	3895.0	3752.0
02 - Peso del Molde, g	1974.0	1974.0	1974.0	1974.0
03 - Peso Suelo Húmedo, g	1584.0	1898.0	1921.0	1778.0
04 - Volumen del Molde, cm ³	943.0	943.0	943.0	943.0
05 - Densidad Suelo Húmedo, g/cm ³	1.680	2.013	2.037	1.885
06 - Tarro N°	100	102	105	108
07 - Peso suelo húmedo + tarro, g	356.2	312.8	327.8	330.4
08 - Peso suelo seco + tarro, g	300.3	258.9	267.2	265.5
09 - Peso del agua, g	55.9	53.9	60.6	64.9
10 - Peso del tarro, g	38.9	38.9	38.9	38.9
11 - Peso suelo seco, g	261.5	220.1	228.4	226.7
12 - Contenido de Humedad, %	21.38	24.49	26.54	28.63
13 - Promedio de Humedad, %	21.4	24.5	26.5	28.6
14 - Densidad del Suelo Seco, g/cm ³	1.384	1.617	1.610	1.466
15.- Cantidad de agua añadida, cm ³	0	120	270	390



RESULTADOS DE ENSAYO	
MÉTODO DE COMPACTACIÓN	"B"
MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)	1.629 g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	25.3%

OBSERVACIONES : MUESTRA PROPORCIONADA IDENTIFICADA POR EL SOLICITANTE.

**ASTM D1557 - ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO
NTP 339.141 USANDO ENERGÍA MODIFICADA (2,700 kg-cm/m³)**

TESIS : OPTIMIZACIÓN DE LOS SUELOS UTILIZANDO CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO
VIRGEN ASUNTA - CHACHAPOYAS

SOLICITANTE : BACH. VARGAS MELENDEZ JHOSEF ALEXANDER

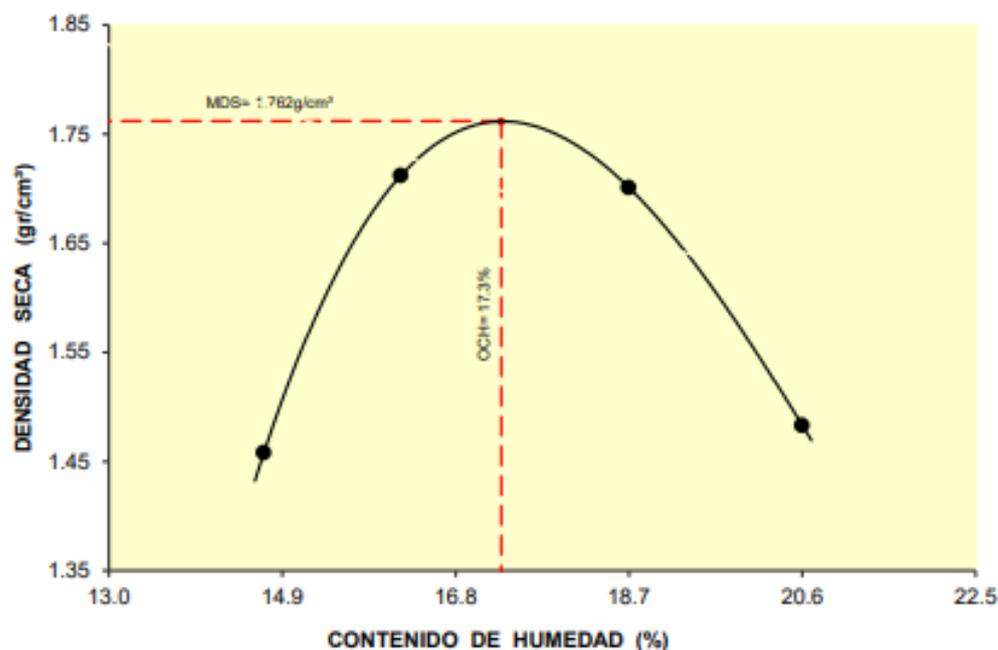
REGISTRO : Lab 005 - 2024

PROCEDENCIA : MUESTRA 01 + 5% DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA

FECHA : 17-mayo-2024

CALICATA : C-01 MUESTRA : M-01 PROF. (m) : 0.00 - 1.50

01 - Peso Suelo Húmedo + Molde, g	6805.0	7480.0	7545.0	7055.0
02 - Peso del Molde, g	3248.0	3248.0	3248.0	3248.0
03 - Peso Suelo Húmedo, g	3557.0	4232.0	4297.0	3807.0
04 - Volumen del Molde, cm ³	2128.0	2128.0	2128.0	2128.0
05 - Densidad Suelo Húmedo, g/cm ³	1.672	1.989	2.019	1.789
06 - Tarro N°	58	72	73	76
07 - Peso suelo húmedo + tarro, g	325.6	296.3	313.6	331.4
08 - Peso suelo seco + tarro, g	288.9	260.4	270.4	281.4
09 - Peso del agua, g	36.7	35.9	43.2	50.0
10 - Peso del tarro, g	38.9	38.9	38.8	38.9
11 - Peso suelo seco, g	250.1	221.6	231.6	242.6
12 - Contenido de Humedad, %	14.68	16.20	18.66	20.61
13 - Promedio de Humedad, %	14.7	16.2	18.7	20.6
14 - Densidad del Suelo Seco, g/cm ³	1.458	1.712	1.701	1.483
15.- Cantidad de agua añadida, cm ³	0	120	270	390



RESULTADOS DE ENSAYO	
MÉTODO DE COMPACTACIÓN	"C"
MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)	1.762 g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	17.3%

OBSERVACIONES : MUESTRA EXTRAIDA POR EL SOLICITANTE

**ASTM D1557 - NTP ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO
USANDO ENERGÍA MODIFICADA (2,700 kg-cm/m³)**

TESIS : OPTIMIZACIÓN DE LOS SUELOS UTILIZANDO CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO
VIRGEN ASUNTA - CHACHAPOYAS

SOLICITANTE : BACH. VARGAS MELENDEZ JHOSEP ALEXANDER

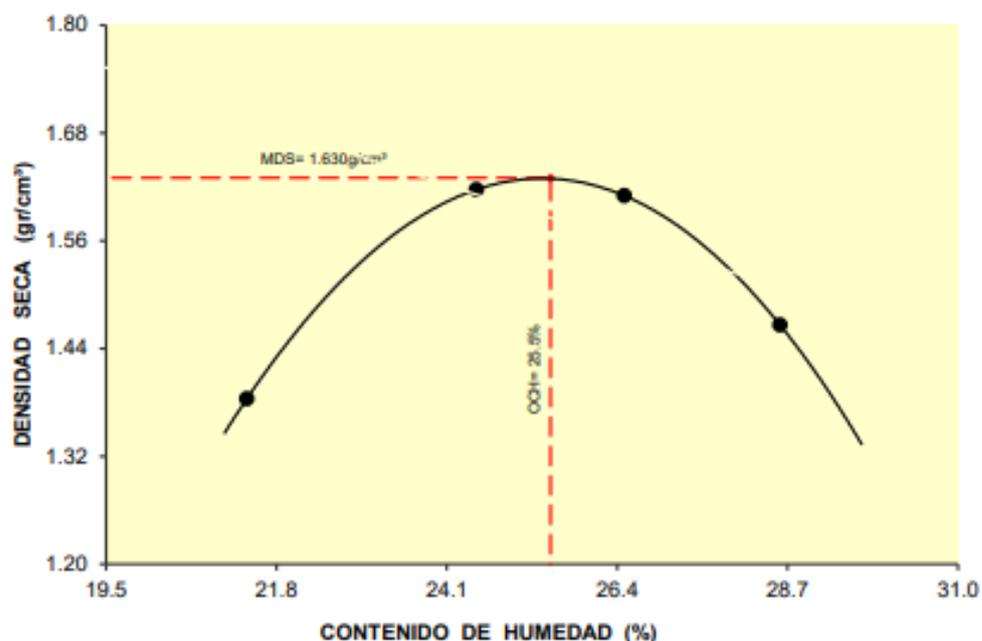
REGISTRO : Lab 006 - 2024

PROCEDENCIA : MUESTRA 01 + 5% DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA

FECHA : 19-mayo-2024

CALICATA : C-1 MUESTRA : M-01 PROF. (m) : 0.00 - 1.50

01 - Peso Suelo Húmedo + Molde, g	3558.0	3872.0	3895.0	3752.0
02 - Peso del Molde, g	1974.0	1974.0	1974.0	1974.0
03 - Peso Suelo Húmedo, g	1584.0	1898.0	1921.0	1778.0
04 - Volumen del Molde, cm ³	943.0	943.0	943.0	943.0
05 - Densidad Suelo Húmedo, g/cm ³	1.680	2.013	2.037	1.885
06 - Tarro N°	100	102	105	108
07 - Peso suelo húmedo + tarro, g	356.2	312.8	327.8	330.4
08 - Peso suelo seco + tarro, g	300.3	258.9	267.2	265.5
09 - Peso del agua, g	55.9	53.9	60.6	64.9
10 - Peso del tarro, g	38.9	38.9	38.9	38.9
11 - Peso suelo seco, g	261.5	220.1	228.4	226.7
12 - Contenido de Humedad, %	21.38	24.49	26.54	28.63
13 - Promedio de Humedad, %	21.4	24.5	26.5	28.6
14 - Densidad del Suelo Seco, g/cm ³	1.384	1.617	1.610	1.466
15 - Cantidad de agua añadida, cm ³	0	120	270	390



RESULTADOS DE ENSAYO

MÉTODO DE COMPACTACIÓN	"C"
MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)	1.630 g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	25.5%

OBSERVACIONES : MUESTRA IDENTIFICADA POR EL LABORATORIO.

**ASTM D1557 - NTP ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO
USANDO ENERGÍA MODIFICADA (2,700 kg-cm/m³)**

TESIS : OPTIMIZACIÓN DE LOS SUELOS UTILIZANDO CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO
VIRGEN ASUNTA - CHACHAPOYAS

SOLICITANTE : BACH. VARGAS MELENDEZ JHOSEP ALEXANDER

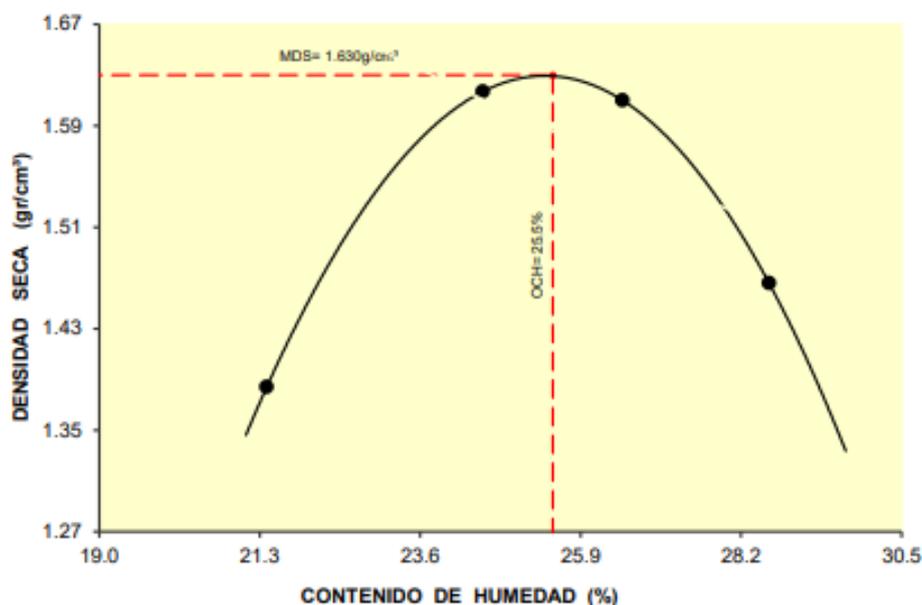
REGISTRO : Lab 008 - 2024

PROCEDENCIA : MUESTRA 01 + 25% DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA

FECHA : 21-mayo-2024

CALICATA : C-1 MUESTRA : M-01 PROF. (m) : 0.00 - 1.50

01 - Peso Suelo Húmedo + Molde, g	3558.0	3872.0	3895.0	3752.0
02 - Peso del Molde, g	1974.0	1974.0	1974.0	1974.0
03 - Peso Suelo Húmedo, g	1584.0	1898.0	1921.0	1778.0
04 - Volumen del Molde, cm ³	943.0	943.0	943.0	943.0
05 - Densidad Suelo Húmedo, g/cm ³	1.680	2.013	2.037	1.885
06 - Tarro N°	100	102	105	108
07 - Peso suelo húmedo + tarro, g	356.2	312.8	327.8	330.4
08 - Peso suelo seco + tarro, g	300.3	258.9	267.2	265.5
09 - Peso del agua, g	55.9	53.9	60.6	64.9
10 - Peso del tarro, g	38.9	38.9	38.9	38.9
11 - Peso suelo seco, g	261.5	220.1	228.4	226.7
12 - Contenido de Humedad, %	21.38	24.49	26.54	28.63
13 - Promedio de Humedad, %	21.4	24.5	26.5	28.6
14 - Densidad del Suelo Seco, g/cm ³	1.384	1.617	1.610	1.466
15.- Cantidad de agua añadida, cm ³	0	120	270	390



RESULTADOS DE ENSAYO

MÉTODO DE COMPACTACIÓN	"C"
MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)	1.630 g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	25.5%

OBSERVACIONES : MUESTRA IDENTIFICADA Y PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE

Anexo 10. Resultados del ensayo de C.B.R.

ASTM D1557 - ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO	
NTP 339.141 USANDO ENERGÍA MODIFICADA (2,700 kg-cm/m ²)	
TESIS	: EVALUACIÓN DE LA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE INCORPORANDO CENIZA DE CAÑA DE AZÚCAR, CALLE ORTIZ ARRIETA, CHACHAPOYAS 2022.
SOLICITANTE	: BACH. VARGAS MELENDEZ JHOSEF ALEXANDER
PROCEDENCIA	: ASENTAMIENTO VIRGEN DE ASUNTA - CHACHAPOYAS
CALICATA	: C-01 MUESTRA : M-01 PROF. (m) : 0.00 - 1.50
REGISTRO	: Lab 001 - 2024
FECHA	: 15-mayo-2024

MOLDE N°	1		2		3	
CAPAS N°	5		5		5	
N° DE GOLPES POR CAPA	56		25		12	
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	SIN EMBEBER	EMBEBIDO	SIN EMBEBER	EMBEBIDO	SIN EMBEBER	EMBEBIDO
PESO MOLDE + SUELO HÚMEDO, g	9216.0	9383.0	9098.0	9294.0	8965.0	9172.0
PESO DEL MOLDE, g	4912.0	4912.0	4920.0	4920.0	5031.0	5031.0
PESO DEL SUELO HÚMEDO, g	4304.0	4471.0	4178.0	4374.0	3934.0	4141.0
VOLUMEN DEL ESPECIMEN, cm ³	2105.0	2224.0	2123.0	2251.8	2125.0	2282.6
DENSIDAD HUMEDA, g/cm ³	2.045	2.010	1.968	1.942	1.851	1.814
DENSIDAD SECA	1.631	1.543	1.568	1.478	1.476	1.374
TARA N°	72		73		76	
TARA + SUELO HÚMEDO	562.3		485.6		502.1	
TARA + SUELO SECO	456.4		394.7		408.3	
PESO DEL AGUA	105.9		90.9		93.8	
PESO DE LA TARA	38.9		38.8		38.9	
PESO DEL SUELO SECO	417.6		355.9		369.5	
% DE HUMEDAD	25.36		25.54		25.39	
% PROMEDIO DE HUMEDAD	25.4	30.30	25.5	31.40	25.4	32.0

EXPANSIÓN

FECHA	HORA	TIEMPO DÍAS	DIAL pulg	EXPANSIÓN		DIAL pulg	EXPANSIÓN		DIAL pulg	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
15/05/2024	11:00 a. m.	0	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
16/05/2024	11:00 a. m.	1	0.285	7.24	4.07	0.321	8.15	4.58	0.412	10.46	5.87
17/05/2024	11:00 a. m.	2	0.315	8.00	4.49	0.356	9.04	5.08	0.475	12.07	6.78
18/05/2024	11:00 a. m.	3	0.375	9.53	5.35	0.385	9.78	5.49	0.495	12.57	7.06
19/05/2024	11:00 a. m.	4	0.396	10.06	5.65	0.425	10.80	6.07	0.520	13.21	7.42

ABSORCIÓN

MOLDE N°	1	2	3
Peso suelo húmedo. + plato + molde, g	12730.0	12597.0	12594.0
Peso del plato + molde, g	8259.0	8223.0	8453.0
Peso suelo húmedo embebido, g	4471.0	4374.0	4141.0
Peso suelo húm. sin embeber, g	4304.0	4178.0	3934.0
Peso del agua absorbida, g	167.0	196.0	207.0
Peso del suelo seco, g	3432.2	3329.1	3137.2
Absorción de agua, %	4.87	5.89	6.60

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN		PRESIÓN PATRÓN kg/cm ²	MOLDE 1			MOLDE 2			MOLDE 3		
			DIAL	CARGA kg	PRESIÓN kg/cm ²	DIAL	CARGA kg	PRESIÓN kg/cm ²	DIAL	CARGA kg	PRESIÓN kg/cm ²
mm	pulg										
0.000	0.000		0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00
0.635	0.025		6.4	6.4	0.31	3.1	3.1	0.15	2.1	2.1	0.10
1.270	0.050		9.4	9.4	0.46	6.4	6.4	0.31	4.4	4.4	0.22
1.905	0.075		12.7	12.7	0.62	9.4	9.4	0.46	6.7	6.7	0.33
2.540	0.100	70.3	14.8	14.8	0.72	12.7	12.7	0.62	9.2	9.2	0.45
3.810	0.150		19.8	19.8	0.97	18.2	18.2	0.89	13.7	13.7	0.67
5.080	0.200	105.5	25.3	25.3	1.24	22.2	22.2	1.09	17.7	17.7	0.87
6.350	0.250		29.4	29.4	1.44	24.6	24.6	1.20	20.4	20.4	1.00
7.620	0.300		31.8	31.8	1.56	26.3	26.3	1.29	23.4	23.4	1.15
10.160	0.400		36.4	36.4	1.78	30.8	30.8	1.51	26.4	26.4	1.29
12.700	0.500		38.4	38.4	1.88	33.5	33.5	1.64	28.6	28.6	1.40

OBSERVACIONES: ENSAYO DE PENETRACIÓN EFECTUADO CON PRENSA DIGITAL MUESTRA IDENTIFICADA POR EL LABORATORIO.

CAPACIDAD CELDA DE CARGA TIPO "S": 5 Toneladas

ÁREA DEL PISTÓN DE PENETRACIÓN: 20,428cm²

ASTM D1557 - NTP ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO 339.141 USANDO ENERGÍA MODIFICADA (2,700 kg-cm/m³)

TESIS : EVALUACIÓN DE LA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE INCORPORANDO CENIZA DE CAÑA DE AZUCAR, CALLE ORTIZ ARRIETA, CHACHAPOYAS 2022.

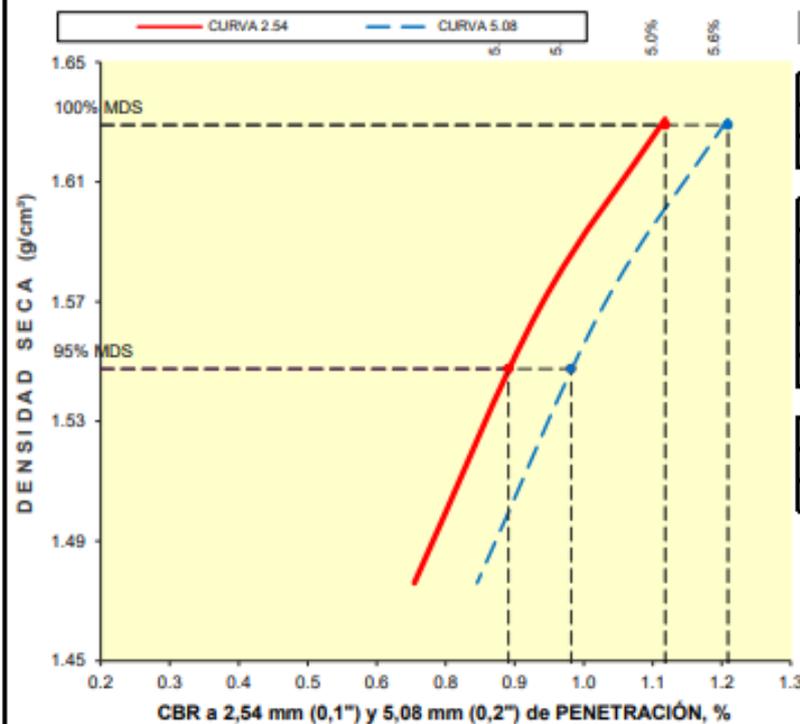
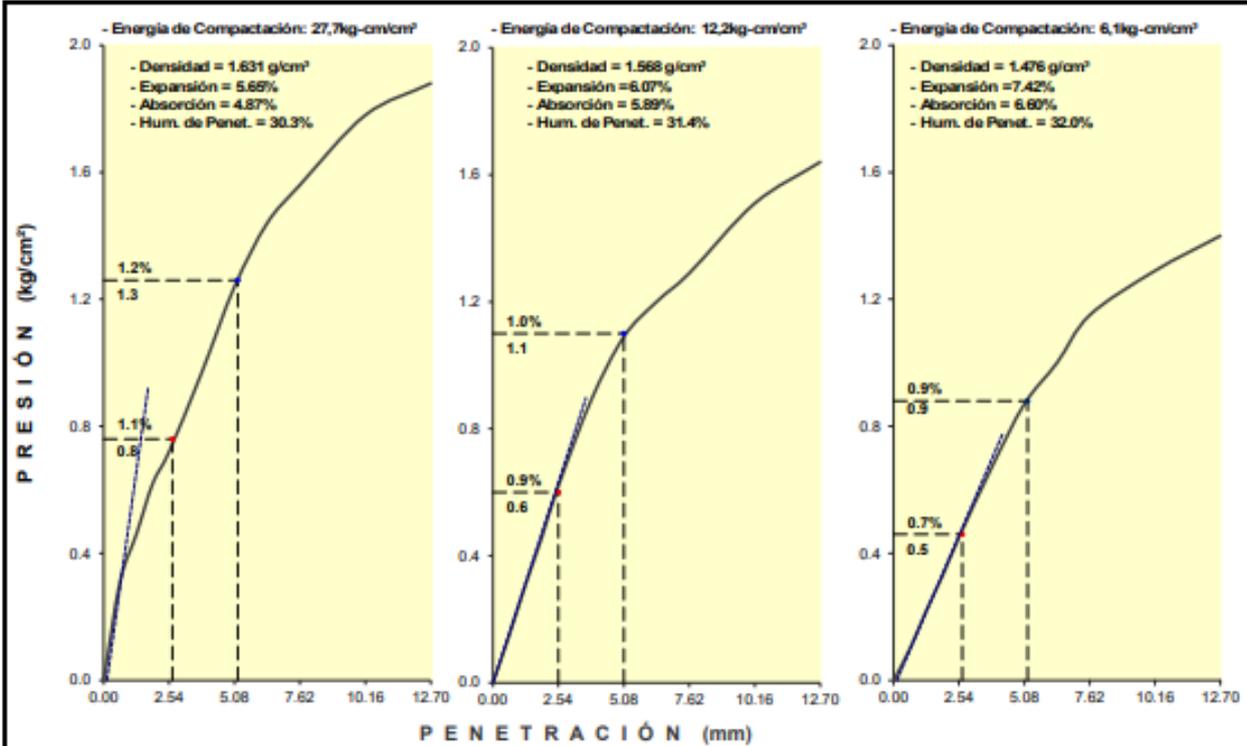
SOLICITANTE : BACH. VARGAS MELENDEZ JHOSEP ALEXANDER

REGISTRO : Lab 001 - 2024

PROCEDENCIA : ASENTAMIENTO VIRGEN DE ASUNTA - CHACHAPOYAS

FECHA : 15-mayo-2024

CALICATA : C-01 MUESTRA : M-01 PROF. (m) : 0.00 - 1.50



ASTM D1883 - ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
NTP 339.145

TESIS : OPTIMIZACIÓN DE LOS SUELOS UTILIZANDO CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO VIRGEN ASUNTA - CHACHAPOYAS
 SOLICITANTE : BACH. VARGAS MELENDEZ JHOSEP ALEXANDER REGISTRO : Lab 005 - 2024
 PROCEDENCIA : MUESTRA 01 + 5% DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA FECHA : 17-mayo-2024
 CALICATA : C-01 MUESTRA : M-01 PROF. (m) : 0.00 - 1.50

MOLDE N°	10		11		12	
CAPAS N°	5		5		5	
N° DE GOLPES POR CAPA	57		25		13	
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	SIN EMBEBER	EMBEBIDO	SIN EMBEBER	EMBEBIDO	SIN EMBEBER	EMBEBIDO
PESO MOLDE + SUELO HÚMEDO, g	9334.0	9451.0	9035.0	9230.0	8885.0	9110.0
PESO DEL MOLDE, g	4915.0	4915.0	4876.0	4876.0	4873.0	4873.0
PESO DEL SUELO HÚMEDO, g	4419.0	4536.0	4159.0	4354.0	4012.0	4237.0
VOLUMEN DEL ESPECIMEN, cm³	2133.0	2150.7	2134.0	2153.9	2140.0	2163.6
DENSIDAD HUMEDA, g/cm³	2.072	2.109	1.949	2.021	1.875	1.958
DENSIDAD SECA	1.763	1.749	1.663	1.647	1.594	1.576
TARA N°	38		38		44	
TARA + SUELO HÚMEDO	402.5		386.4		415.9	
TARA + SUELO SECO	348.3		335.4		359.6	
PESO DEL AGUA	54.2		51.0		56.3	
PESO DE LA TARA	38.8		38.8		38.8	
PESO DEL SUELO SECO	309.5		296.6		320.8	
% DE HUMEDAD	17.51		17.20		17.55	
% PROMEDIO DE HUMEDAD	17.5	20.60	17.2	22.70	17.6	24.2

EXPANSIÓN

FECHA	HORA	TIEMPO DÍAS	DIAL pulg	EXPANSIÓN		DIAL pulg	EXPANSIÓN		DIAL pulg	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
17/05/2024	12:30 p. m.	0	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
18/05/2024	12:30 p. m.	1	0.034	0.86	0.48	0.038	0.97	0.55	0.047	1.19	0.67
19/05/2024	12:30 p. m.	2	0.042	1.07	0.60	0.047	1.19	0.67	0.059	1.50	0.84
20/05/2024	12:30 p. m.	3	0.050	1.27	0.72	0.054	1.37	0.77	0.063	1.60	0.90
21/05/2024	12:30 p. m.	4	0.058	1.47	0.83	0.065	1.65	0.93	0.077	1.96	1.10

ABSORCIÓN

MOLDE N°	10		11		12	
Peso suelo húmedo. + plato + molde, g	12822.0		12598.0		12528.0	
Peso del plato + molde, g	8286.0		8244.0		8291.0	
Peso suelo húmedo embebido, g	4536.0		4354.0		4237.0	
Peso suelo húm. sin embeber, g	4419.0		4159.0		4012.0	
Peso del agua absorbida, g	117.0		195.0		225.0	
Peso del suelo seco, g	3760.9		3548.6		3411.6	
Absorción de agua, %	3.11		5.50		6.60	

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN		PRESIÓN PATRÓN kg/cm²	MOLDE 10			MOLDE 11			MOLDE 12		
mm	pulg		DIAL	CARGA kg	PRESIÓN kg/cm²	DIAL	CARGA kg	PRESIÓN kg/cm²	DIAL	CARGA kg	PRESIÓN kg/cm²
0.000	0.000		0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00
0.635	0.025		20.7	20.7	1.01	12.5	12.5	0.61	8.8	8.8	0.43
1.270	0.050		40.7	40.7	1.99	28.7	28.7	1.41	20.5	20.5	1.00
1.905	0.075		57.3	57.4	2.81	39.6	39.6	1.94	31.1	31.1	1.52
2.540	0.100	70.3	74.0	74.1	3.63	52.6	52.7	2.58	42.1	42.1	2.06
3.810	0.150		103.6	103.8	5.08	74.6	74.7	3.66	58.8	58.9	2.88
5.080	0.200	105.5	136.3	136.7	6.69	102.1	102.3	5.01	74.4	74.5	3.65
6.350	0.250		156.3	156.8	7.68	122.2	122.5	6.00	95.6	95.8	4.69
7.620	0.300		180.1	180.7	8.85	149.1	149.5	7.32	108.4	108.6	5.32
10.160	0.400		217.1	218.0	10.67	174.1	174.7	8.55	126.4	126.7	6.20
12.700	0.500		251.8	253.1	12.39	185.3	186.0	9.10	136.9	137.3	6.72

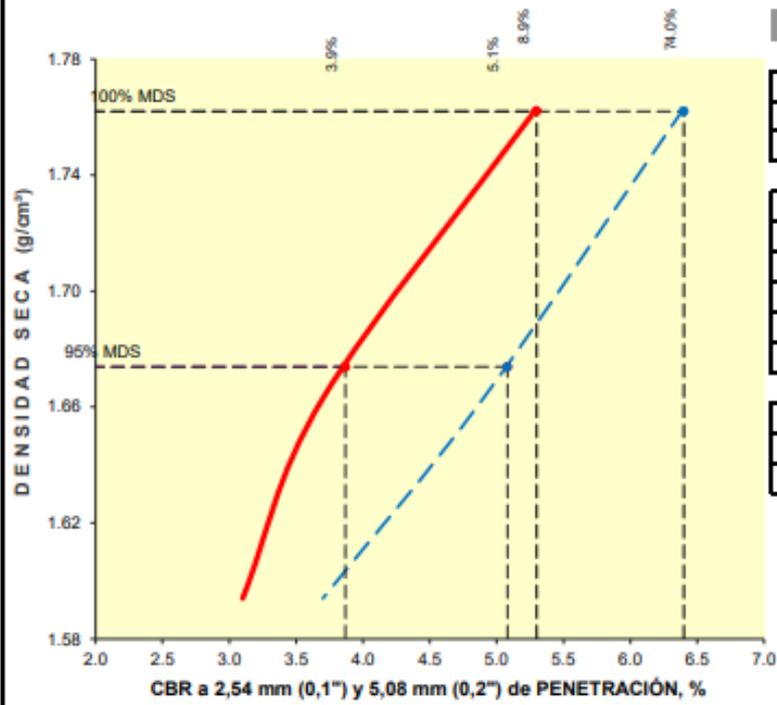
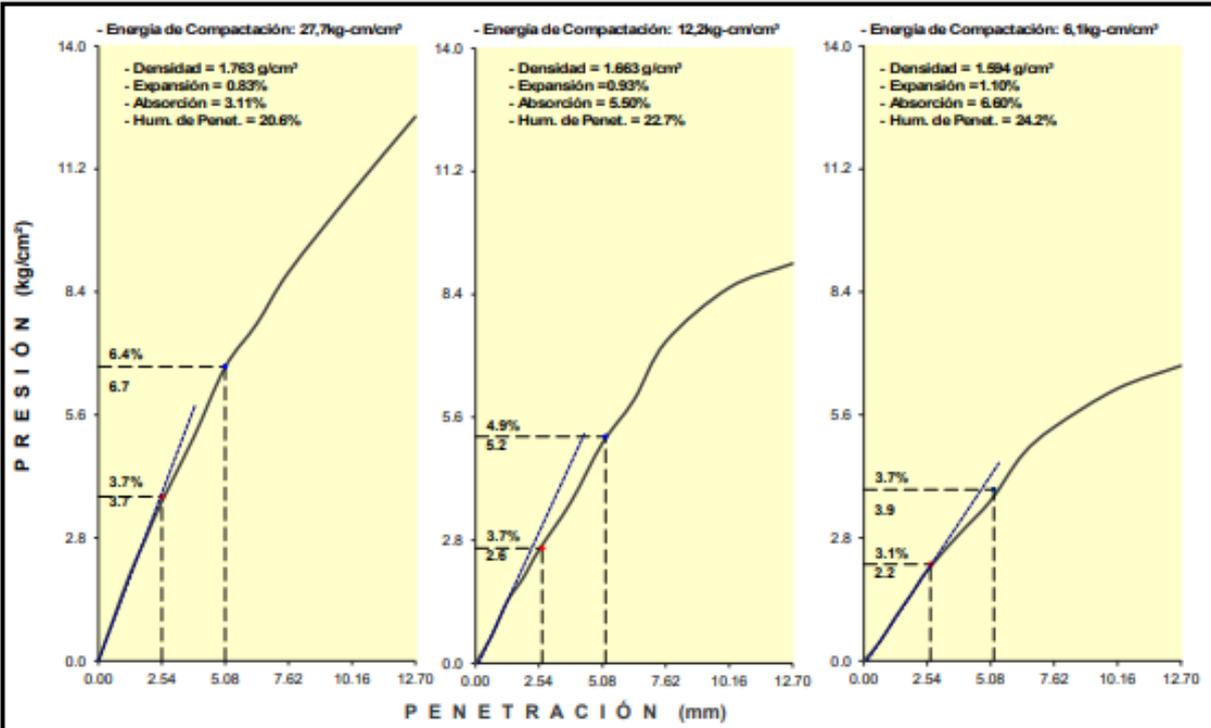
OBSERVACIONES: ENSAYO DE PENETRACIÓN EFECTUADO CON PRENSA DIGITAL MUESTRA PROPORCIONADA E IDENTIFICADA POR EL SOLICITANTE.

CAPACIDAD CELDA DE CARGA TIPO "S": 5 Toneladas

ÁREA DEL PISTÓN DE PENETRACIÓN: 19.35cm²

ASTM D1883 - NTP ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

TESIS : OPTIMIZACIÓN DE LOS SUELOS UTILIZANDO CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO VIRGEN ASUNTA - CHACHAPOYAS
SOLICITANTE : BACH. VARGAS MELENDEZ JOSEPH ALEXANDER
REGISTRO : Lab 005 - 2024
PROCEDENCIA : MUESTRA 01 + 5% DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA
FECHA : 17-mayo-2024
CALICATA : C-01 **MUESTRA** : M-01 **PROF. (m)** : 0.00 - 1.50



RESULTADOS DE ENSAYOS	
Proctor Modificado (ASTM D-1557)	
- Método de Compactación	"A"
- Máxima Densidad Seca, kg/cm³	1.762
- Óptimo Cont. de Humedad, %	17.3
CBR (ASTM D-1883)	
- C.B.R. a 2,54 mm (0,1") de Penetración	
C.B.R. al 100 % de la M.D.S., %	5.3
C.B.R. al 95 % de la M.D.S., %	3.9
- C.B.R. a 5,08 mm (0,2") de Penetración	
C.B.R. al 100 % de la M.D.S., %	6.4
C.B.R. al 95 % de la M.D.S., %	5.1
Caracterización del Suelo	
- Clasificación SUCS	CH
- Clasificación AASHTO	A-7-6(28)
- Gravedad Específica	--

ASTM D1557 - NTP ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO USANDO ENERGÍA MODIFICADA (2,700 kg-cm³)

TESIS : OPTIMIZACIÓN DE LOS SUELOS UTILIZANDO CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO
VIRGEN ASUNTA - CHACHAPOYAS

SOLICITANTE : BACH. VARGAS MELENDEZ JHOSEP ALEXANDER

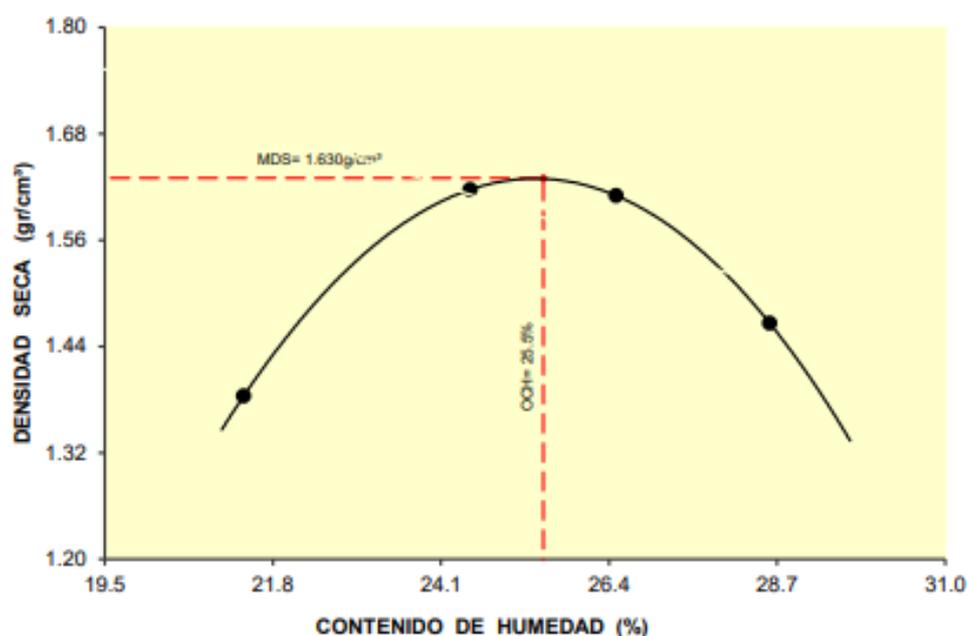
REGISTRO : Lab 006 - 2024

PROCEDENCIA : MUESTRA 01 + 5% DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA

FECHA : 19-mayo-2024

CALICATA : C-1 MUESTRA : M-01 PROF. (m) : 0.00 - 1.50

01 - Peso Suelo Húmedo + Molde, g	3558.0	3872.0	3895.0	3752.0
02 - Peso del Molde, g	1974.0	1974.0	1974.0	1974.0
03 - Peso Suelo Húmedo, g	1584.0	1898.0	1921.0	1778.0
04 - Volumen del Molde, cm ³	943.0	943.0	943.0	943.0
05 - Densidad Suelo Húmedo, g/cm ³	1.680	2.013	2.037	1.885
06 - Tarro N°	100	102	105	108
07 - Peso suelo húmedo + tarro, g	356.2	312.8	327.8	330.4
08 - Peso suelo seco + tarro, g	300.3	258.9	267.2	265.5
09 - Peso del agua, g	55.9	53.9	60.6	64.9
10 - Peso del tarro, g	38.9	38.9	38.9	38.9
11 - Peso suelo seco, g	261.5	220.1	228.4	226.7
12 - Contenido de Humedad, %	21.38	24.49	26.54	28.63
13 - Promedio de Humedad, %	21.4	24.5	26.5	28.6
14 - Densidad del Suelo Seco, g/cm ³	1.384	1.617	1.610	1.466
15.- Cantidad de agua añadida, cm ³	0	120	270	390



RESULTADOS DE ENSAYO

MÉTODO DE COMPACTACIÓN	"C"
MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)	1.630 g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	25.5%

OBSERVACIONES : MUESTRA IDENTIFICADA POR EL LABORATORIO.

ASTM D1883 - ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA) DE NTP 339.145 SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

TESIS : OPTIMIZACIÓN DE LOS SUELOS UTILIZANDO CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO VIRGEN ASUNTA - CHACHAPOYAS
 SOLICITANTE : BACH. VARGAS MELENDEZ JHOSEP ALEXANDER REGISTRO : Lab 006 - 2024
 PROCEDENCIA : MUESTRA 01 + 15% DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA FECHA : 19-mayo-2024
 CALICATA : C-1 MUESTRA : M-01 PROF. (m) : 0.00 - 1.50

MOLDE N°	10		11		12	
CAPAS N°	5		5		5	
N° DE GOLPES POR CAPA	57		25		12	
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	SIN EMBEBER	EMBEBIDO	SIN EMBEBER	EMBEBIDO	SIN EMBEBER	EMBEBIDO
PESO MOLDE + SUELO HÚMEDO, g	9425.0	9466.0	9315.0	9397.0	8894.0	9005.0
PESO DEL MOLDE, g	4986.0	4986.0	5098.0	5098.0	4922.0	4922.0
PESO DEL SUELO HÚMEDO, g	4439.0	4480.0	4217.0	4299.0	3972.0	4083.0
VOLUMEN DEL ESPECIMEN, cm ³	2119.0	2119.0	2118.0	2118.0	2092.0	2092.0
DENSIDAD HUMEDA, g/cm ³	2.096	2.114	1.991	2.030	1.899	1.952
DENSIDAD SECA	1.774	1.774	1.689	1.689	1.601	1.601
TARA N°	105		108		116	
TARA + SUELO HÚMEDO	402.0		385.0		376.4	
TARA + SUELO SECO	346.4		332.5		323.4	
PESO DEL AGUA	55.6		52.5		53.0	
PESO DE LA TARA	38.9		38.9		38.9	
PESO DEL SUELO SECO	307.6		293.7		284.6	
% DE HUMEDAD	18.08		17.88		18.63	
% PROMEDIO DE HUMEDAD	18.1	19.20	17.9	20.20	18.6	21.9

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO DÍAS	EXPANSION		EXPANSION		EXPANSION		EXPANSION	
			DIAL pulg	mm %	DIAL pulg	mm %	DIAL pulg	mm %		
19/05/2024	11:25 a. m.	0	0.000	0.00 0.00	0.000	0.00 0.00	0.000	0.00 0.00	0.000	0.00 0.00
20/05/2024	11:25 a. m.	1	0.000	0.00 0.00	0.000	0.00 0.00	0.000	0.00 0.00	0.000	0.00 0.00
21/05/2024	11:25 a. m.	2	0.000	0.00 0.00	0.000	0.00 0.00	0.000	0.00 0.00	0.000	0.00 0.00
22/05/2024	11:25 a. m.	3	0.000	0.00 0.00	0.000	0.00 0.00	0.000	0.00 0.00	0.000	0.00 0.00
23/05/2024	11:25 a. m.	4	0.000	0.00 S/E						

ABSORCION

MOLDE N°	10	11	12
Peso suelo húmedo. + plato + molde, g	12890.0	12909.0	12505.0
Peso del plato + molde, g	8410.0	8610.0	8422.0
Peso suelo húmedo embebido, g	4480.0	4299.0	4083.0
Peso suelo húm. sin embeber, g	4439.0	4217.0	3972.0
Peso del agua absorbida, g	41.0	82.0	111.0
Peso del suelo seco, g	3758.7	3576.8	3349.1
Absorción de agua, %	1.09	2.29	3.31

PENETRACION

PENETRACION		PRESIÓN PATRÓN kg/cm ²	MOLDE 10			MOLDE 11			MOLDE 12		
mm	pulg		DIAL	CARGA kg	PRESIÓN kg/cm ²	DIAL	CARGA kg	PRESIÓN kg/cm ²	DIAL	CARGA kg	PRESIÓN kg/cm ²
0.000	0.000		0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00
0.635	0.025		86.0	86.0	4.21	50.4	50.4	2.47	15.0	15.0	0.73
1.270	0.050		125.0	125.0	6.12	96.0	96.0	4.70	42.0	42.0	2.06
1.905	0.075		175.0	175.0	8.57	132.0	132.0	6.46	85.0	85.0	4.16
2.540	0.100	70.3	210.0	210.0	10.28	165.0	165.0	8.08	112.0	112.0	5.48
3.810	0.150		300.0	300.0	14.69	250.0	250.0	12.24	185.0	185.0	9.06
5.080	0.200	105.5	347.0	347.0	16.99	303.0	303.0	14.83	221.0	221.0	10.82
6.350	0.250		378.0	378.0	18.50	339.0	339.0	16.59	278.0	278.0	13.61
7.620	0.300		430.0	430.0	21.05	385.0	385.0	18.85	302.0	302.0	14.78
10.160	0.400		515.0	515.0	25.21	440.0	440.0	21.54	344.0	344.0	16.84
12.700	0.500		553.0	553.0	27.07	532.0	532.0	26.04	390.0	390.0	19.09

OBSERVACIONES: ENSAYO DE PENETRACION EFECTUADO CON PRENSA DIGITAL, MUESTRA PROPORCIONADA E IDENTIFICADA POR EL SOLICITANTE.

CAPACIDAD CELDA DE CARGA TIPO "B": 5 Toneladas

ÁREA DEL PISTÓN DE PENETRACION: 20,428cm²

ASTM D1883 - ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

TESIS : OPTIMIZACIÓN DE LOS SUELOS UTILIZANDO CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO VIRGEN ASUNTA - CHACHAPOYAS

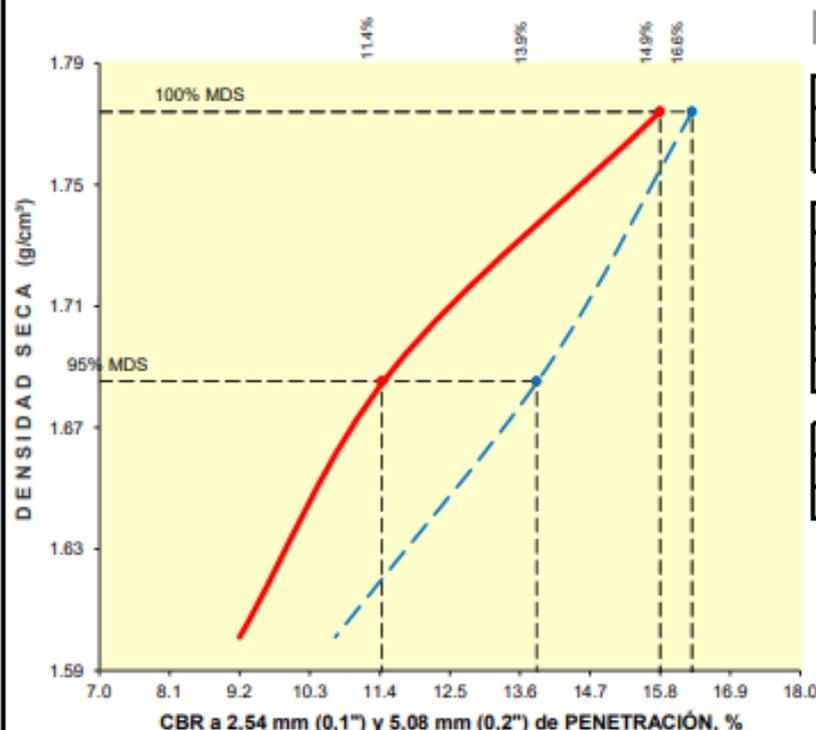
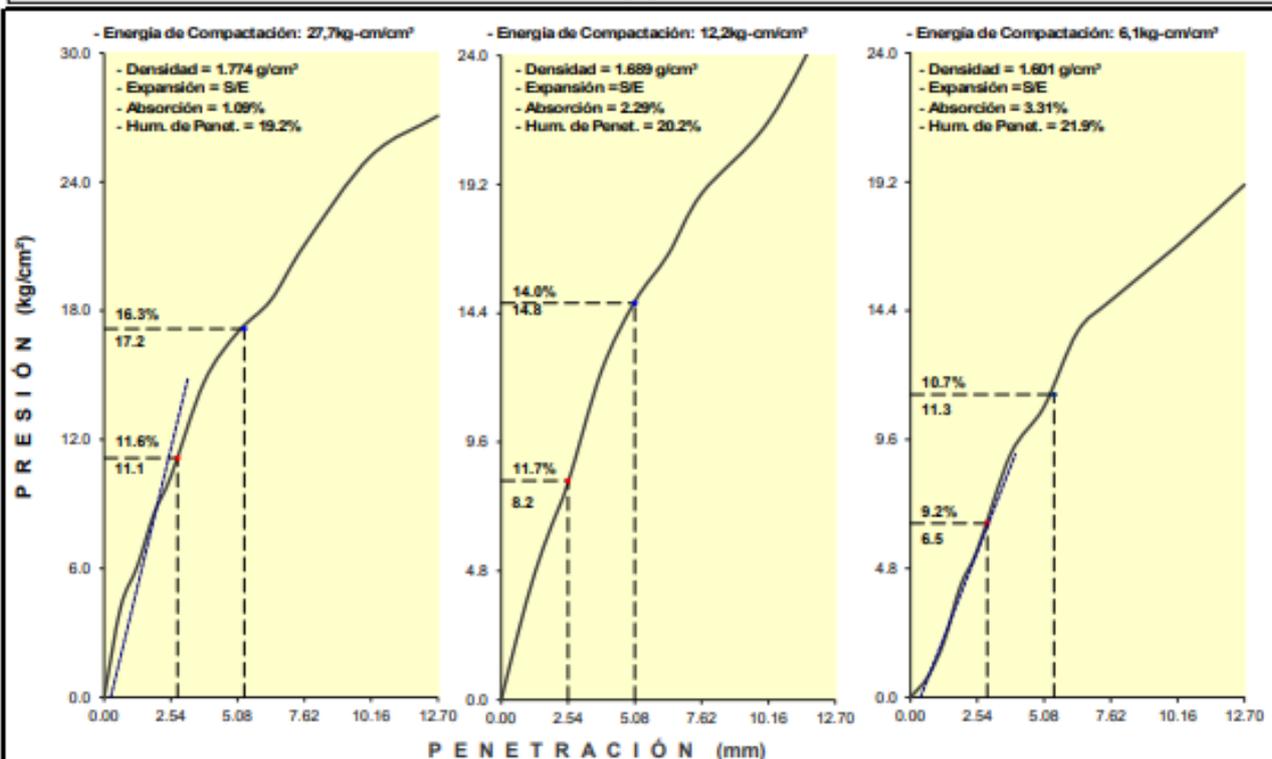
SOLICITANTE : BACH. VARGAS MELENDEZ JOSEF ALEXANDER

REGISTRO : Lab 006 - 2024

PROCEDENCIA : MUESTRA 01 + 15% DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA

FECHA : 19-mayo-2024

CALICATA : C-1 MUESTRA : M-01 PROF. (m) : 0.00 - 1.50



RESULTADOS DE ENSAYOS

Proctor Modificado (ASTM D-1557)

- Método de Compactación	"C"
- Máxima Densidad Seca, kg/cm³	1.774
- Óptimo Cont. de Humedad, %	18.1

CBR (ASTM D-1883)

- C.B.R. a 2,54 mm (0,1") de Penetración	
C.B.R. al 100 % de la M.D.S., %	15.8
C.B.R. al 95 % de la M.D.S., %	11.4
- C.B.R. a 5,08 mm (0,2") de Penetración	
C.B.R. al 100 % de la M.D.S., %	16.3
C.B.R. al 95 % de la M.D.S., %	13.9

Caracterización del Suelo

- Clasificación SUCS	CL
- Clasificación AASHTO	A-7-6(24)
- Gravedad Específica	~

ASTM D1883 - ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

TESIS : OPTIMIZACIÓN DE LOS SUELOS UTILIZANDO CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO VIRGEN ASUNTA - CHACHAPOYAS

SOLICITANTE : BACH. VARGAS MELENDEZ JHOSEP ALEXANDER REGISTRO : Lab 008 - 2024

PROCEDENCIA : MUESTRA 01 + 25% DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA FECHA : 21-mayo-2024

CALICATA : C-1 MUESTRA : M-01 PROF. (m) : 0.00 - 1.50

MOLDE N°	4		5		6	
CAPAS N°	5		5		5	
N° DE GOLPES POR CAPA	57		25		12	
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	SIN EMBEBER	EMBEBIDO	SIN EMBEBER	EMBEBIDO	SIN EMBEBER	EMBEBIDO
PESO MOLDE + SUELO HÚMEDO, g	9425.0	9463.0	9210.0	9250.0	8987.0	9042.0
PESO DEL MOLDE, g	4939.0	4939.0	5011.0	5011.0	4989.0	4989.0
PESO DEL SUELO HÚMEDO, g	4486.0	4524.0	4199.0	4239.0	3998.0	4053.0
VOLUMEN DEL ESPECIMEN, cm ³	2128.0	2128.0	2110.0	2110.0	2112.0	2112.0
DENSIDAD HUMEDA, g/cm ³	2.108	2.126	1.990	2.009	1.893	1.919
DENSIDAD SECA	1.793	1.793	1.892	1.693	1.614	1.614
TARA N°	100		128		129	
TARA + SUELO HÚMEDO	326.5		344.2		366.7	
TARA + SUELO SECO	283.4		298.5		318.4	
PESO DEL AGUA	43.1		45.7		48.3	
PESO DE LA TARA	38.9		38.9		38.9	
PESO DEL SUELO SECO	244.6		259.6		279.5	
% DE HUMEDAD	17.62		17.60		17.28	
% PROMEDIO DE HUMEDAD	17.6	18.60	17.6	18.70	17.3	18.9

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO DÍAS	DIAL pulg	EXPANSION		DIAL pulg	EXPANSION		DIAL pulg	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
21/05/2024	02:25 p. m.	0	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
22/05/2024	02:25 p. m.	1	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
23/05/2024	02:25 p. m.	2	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
24/05/2024	02:25 p. m.	3	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
25/05/2024	02:25 p. m.	4	0.000	0.00	S/E	0.000	0.00	S/E	0.000	0.00	S/E

ABSORCION

MOLDE N°	4	5	6
Peso suelo húmedo. + plato + molde, g	12965.0	12688.0	12515.0
Peso del plato + molde, g	8441.0	8449.0	8462.0
Peso suelo húmedo embebido, g	4524.0	4239.0	4053.0
Peso suelo húm. sin embeber, g	4486.0	4199.0	3998.0
Peso del agua absorbida, g	38.0	40.0	55.0
Peso del suelo seco, g	3814.6	3570.6	3408.4
Absorción de agua, %	1.00	1.12	1.61

PENETRACION

PENETRACION		PRESION PATRÓN kg/cm ²	MOLDE 4			MOLDE 5			MOLDE 6		
mm	pulg		DIAL	CARGA kg	PRESION kg/cm ²	DIAL	CARGA kg	PRESION kg/cm ²	DIAL	CARGA kg	PRESION kg/cm ²
0.000	0.000		0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00
0.635	0.025		47.1	182.5	8.93	36.0	144.4	7.07	15.5	74.1	3.63
1.270	0.050		114.4	412.8	20.21	92.8	339.0	16.60	35.6	143.1	7.00
1.905	0.075		202.3	712.3	34.87	168.5	597.3	29.24	72.0	267.8	13.11
2.540	0.100	70.3	299.9	1043.0	51.06	244.2	854.5	41.83	111.0	401.2	19.64
3.810	0.150		483.5	1659.9	81.26	345.5	1196.9	58.59	192.0	677.3	33.16
5.080	0.200	105.5	641.5	2185.4	106.98	428.0	1474.1	72.16	279.5	974.0	47.68
6.350	0.250		778.9	2638.4	129.15	488.0	1675.0	81.99	367.4	1270.6	62.20
7.620	0.300		886.6	2990.8	146.40	538.2	1842.4	90.19	459.4	1579.3	77.31
10.160	0.400		1094.6	3664.8	179.40	640.8	2183.1	106.87	613.7	2093.3	102.47
12.700	0.500		1274.6	4241.0	207.61	829.1	2802.9	137.21	668.9	2276.1	111.42

OBSERVACIONES: ENSAYO DE PENETRACION EFECTUADO CON PRENSA DIGITAL, MUESTRA PROPORCIONADA E IDENTIFICADA POR EL SOLICITANTE.

CAPACIDAD CELDA DE CARGA TIPO "B": 5 Toneladas

AREA DEL PISTON DE PENETRACION: 20,428cm²

ASTM D1883 - ENSAYO DE CBR (RELACION DE SOPORTE CALIFORNIA) DE NTP 339.145 SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

TESIS : OPTIMIZACIÓN DE LOS SUELOS UTILIZANDO CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO VIRGEN ASUNTA - CHACHAPOYAS

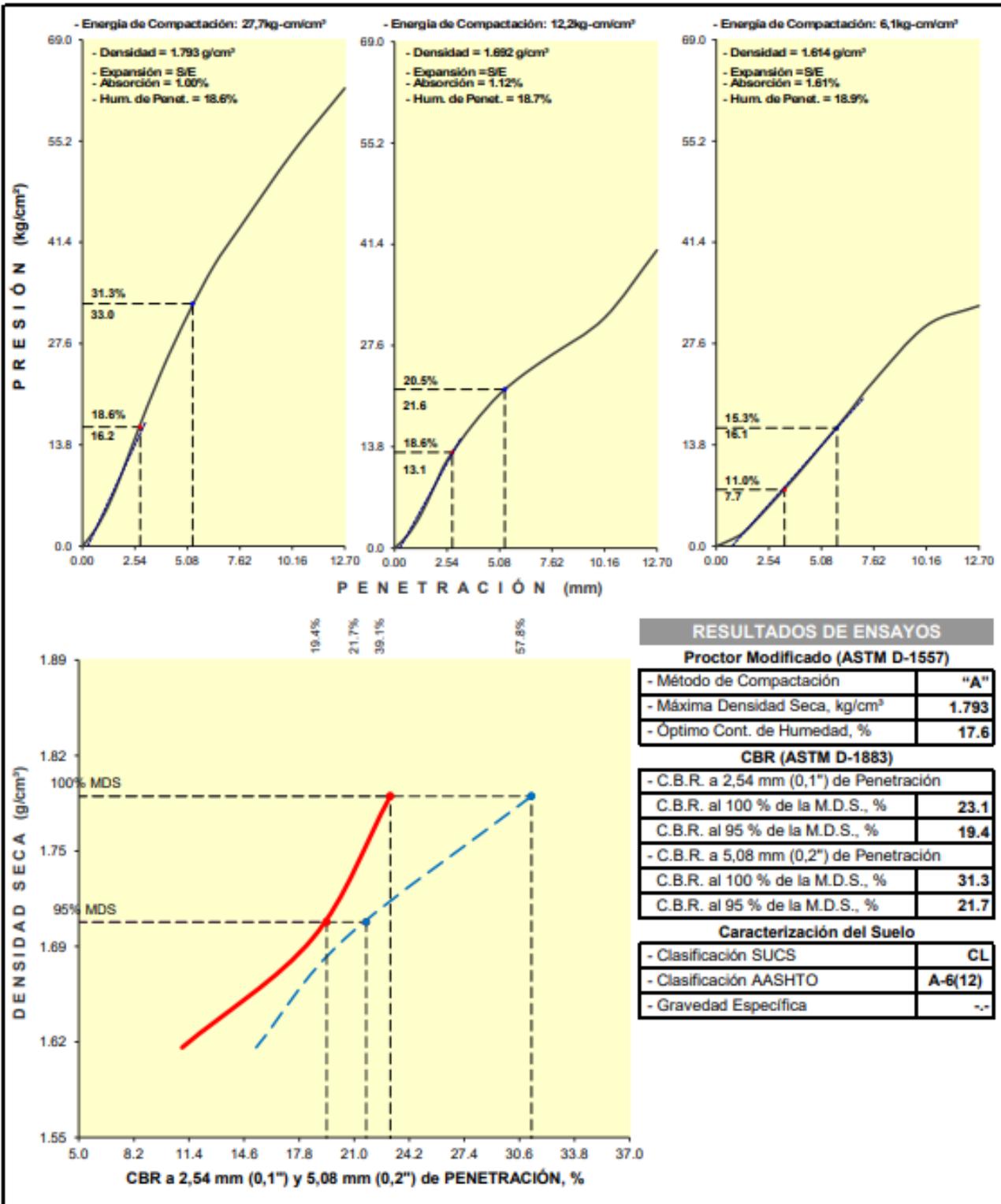
SOLICITANTE : BACH. VARGAS MELLENDEZ JHOSEP ALEXANDER

REGISTRO : Lab 008 - 2024

PROCEDENCIA : MUESTRA 01 + 25% DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA

FECHA : 21-mayo-2024

CALICATA : C-1 MUESTRA : M-01 PROF. (m) : 0.00 - 1.50



Anexo 11. Resultados del ensayo de fluorescencia de Rayos X



**SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS
S.A.C.**

INFORME DE ENSAYO IE-2024-1336

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : JHOSEP ALEXANDER VARGAS MELENDEZ
1.2 RUC o DNI : 10709326258
1.3 Dirección : JIRÓN SOSIEGO #362- CHACHAPOYAS – AMAZONAS

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : CENIZAS
2.2 Muestreado por : CLIENTE ⁽⁴⁾
2.3 Número de Muestras : 01
2.4 Fecha de Recepción : 2024-06-17
2.5 Período de Ensayo : 2024-06-17 al 2024-06-25
2.6 Fecha de Emisión : 2024-06-25
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : 2024-06-10 ⁽⁴⁾
2.8 N° de cotización : COT-126290-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Ensayo de Fluorescencia de Rayos X Composición Química por (óxidos): SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , CaO, MgO, K ₂ O, Na ₂ O, etc	Fluorescencia de Rayos X - FRX

4. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Cenizas de bagazo de caña de azúcar (SBA-01). ⁽⁴⁾


DIEGO ROMÁN VERGARAY BARRIGA
QUÍMICO
CQP. 1337

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE ENSAYO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X

- Equipo Utilizado: SHIMADZU EDX espectrómetro de fluorescencia de rayos X
- Barrido elemental del Na a U, expresados en óxidos.
- Límite de detección del equipo es 0.001%.

Tabla N°1: COMPOSICIÓN QUÍMICA EXPRESADOS COMO ELEMENTOS

Código de Laboratorio	Composición Química	Unidad	LCM	Resultados
S-2740	Silicio, Si	%	0.001	39.751
	Hierro, Fe	%	0.001	16.604
	Calcio, Ca	%	0.001	13.741
	Potasio, K	%	0.001	12.067
	Aluminio, Al	%	0.001	4.248
	Titanio, Ti	%	0.001	1.667
	Fósforo, P	%	0.001	1.502
	Azufre, S	%	0.001	0.615
	Manganeso, Mn	%	0.001	0.416
	Zirconio, Zr	%	0.001	0.284
	Estroncio, Sr	%	0.001	0.249
	Cloro, Cl	%	0.001	0.188
	Zinc, Zn	%	0.001	0.116
	Vanadio, V	%	0.001	0.084
	Rubidio, Rb	%	0.001	0.063
	Cobre, Cu	%	0.001	0.042
	Cromo, Cr	%	0.001	0.029
	Iridio, Ir	%	0.001	0.023
	Itrio, Y	%	0.001	0.016
	Plomo, Pb	%	0.001	0.007
Torio, Th	%	0.001	0.006	
Pérdida por Calcinación	%	0.001	8.280	

Nota: Balance de resultados al 100% de óxidos calculados del análisis elemental (del sodio al uranio) por espectrometría de fluorescencia de rayos X. Análisis semicuantitativo en atmósfera de vacío.

Tabla N°2: COMPOSICIÓN QUÍMICA EXPRESADOS COMO ÓXIDOS

Código de Laboratorio	Composición Química	Unidad	LCM	Resultados
S-2740	Óxido de Silicio, SiO ₂	%	0.001	53.981
	Óxido de Hierro, Fe ₂ O ₃	%	0.001	10.452
	Óxido de Calcio, CaO	%	0.001	9.344
	Óxido de Potasio, K ₂ O	%	0.001	7.648
	Óxido de Aluminio, Al ₂ O ₃	%	0.001	5.439
	Óxido de Fósforo, P ₂ O ₅	%	0.001	1.9
	Óxido de Titanio, TiO ₂	%	0.001	1.281
	Óxido de Azufre, SO ₃	%	0.001	0.846
	Óxido de Manganeso, MnO	%	0.001	0.239
	Dióxido de Zirconio ZrO ₂	%	0.001	0.151
	Óxido de Estroncio, SrO	%	0.001	0.116
	Cloro, Cl	%	0.001	0.103
	Óxido de Vanadio, V ₂ O ₅	%	0.001	0.069
	Óxido de Zinc, ZnO	%	0.001	0.058
	Óxido de Rubidio, Rb ₂ O	%	0.001	0.028
	Óxido de Cobre, CuO	%	0.001	0.021
	Óxido de cromo, Cr ₂ O ₃	%	0.001	0.02
	Óxido de Iridio, Ir ₂ O ₃	%	0.001	0.01
	Óxido de Itrio, Y ₂ O ₃	%	0.001	0.007
	Óxido de Plomo, PbO	%	0.001	0.003
Óxido de Torio, ThO ₂	%	0.001	0.003	
Pérdida por Calcinación	%	0.001	8.280	

Nota: Balance de resultados al 100% de óxidos calculados del análisis elemental (de sodio al uranio) por espectrometría de fluorescencia de rayos X. Análisis semicuantitativo en atmósfera de vacío.

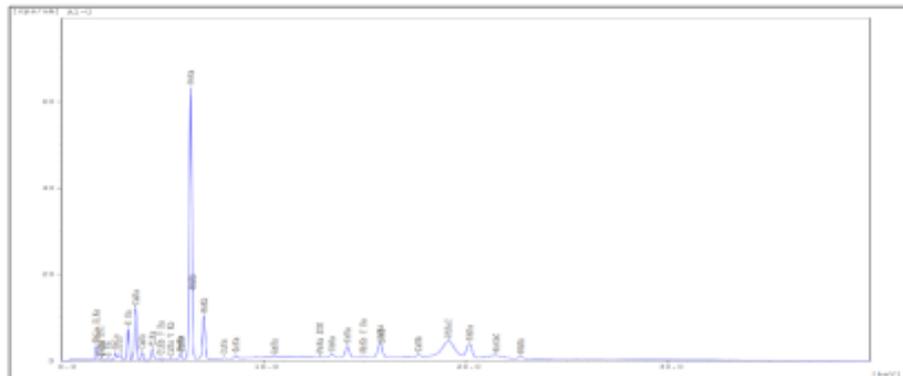


IMAGEN N°1: GRÁFICO DE ENERGÍA DE ANÁLISIS

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

☞ Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.



FIN DE DOCUMENTO

Anexo 12. Panel fotográfico

Figura 27. Ubicación de recojo de muestras Asentamiento Humano Virgen Asunta - Chachapoyas



Figura 28. Ubicación de recojo de muestras Asentamiento Humano Virgen Asunta - Chachapoyas



Figura 29. Ubicación de recojo de muestras Asentamiento Humano Virgen Asunta – Chachapoyas



Figura 30. Hundimientos y fracturas en las viviendas de la zona



Figura 31. Hundimientos y fracturas en las viviendas de la zona



Figura 32. Muestra de cenizas de bagazo de caña de azúcar

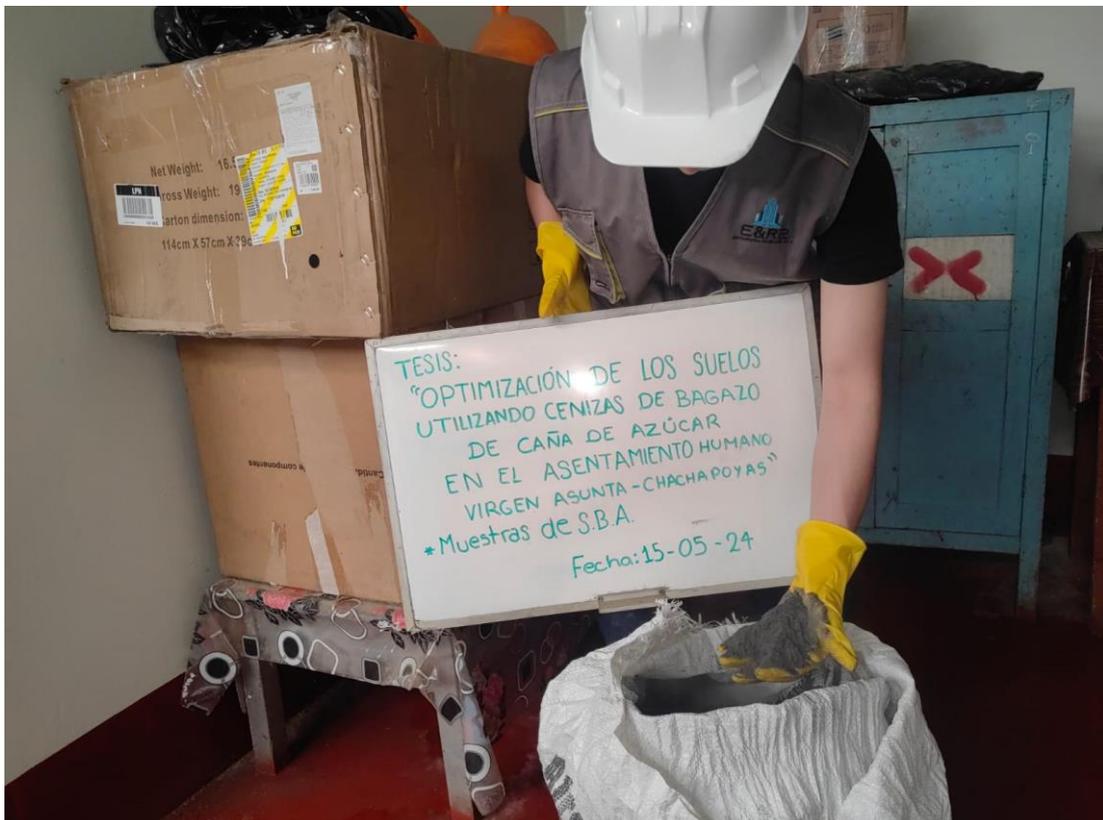


Figura 33. Muestra de cenizas de bagazo de caña de azúcar

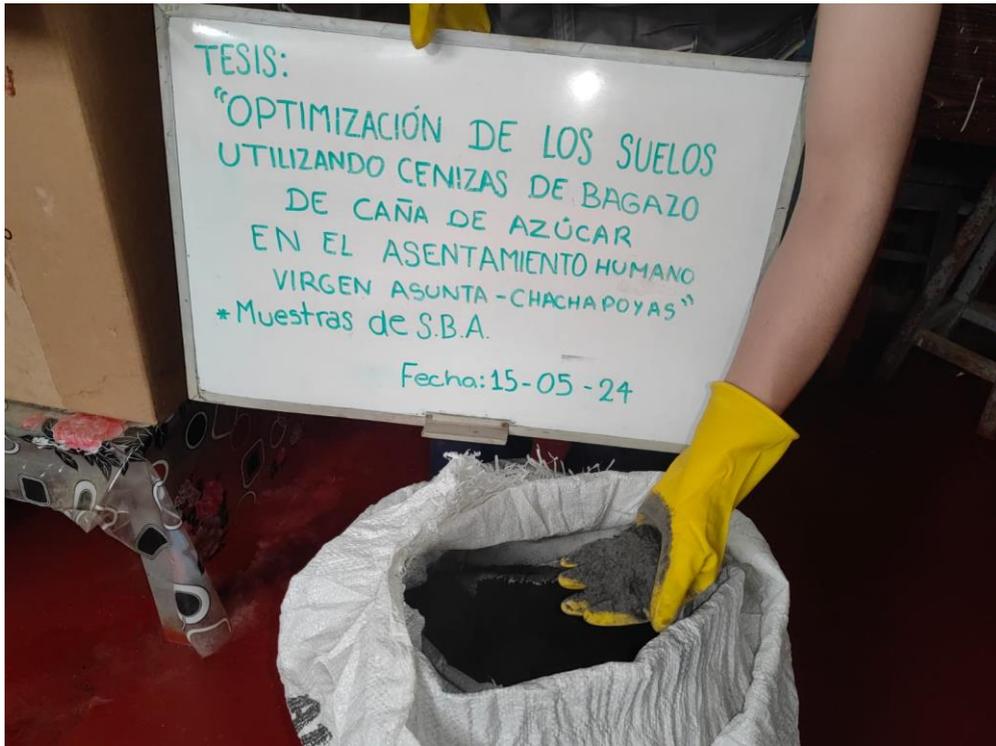


Figura 34. Ensayo de análisis granulométrico SA-100



Figura 35. Ensayo de análisis granulométrico SA-75+SBA-25

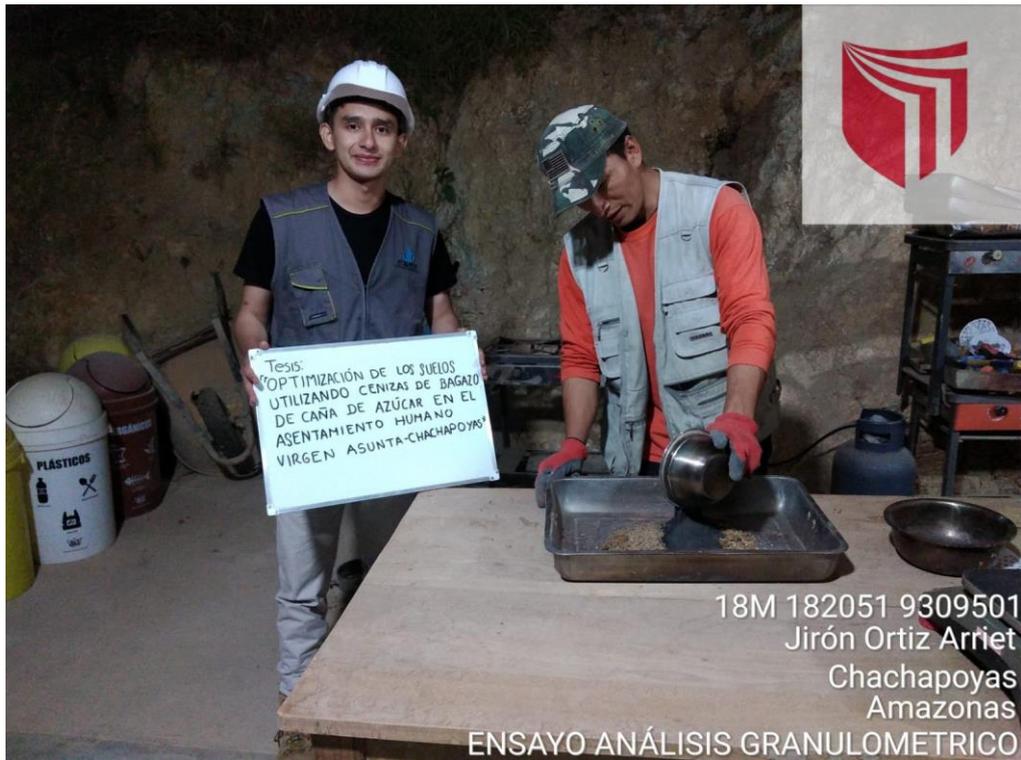


Figura 36. Ensayo de análisis granulométrico SA-85+SBA-15



Figura 37. Ensayo de análisis granulométrico SA-95+SBA-5



Figura 38. Ensayo de límites de Atterberg SA-75+SBA-25



Figura 39. Ensayo de límites de Atterberg SA-85+SBA-15

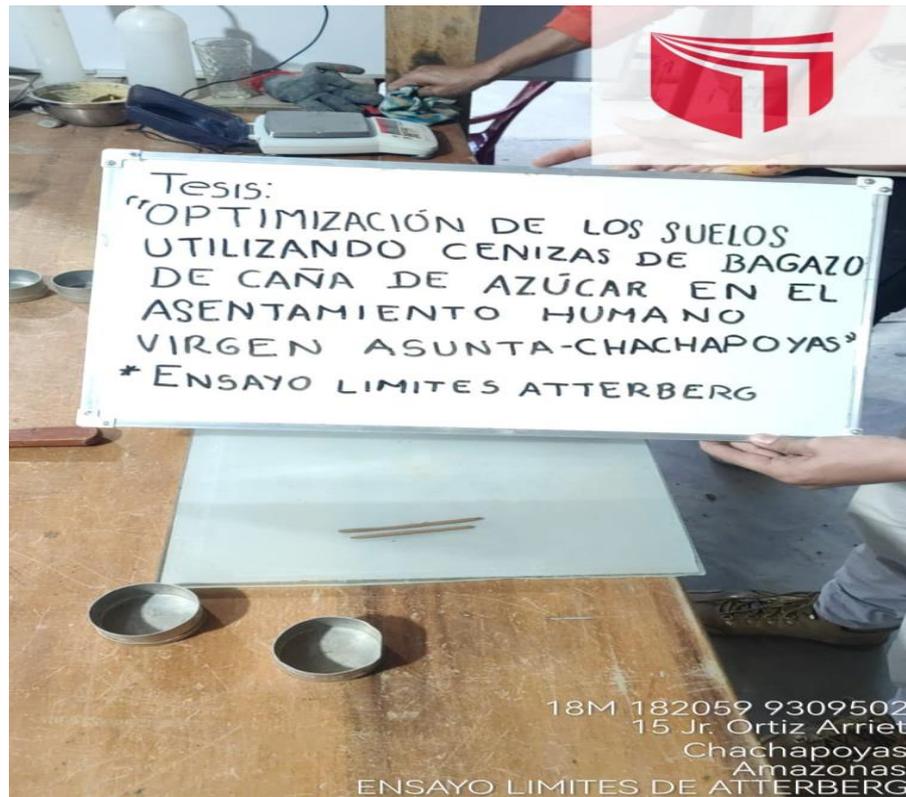


Figura 40. Ensayo de límites de Atterberg SA-100



Figura 41. Ensayo de Proctor Modificado SA-100



Figura 42. Ensayo de Proctor Modificado SA-95+SBA-5



Figura 43. Ensayo de Proctor Modificado SA-75+SBA-25



Figura 44. Ensayo CBR SA-100



Figura 45. Ensayo CBR SA-100



Figura 46. Ensayo CBR SA-85+SBA-15



Figura 47. Ensayo CBR de la muestra SA-95+SBA-5



Figura 48. Ensayo CBR de la muestra SA-85+SBA-15



Figura 49. Ensayo CBR de la muestra SA-75+SBA-25

