



**FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

**TESIS  
ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS  
UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ  
Y CENIZAS DE CARBÓN PARA PAVIMENTOS**

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

**Autores**

**Bach. Delgado Carranza, Wilder**

<https://orcid.org/0000-0003-4109-8780>

**Bach. Nureña Ascencio, Anghella Mariel**

<https://orcid.org/0000-0002-5891-6738>

**Asesor:**

**MBA. Patazca Rojas Pedro Ramón**

<https://orcid.org/0000-0001-9630-7936>

**Línea de Investigación**

**Tecnología e Innovación en el desarrollo de la Construcción y la Industria  
en un contexto de Sostenibilidad**

**Sublínea de Investigación**

**Innovación y tecnificación en Ciencia de los Materiales, Diseño e  
Infraestructura**

**Pimentel – Perú**

**2024**



Universidad  
Señor de Sipán



## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quienes suscriben la DECLARACIÓN JURADA, somos egresados del Programa de Estudios de **Ingeniería Civil** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaramos bajo juramento que somos autores del trabajo titulado:

### **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBÓN PARA PAVIMENTOS**

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán, conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación con las citas y referencias bibliográficas, respetando el derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Wilder Delgado Carranza	DNI: 77676696	
Anghella Mariel Nureña Ascencio	DNI: 47755965	

Pimentel, 21 de octubre del 2024.

NOMBRE DEL TRABAJO

**10.- TESIS RECORTADA.pdf**

AUTOR

**DELGADO CARRANZA WILDER & NUREÑA ASCENCIO ANGHELLA MARIEL**

RECUENTO DE PALABRAS

**11477 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**51363 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**38 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**654.2KB**

FECHA DE ENTREGA

**Nov 4, 2024 5:18 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Nov 4, 2024 5:18 PM GMT-5****● 20% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 16% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 14% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

**● Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)
- Material citado

**ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE  
CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBÓN PARA PAVIMENTOS**

**Aprobación del jurado**

**DR. CORONADO ZULOETA OMAR**

**Presidente del Jurado de Tesis**

**DR. SALINAS VÁSQUEZ NÉSTOR RAÚL**

**Secretario del Jurado de Tesis**

**MG. VILLEGAS GRANADOS LUIS MARIANO**

**Vocal del Jurado de Tesis**

## **Dedicatoria**

A Dios, mi luz y fortaleza, y a mi familia, mi sostén e inspiración constante. Cada logro es un reflejo de su amor incondicional y apoyo inquebrantable. Que esta tesis sea un tributo a su influencia en mi vida. Con gratitud eterna,

***Delgado Carranza Wilder***

A Dios, a mi familia y en especial a mi hijo Omer Miguel, esta tesis es un paso más para servirte de ejemplo, ya que eres lo que más amo en este mundo. Gracias a él he decidido subir un escalón más y crecer como persona y profesional. Espero que un día comprendas que te debo lo que soy ahora y que este logro sirva de herramienta para guiar cada uno de tus pasos, y que te sientas orgullo de tu mamá

***Nureña Ascencio Anghella Mariel***

## **Agradecimientos**

A mis queridos padres, no tengo palabras suficientes para expresar mi profunda gratitud. Gracias por estar a mi lado en cada paso de esta travesía, por creer en mí incluso cuando yo mismo tenía dudas.

Gracias por sus sacrificios, por las noches en vela, por los consejos sabios y, sobre todo, por su amor incondicional. Todo lo que soy y todo lo que he logrado es un reflejo de lo que ustedes me han enseñado. Estoy eternamente agradecido por ser su hijo y por tener el privilegio de contar con su apoyo y amor en cada etapa de mi vida.

***Delgado Carranza Wilder***

“Al ver el resultado logrado con este ambicioso proyecto, solamente se me ocurre una palabra: ¡Gracias! Todo el trabajo realizado fue posible gracias al apoyo incondicional de Flavio, que estuvo a mi lado en los momentos difíciles, y a mi hijo, Omer Miguel, el verdadero amor de mi vida, cuyo nacimiento para mi me ayudó en mucho, en todo este proceso. Gracias, también, a mi padre y a madre, que me dieron todo lo que necesité y por los cuales vivo y muero ya que gracias a ellos he podido salir adelante, y a mi amigo de tesis, el cual ha ayudado en todo este proceso. Nada de esto hubiera sido posible sin ustedes. Este trabajo es el resultado de un sinnúmero de acontecimientos que poco tuvieron que ver con lo académico, sino más bien, con el amor. Gracias infinitas a ustedes y, por supuesto, a Dios, por ponerlos en mi camino.”

***Nureña Ascencio Anghella Mariel***

## Índice

Dedicatoria .....	4
Agradecimientos .....	5
Índice de tablas .....	7
Índice de figuras.....	8
Resumen .....	9
Abstract.....	10
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
1.1. Realidad problemática .....	11
1.2. Formulación del problema .....	16
1.3. Hipótesis .....	17
1.4. Objetivos .....	17
1.5. Teorías relacionadas al tema .....	17
<b>II. MATERIALES Y MÉTODO .....</b>	<b>20</b>
2.1. Tipo y Diseño de Investigación .....	20
2.2. Variables, Operacionalización .....	21
2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección.....	23
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad ....	24
2.5. Procedimiento de análisis de datos .....	24
2.6. Criterios éticos.....	25
<b>III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>26</b>
3.1. Resultados.....	26
3.2. Discusión .....	42
<b>IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>47</b>
4.1. Conclusiones .....	47
4.2. Recomendaciones .....	48
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>49</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>56</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla I</b> Operacionalización de la variable .....	22
<b>Tabla II</b> Características físicas del Suelo Natural .....	26
<b>Tabla III</b> Características físicas del Suelo Natural + % Cenizas de Carbón (T=450°C) .....	28
<b>Tabla IV</b> Características físicas del Suelo Natural + % Cenizas de Cascarilla de Arroz (T=450°C) .....	30
<b>Tabla V</b> Características físicas del Suelo Natural + % Cenizas de Carbón (T=550°C).....	32
<b>Tabla VI</b> Características físicas del Suelo Natural + % Cenizas de Cascarilla de Arroz (T=550°C) .....	34
<b>Tabla VII</b> Características físicas del Suelo Natural + % Cenizas de Carbón (T=700°C).....	36
<b>Tabla VIII</b> Características físicas del Suelo Natural + % Cenizas de Cascarilla de Arroz (T=700°C) .....	38



## Índice de figuras

<b>Fig. 1.</b> Clasificación de suelos.....	18
<b>Fig. 2.</b> Diagrama de Flujo del proyecto de investigación.....	24
<b>Fig. 3.</b> Diagrama de obtención de los materiales innovadores .....	25
<b>Fig. 4.</b> Ensayo de Proctor Modificado del Suelo Natural.....	26
<b>Fig. 5.</b> Ensayo de California Bearing Ratio del Suelo Natural.....	27
<b>Fig. 6.</b> Ensayo Proctor Modificado Suelo Natural + % Cenizas de Carbón (T=450°C).....	29
<b>Fig. 7.</b> Ensayo de CBR del Suelo Natural + % Cenizas de Carbón (T=450°C).....	29
<b>Fig. 8.</b> Ensayo Proctor Modificado Suelo Natural + % CCA (T=450°C).....	31
<b>Fig. 9.</b> Ensayo de CBR del Suelo Natural + % CCA (T=450°C) .....	31
<b>Fig. 10.</b> Ensayo Proctor Modificado Suelo Natural + % Cenizas de Carbón (T=550°C).....	33
<b>Fig. 11.</b> Ensayo de CBR del Suelo Natural + % Cenizas de Carbón (T=550°C).....	33
<b>Fig. 12.</b> Ensayo Proctor Modificado Suelo Natural + % CCA (T=550°C).....	35
<b>Fig. 13.</b> Ensayo de CBR del Suelo Natural + % CCA (T=550°C) .....	35
<b>Fig. 14.</b> Ensayo Proctor Modificado Suelo Natural + % Cenizas de Carbón (T=700°C).....	37
<b>Fig. 15.</b> Ensayo de CBR del Suelo Natural + % Cenizas de Carbón (T=700°C).....	37
<b>Fig. 16.</b> Ensayo Proctor Modificado Suelo Natural + % CCA (T=700°C).....	39
<b>Fig. 17.</b> Ensayo de CBR del Suelo Natural + % CCA (T=700°C) .....	39
<b>Fig. 18.</b> Ensayo de CBR del Suelo Natural + % Cenizas de Carbón.....	40
<b>Fig. 19.</b> Ensayo de CBR del Suelo Natural + % Cenizas de Cascarilla de Arroz.....	40

## Resumen

En la presente investigación que tiene por objetivo general evaluar la influencia de la ceniza de cascarilla de arroz y cenizas de carbón para la estabilización de suelos arcillosos. Para la metodología de la investigación se utilizó un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, con nivel cuasi experimental, con diseño experimental, la muestra fueron, ensayos en suelo natural: 4 muestras por cada ensayo (CBR y Proctor modificado), ensayos en suelo arcilloso añadiendo 2.5% de ceniza de cascarilla de arroz y ceniza de carbón: 4 muestras por cada ensayo (CBR y Proctor modificado, ensayos en suelo arcilloso añadiendo 5% de ceniza de cascarilla de arroz y ceniza de carbón: 4 muestras por cada ensayo (CBR y Proctor modificado), ensayos en suelo arcilloso añadiendo 10% de ceniza de cascarilla de arroz y ceniza de carbón ensayos en suelo arcilloso añadiendo 15% de ceniza de cascarilla de arroz y ceniza de carbón. Finalmente se evidenciaron los resultados, en cuanto a los estudios de granulometría se observan los resultados al pasar por el tamiz N°4 mostrando un resultado promedio de 99,3%; mientras que los resultados al pasar por el tamiz N°200 muestran un promedio de 54,4%, esto permite afirmar que el tipo de suelo es fino. Por la cual se concluye que; las características físicas del suelo natural evidenciaron una humedad natural promedio de 7,4; asimismo, según AASHTO el suelo presentó baja compresión, plasticidad de 6.3%, evidenciando baja plasticidad del suelo, y finalmente el CBR tuvo un valor de 5.5% al 95%, mientras que al 100% fue de 8.3%. Igual modo, el suelo mostró un valor promedio de humedad de 13,1, siendo esta humedad optima en este tipo de suelos.

**Palabras Clave:** Ceniza de cascarilla de arroz, cenizas de carbón, estabilización de suelos arcillosos.

## Abstract

In the present investigation, the general objective is to evaluate the influence of rice husk ash and coal ash for the stabilization of clay soils. For the research methodology, a quantitative approach was used, of an applied type, with a quasi-experimental level, with experimental design, the sample was, tests on natural soil: 4 samples for each test (CBR and modified Proctor), tests on clay soil adding 2.5% rice husk ash and coal ash: 4 samples for each test (CBR and modified Proctor, clay soil tests adding 5% rice husk ash and coal ash: 4 samples for each test (CBR and modified Proctor), tests in clay soil adding 10% rice husk ash and coal ash tests in clay soil adding 15% rice husk ash and coal ash Finally, the results were evidenced, in terms of the Granulometry studies show the results when passing through the No. 4 sieve showing an average result of 99.3%; while the results when passing through the No. 200 sieve show an average of 54.4%, this allows us to state that the type of soil is fine. By which it is concluded that; the physical - mechanical characteristics of the natural soil are the physical characteristics of the natural soil, which showed an average natural humidity of 7.4; Likewise, according to AASHTO, the soil presented low compression, plasticity of 6.3%, evidencing low plasticity of the soil, and finally the CBR had a value of 5.5% at 95%, while at 100% it was 8.3%. Similarly, the soil showed an average moisture value of 13.1, this moisture being optimal for this type of soil.

**Keywords:** Rice husk ash, coal ash, stabilization of clay soils.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Los proyectos de infraestructura vial, especialmente aquellos que implican la construcción de carreteras, generan significativos desperdicios al trasladar materiales. En países como la India, se aborda la problemática mediante la reutilización del suelo extraído para pavimentaciones, mejorando sus propiedades con emulsión asfáltica, cemento o cal [1]. Por ejemplo, se ha observado que, en Egipto, los suelos arcillosos expansivos, presentes en áreas urbanizadas, causan daños a estructuras e infraestructuras, siendo la estabilización del suelo una solución clave [2, 3]. La estabilización del suelo, un procedimiento bien conocido, se implementa para fortalecer las características geotécnicas de estos suelos [4, 5]. Aunque existen diversos métodos para estabilizar suelos, que involucran tanto métodos mecánicos como químicos, la perspectiva financiera señala que la estabilización química del suelo puede resultar poco económica. Es aquí donde la utilización de materiales de desecho, como la ceniza de cascarilla de arroz (CCA), se presenta como una alternativa accesible y eficaz, además de ser rica en sílice, facilitando la estabilización del suelo arcilloso [6].

En un contexto más amplio, la protección del medio ambiente contra la contaminación asociada a desechos, como las cenizas, se vuelve crucial. La estabilización de suelos, tradicionalmente realizada con materiales costosos como cemento o cal, encuentra una alternativa más económica y sostenible al agregar estabilizadores naturales o desechos con propiedades puzolánicas, como la CCA [7, 8]

Se conoce que, a nivel mundial, se generan alrededor de 50 millones de toneladas de cenizas de carbón anualmente, con el 45% reutilizado, subrayando la importancia de emplear estos materiales para gestionar eficientemente residuos y evitar riesgos ambientales [9, 10]. En ingeniería geotécnica, el tratamiento del suelo con cenizas y cal se destaca por reforzar capacidades, incluyendo resistencia al cizallamiento. La creciente aplicación global de desechos en la estabilización del suelo señala la necesidad de adoptar prácticas más sostenibles [11, 12]. En Perú, la investigación se centra en métodos económicos para reforzar suelos con baja capacidad de soporte, contribuyendo a la preservación del medio ambiente

[13, 14]. La utilización de la CCA y residuos de la quema de madera y carbón emerge como estrategias efectivas y económicas para mejorar suelos arcillosos [15, 16, 17].

Finalmente, en Lambayeque, las ladrilleras generan grandes cantidades de ceniza [18], y su reutilización en la construcción se presenta como una solución ambiental, por lo que, en resumen, El uso de residuos en la estabilización de suelos no solo resuelve desafíos técnicos y económicos, sino que además promueve la sostenibilidad ambiental en la construcción de infraestructuras viales [19, 20].

De hecho, se han realizado investigaciones que abordan esta problemática, incorporando diferentes porcentajes de cenizas de cáscara de arroz (CCA) y cenizas de carbón. Desde esta perspectiva, Moreno & Forero en su estudio tuvieron como objetivo evaluar el comportamiento orientado al aumento de la resistencia del suelo, adicionando ceniza de cascarilla de arroz. La metodología se desarrolló utilizando una muestra de suelo arcilloso de la zona de Girardot, sobre la cual se realizaron ensayos de granulometría, compactación Proctor y compresión, de acuerdo con los lineamientos de la norma INVIAS 2013. Los resultados indicaron que el material corresponde a un suelo fino, con un alto contenido de arcillas de elevada plasticidad (CH-OH). Con respecto al ensayo de Proctor modificado, para la muestra patrón se obtuvo una humedad de 16.25% y densidad máxima de 1.79 gr/cm<sup>3</sup>, a comparación de la muestra modificada, cuyos resultados mostraron los valores de 1.76 gr/cm<sup>3</sup> para densidad máxima y 11.8% de humedad. Concluyendo, que la cascarilla de arroz aumenta la capacidad de absorción y drenaje del agua en el suelo [21].

Raj. et al. en su estudio tuvieron como objetivo evaluar la influencia de la ceniza de carbón en la estabilización de un suelo. Su metodología se basó en realizar estudios con diferentes combinaciones de cenizas de fondo y mezclas de cenizas volantes. Los resultados demuestran que la mezcla de un suelo con ceniza aumenta en relación con un suelo natural con un contenido óptimo de ceniza de 30% de la masa del suelo, logrando aumentar de un valor de 1.02 kg/cm<sup>2</sup> a 2.55 kg/cm<sup>2</sup>. Concluyendo que con una mezcla del 30% de ceniza mejora significativamente alcanzando valores máximos en 28 días de curado [22].

Licuy & Román el objetivo de su estudio fue estabilizar suelos con alta capacidad expansiva utilizando puzolanas naturales derivadas de la cascarilla de arroz y ceniza volcánica. La metodología empleada consistió en la recolección de tres muestras de suelo de la provincia de Manabí, sobre las cuales se realizaron ensayos físico-mecánicos, tales como determinación de humedad, clasificación SUCS, compactación, gravedad específica, índice de expansión, permeabilidad y consolidación, aplicando dosificaciones del 10%, 20% y 30% de puzolanas de cenizas. Los resultados revelaron que la dosificación óptima para la estabilización fue del 20% de reemplazo de puzolanas, evidenciando una reducción del índice de expansión entre un 34% y un 62%. En conclusión, la incorporación de cenizas de cascarilla de arroz se mostró eficaz para la estabilización de suelos arcillosos [23].

El estudio realizado por Mahvash et al. tuvo como objetivo analizar el comportamiento de la estabilización del suelo mediante la incorporación de cenizas de carbón en proporciones del 5%, 10% y 15%. La metodología empleada incluyó ensayos de distribución del tamaño de partículas y pruebas CBR, basadas en resultados obtenidos de pruebas previas de compactación. Los resultados mostraron que una concentración de cenizas entre el 5% y 10% del peso del suelo mejora en promedio un 15% los valores del CBR, además de reducir la densidad seca máxima en aproximadamente 84 kg/m<sup>3</sup>. Concluye que la adición de cenizas finas mejora significativamente la resistencia del suelo cuando la concentración es inferior al 10%; sin embargo, en porcentajes superiores no se observarán mejoras favorables [24].

Laguna & Chacón, en su estudio, se propusieron llevar a cabo una evaluación comparativa de la resistencia de suelos al incorporar cenizas de cascarilla de arroz y de café. Para su metodología se realizaron ensayos de humedad y densidad, a través del Proctor Modificado, CBR, módulo resiliente, triaxial y compresión y confinada a las muestras de suelos natural y con incorporación de los materiales mencionados. Los resultados indicaron que la dosificación óptima de cenizas de cascarilla de arroz fue del 4%, con compactación Proctor a 56 golpes, evidenciando un mejor desempeño en comparación con las cenizas de cascarilla de café. Se concluye que las cenizas de cascarilla de arroz son más efectivas para la estabilización de suelos arcillosos [25].

Sivakumar et al. en su estudio, tuvieron como objetivo evaluar el impacto de la adición de ceniza de carbón sobre la capacidad de carga en suelos expansivos, utilizando proporciones de ceniza cercanas al 10%. La metodología incluyó experimentos de laboratorio y pruebas de modelos para determinar las propiedades geotécnicas y analizar el comportamiento de resistencia tanto en suelos arcillosos naturales como en aquellos tratados con AF. Los resultados muestran que la gravedad específica del suelo disminuye a medida que aumenta el contenido de ceniza, reduciendo también la capacidad de retención de agua. Además, el valor de CBR aumentó considerablemente en condiciones sin remojo, alcanzando un 18%. Se concluye que, en suelos expansivos, el límite líquido varía entre un 9% y 42%, el límite plástico entre 6% y 33%, y el índice de plasticidad entre un 10% y 50%, observándose un incremento en los valores de CBR con el aumento del contenido de ceniza [26].

Herrera & Llor en su estudio titulado tuvieron como objetivo desarrollar un método comparativo sobre las propiedades mecánicas de una muestra de suelo arcilloso, agregando ceniza de cascarilla de arroz (CCA) como estabilizante. Para su metodología se realizaron combinaciones de la muestra de suelo con adiciones de CCA en dosificaciones de 20%, 30% y 40%, y así determinar el porcentaje óptimo. Los resultados mostraron que la fusión con las cenizas mejora las características físicas y mecánicas de la muestra patrón. La capacidad de cada una de las muestras fue favorable, determinando que con un 20% de ceniza, el valor del CBR aumenta en 2.5 veces. Además, la clasificación SUCS se mantuvo igual en las primeras fusiones (CL), pero al 40% resultó ser clasificado como arcilla de alta plasticidad (CH). Concluyendo que la ceniza es un método eficaz para pavimentos siempre que se añada el porcentaje óptimo a nivel de subrasante [27].

Luego, en el Perú, Hidalgo & Saavedra en su estudio tuvieron como objetivo estudiar el comportamiento del suelo para utilizarlo posteriormente como pavimentación a nivel de subrasante tras la añadidura de CCA y bagazo de caña de azúcar. Su metodología consistió en examinar 12 muestras de subrasante, con dimensiones aproximadas de 1 m<sup>2</sup> y alturas entre 0,15 y 0,20 m. Las muestras patrón y modificadas se sometieron a ensayos de compactación, capacidad de expansión y permeabilidad. Los resultados indicaron que el

incremento en la adición de cenizas y bagazo favorece el aumento de la densidad máxima, mientras que se observa una disminución de la humedad en las muestras. Asimismo, la adición de RHA y SCBA, reducen el índice de expansión del suelo hasta en un 30%, lográndose con una dosificación de 5% de CCA y 5% de bagazo de caña. Concluyendo, que la adición de estos materiales presenta cambios favorables en la estabilización de los suelos, convirtiéndose en una óptima propuesta para la disminución de contaminación [28].

Goñas & Saldaña, en su estudio, se propusieron investigar la influencia de la ceniza de carbón en la estabilización de suelos destinados a subrasantes. En cuanto a la metodología, se llevaron a cabo muestras que incorporaban cenizas de carbón en proporciones del 15%, 20% y 25%; Además, se realizaron ensayos para determinar las características geotécnicas del suelo. Los resultados indican que al agregar un 25% de ceniza a la masa del suelo, se logró un incremento del 17.2% en el ensayo de CBR en comparación con un suelo natural. En conclusión, aunque la incorporación de ceniza de carbón mejora el CBR de los suelos, no resulta suficiente para ser utilizado como material estabilizante, dado que sus propiedades mecánicas no son las más adecuadas [20].

Gabriel en su estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia de la adición de CCA y látex reciclado sobre la caracterización mecánica y física en el suelo a nivel de subrasante. Para la metodología, se realizó una comparación descriptiva entre una muestra de suelo convencional y una muestra modificada, presentando los resultados mediante gráficos y tablas. Los resultados indicaron una mejora en las propiedades mecánicas al incorporar un 2% de CCA y un 1% de látex molido, evidenciando además una mayor densidad máxima en la muestra modificada, alcanzando 2.303 gr/cm<sup>3</sup>. En conclusión, esta dosificación de materiales incrementa favorablemente la resistencia y la capacidad del suelo arcilloso [29].

López, en su estudio, se propuso evaluar la aplicación de ceniza de CCA en suelos arcillosos para analizar los resultados obtenidos. La metodología se basó en realizar ensayos a las diferentes muestras, tales como: Granulometría, CBR y Proctor Modificado en diferentes dosificaciones: 5%, 10% y 15%. Los resultados revelaron que en el ensayo de CBR mostró



una resistencia de 3.96% obtenida al 95% de la máxima densidad seca; asimismo se añadió 5%, 10% y 15% de CCA, se obtuvieron resistencias de 6.90%, 9.60% y 10.50%, respectivamente. En conclusión, la CCA se presenta como un material efectivo para la estabilización de suelos, dado sus resultados positivos [30].

Lujan & Vizcarra en su estudio titulado tuvieron como objetivo evaluar el efecto de la CCA como estabilizante con cal en este tipo de suelo. La metodología consistió en realizar ensayos para determinar las características físico-mecánicas del suelo natural y con incorporación de cenizas de arroz. Los resultados indican que el valor del CBR aumentó en 11.2 veces con la adición de cal, y al incorporar CCA, el CBR varió de 45% a 50%. Se obtuvo el valor óptimo de CBR (51,3%) con una dosificación de 16% de CCA y 3% de cal. En conclusión, se observará que el valor de CBR tiende a disminuir con la adición de CCA, por lo que se recomienda no combinar ambos materiales estabilizantes en suelos arcillosos que contengan un alto contenido de silicio.

Para concluir, en el ámbito local, aun no existen investigaciones correspondientes al presente estudio; sin embargo, la finalidad de esta investigación es crear un nuevo estudio sobre la incorporación de Cenizas de Cascarilla de Arroz y Cenizas de Carbón para estabilizar suelos en pavimentos.

Añadiendo a lo expuesto, el estudio presentó justificaciones desde diferentes perspectivas. Desde un enfoque técnico, se busca fortalecer las propiedades del suelo para contribuir a los materiales de construcción, mientras que desde perspectivas ambientales, sociales y económicas se espera reducir la contaminación, fomentar prácticas sostenibles y brindar alternativas económicas a comunidades con recursos limitados. Estos diferentes puntos de vista proporcionan justificaciones sólidas para la relevancia y aplicabilidad de los resultados de la investigación en diversos contextos.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cómo influye la ceniza de cascarilla de arroz y ceniza de carbón en la estabilización de un suelo arcilloso con fines de pavimentación?

### **1.3. Hipótesis**

La adición de la ceniza de cascarilla de arroz y cenizas de carbón mejora significativamente las propiedades físicas y mecánicas de los suelos arcillosos.

### **1.4. Objetivos**

#### **Objetivo general**

Evaluar la influencia de la ceniza de cascarilla de arroz y cenizas de carbón para la estabilización de suelos arcillosos en pavimentos.

#### **Objetivos específicos**

- Determinar las características físico-mecánicas del suelo natural.
- Determinar las características físico - mecánicas del suelo natural adicionando cenizas de carbón y de cascarilla de arroz en cantidades porcentuales de 2.5%, 5.0%, 10.0% y 15.0%.
- Comparar la capacidad de soporte entre el suelo natural y el suelo tratado con cenizas de carbón y de cascarilla de arroz en cantidades porcentuales de 2.5%, 5.0%, 10.0% y 15.0%.
- Establecer el porcentaje óptimo de incorporación de cenizas de carbón y cascarilla de arroz para la estabilización de suelos arcillosos con fines de pavimentación.

### **1.5. Teorías relacionadas al tema**

#### **Suelos arcillosos**

Los suelos arcillosos presentan desafíos estructurales debido a su sensibilidad al agua, requiriendo métodos de mejora y estabilización [31]. Estos suelos carecen de la resistencia necesaria para soportar pavimentos durante su ciclo de vida [32], y sus propiedades problemáticas incluyen plasticidad y altos límites de Atterberg, afectando la trabajabilidad y operaciones ejecutivas [33]. Electroquímicamente activos, los suelos arcillosos enfrentan limitaciones en la biorremediación y se ven afectados por contaminantes de hidrocarburos [34], siendo su estabilidad geotécnica influenciada principalmente por el contenido de agua [35]. La estabilización del suelo, crucial para la geotecnia sostenible, se

investiga mediante residuos industriales como la cal de carburo [36]. Este proceso busca convertir suelos inestables en medios consolidados y rígidos para soportar estructuras [37].

### Propiedades físicas y mecánicas del suelo

Se evalúan mediante análisis granulométrico para determinar el tamaño de partículas [38]. Asimismo, el contenido de humedad se define como la relación entre la masa de agua y la del suelo seco [39]. Posteriormente, las pruebas de Proctor modificado / Proctor estándar se emplean para los parámetros de compactación [40], mientras que el CBR se utiliza para evaluar pavimentos flexibles, siendo un parámetro importante para la capacidad de carga del suelo [41, 42]. Finalmente, los límites de Atterberg, reflejando la resistencia del suelo a cargas externas, están influenciados por la mineralogía, distribución de partículas, química del fluido de los poros y estructura de los poros [43]. Ahora bien, la clasificación de suelos, según el USCS, se realiza descriptivamente utilizando grupos de letras, clasificándose como arcilla orgánica si contiene materia orgánica adecuada [44].

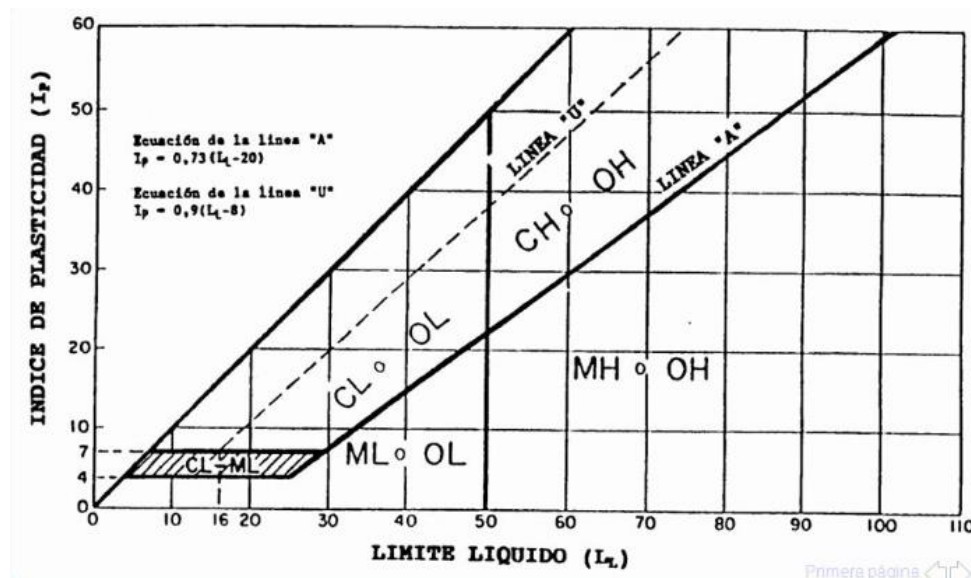


Fig. 1. Clasificación de suelos

Nota. De la Fig. 1 se muestra los tipos de suelos, teniendo en cuenta su clasificación.

Adaptado de Landa et al. [44]

### Ceniza de Cascarilla de arroz (CA)

Constituyente resultante del proceso de molienda del arroz, representa aproximadamente el 22% del peso total del grano. De ese peso, un 25% experimenta una

transformación en ceniza, conocida como CCA, comúnmente considerada un subproducto descartado [45]. Este derivado de la molienda del arroz da lugar a la CCA mediante su combustión en una caldera aparte. La CCA, caracterizada por su elevado contenido de sílice amorfa (85–95%), encuentra aplicaciones diversificadas en campos como la fabricación de silicatos, zeolitas, catalizadores, nanocompuestos, cemento, materiales de construcción livianos, aislantes y adsorbentes [46]. La CCA, designación abarcadora para todas las cenizas resultantes de la quema del arroz, se presenta como un material ligero y poroso con una densidad aproximada de 180-200 kg/m<sup>3</sup>. Su composición global engloba SiO<sub>2</sub>, C, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaO, y trazas de Mg, Fe y Na. La proporción de sílice (SiO<sub>2</sub>) en la ceniza oscila entre el 80% y el 99%, mientras que los demás componentes, a excepción de potasio y calcio, constituyen menos del 1% [47].

### **Ceniza de Carbón**

Material asequible y de bajo costo, se encuentra actualmente sujeto a diversos estudios que buscan evaluar sus beneficios en distintas aplicaciones y prevenir su disposición en áreas no aptas, con el fin de evitar la contaminación ambiental [48]. Las cenizas provenientes de fuentes orgánicas como madera, caña de azúcar o cáscara de arroz, contienen componentes puzolánicos, sílice y alúmina, que reaccionan químicamente con el agua, adquiriendo propiedades cementantes [49]. La apariencia física de la ceniza varía según la cantidad de carbono no quemado, presentando tonalidades desde marrón o negro hasta gris claro. En suelos como la arcilla expansiva, la incorporación de ceniza reduce la conductividad hidráulica [50]. En referencia a la temperatura de quemado, las cenizas resultantes de la quema de madera poseen un punto de fusión comprendido entre 400 y 760 °C [51]. Para obtener cenizas de madera, es necesario someterlas a incineración en un horno de inducción, con una temperatura de combustión de 700°C durante un lapso de 30 a 40 minutos [52].

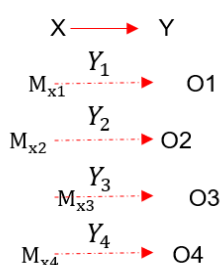
## II. MATERIALES Y MÉTODO

### 2.1. Tipo y Diseño de Investigación

Se aborda una investigación aplicada, la cual, según Ñaupas et al., se centra en la resolución específica de problemas, abarcando cualquier índole y guiándose por investigaciones básicas. En este proyecto, se utilizarán diversas investigaciones como base para abordar y resolver el problema de estudio, categorizándolo, así como una investigación aplicada [53]. Al mismo tiempo, el presente estudio se clasificará como cuantitativo, ya que se ocupará de recopilar datos cuantificables que serán sometidos a análisis estadístico [54].

En cuanto al nivel de investigación, se clasifica como cuasi-experimental, siguiendo la definición de Gallardo, que busca probar la veracidad de una hipótesis [54].

Asimismo, se adopta un diseño experimental, conforme a la conceptualización de Hernández & Mendoza, quienes señalan la presencia de un tratamiento que somete a un objeto para alterar una variable específica. Este diseño implica la realización de procesos diversos para determinar lo óptimo y la creación de dos grupos, experimental y de control [55]. En este estudio, se evaluarán un grupo de control y otro experimental, aplicándoles diferentes tratamientos con el fin de establecer la condición óptima. El diseño se puede visualizar a continuación:



**Donde:**

$M_x$  = Muestra de cada calicata

“X” = Variable Dependiente

$O_1$ ,  $O_2$ ,  $O_3$ ,  $O_4$  = Estabilización de suelos arcillosos con incorporación de CCA y cenizas de carbón en cantidades porcentuales de 2.5%, 5.0%, 10.0% y 15.0%.

## **2.2. Variables, Operacionalización**

### **Dependiente: Estabilización de Suelos Arcillosos**

Este proceso consta en la optimización de las propiedades físicas y mecánicas de suelos con características predominantemente arcillosas. Busca aumentar la resistencia, reducir la susceptibilidad al agua y mejorar la cohesión del suelo, con el propósito de lograr un suelo más apto para diversas aplicaciones, como pavimentación u otras construcciones, mediante la implementación de diferentes técnicas o adiciones.

Definición Operacional: A través de parámetros geotécnicos, como la resistencia al cizallamiento, la capacidad de carga y la compresibilidad del suelo. Se realizaron pruebas de laboratorio para evaluar estas propiedades antes y después de la aplicación de las cenizas de cascarilla de arroz y cenizas de carbón, con el objetivo de cuantificar los cambios inducidos por estos materiales en la estabilidad del suelo.

### **Independiente: Cenizas de Cascarilla de arroz y Cenizas de Carbón.**

Son subproductos derivados de la quema de cascarilla de arroz y carbón, respectivamente. En este contexto, constituyen los elementos independientes que se estudiarán para evaluar su capacidad de contribuir a la estabilización de suelos arcillosos.

Definición Operacional: Se llevará a cabo mediante mezclas controladas en porcentajes específicos con el suelo arcilloso. La variable independiente se determinará cuantificando la concentración de estos materiales en las mezclas y analizando su impacto sobre las propiedades geotécnicas del suelo. Se registrarán datos específicos sobre la cantidad de cenizas utilizadas y se realizarán análisis químicos para verificar su presencia y contribución al proceso de estabilización del suelo.

**Tabla I**

Operacionalización de la variable

Variable de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Instrumento	Valores finales	Tipo de variable	Escala de medición
Ceniza de Cascarilla de Arroz	Se obtiene del proceso de molienda del arroz y se clasifica como un residuo agrícola, siendo aproximadamente el 22% del peso total del arroz cascarilla de arroz.	Se añadirán porcentajes de 2.5%, 5.0%, 10.00% y 15%	Porcentajes de adición para ensayos	2.5% 5.0% 10.00% 15.00%	Adiciones porcentuales	Análisis de documentos	%	Independiente	Intervalo
			Propiedades físicas	Módulo de Fineza Peso específico Granulometría	% kg %	Observación y revisión documentaria	% Kg %		
Ceniza de Carbón	El aspecto físico de la ceniza puede variar desde tonos oscuros, como marrón o negro, hasta un gris claro. Esta variación depende de la cantidad de carbono residual no consumido presente tras el proceso de combustión.	Se añadirán porcentajes de 2.5%, 5.0%, 10.00% y 15%	Porcentajes de adición para ensayos	2.5% 5.0% 10.00% 15.00%	Adiciones porcentuales	Análisis de documentos	%	Independiente	Intervalo
			Propiedades físicas	Tamiz N° 200 Peso específico Temperatura de quemado	- Kg/m <sup>3</sup> °C	Observación y revisión documentaria	- Kg/m <sup>3</sup> °C		
Estabilización de suelos arcillosos	Tiene como objetivo principal potenciar las cualidades mecánicas y físicas de un suelo mediante el aumento de componentes que permitan mejorar el comportamiento del suelo.	Se adicionará cenizas de cascarilla de arroz y ceniza de carbón para mejorar el comportamiento físico mecánico del suelo arcilloso.	Propiedades físico – mecánicas	Peso específico Contenido de humedad Límites de consistencia Proctor Granulometría Gravedad específica	- % % - % -	Observación y análisis de los documentos y guías de observación, ensayos de laboratorio de materiales	- % % - %	Dependiente	Intervalo

### **2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección**

Población, en este contexto, representa la totalidad de suelos arcillosos en la ciudad de Chiclayo – Lambayeque, que cumplen con los requisitos necesarios para la investigación en cuestión [53]. En este estudio, se focalizará en suelos arcillosos específicos de esta ubicación.

Muestra, por su parte, constituye el subconjunto de suelos seleccionados para representar la población, compartiendo características esenciales para el estudio [54]. El muestreo no probabilístico intencionado se utilizó para definir la muestra, basándose en criterios relevantes para la investigación y prescindiendo de fórmulas específicas [55]. Para la muestra, se llevaron a cabo 4 calicatas por kilómetro. En cuanto al total de muestras ( $T_m$ ), se realizarán ensayos en suelo natural y suelo arcilloso modificado con diferentes porcentajes de cenizas de cascarilla de arroz y ceniza de carbón. Se efectuarán 4 muestras por cada ensayo (CBR y Proctor modificado) para cada nivel de adición de cenizas, considerando las 4 calicatas. En resumen,  $T_m$  será igual a 32 para cada condición de estudio.

Muestreo, se realizó utilizando la técnica no probabilística intencionada, seleccionando suelos arcillosos en Chiclayo - Lambayeque que sean representativos y cumplan con criterios específicos.

Criterios de selección, se incluyeron suelos arcillosos con características típicas de la región, propensos a problemas de estabilización, considerando la variabilidad del contenido de agua y evaluando el historial de uso del suelo. La accesibilidad será un criterio clave, optando por sitios de fácil acceso para recolectar muestras y realizar ensayos. Se tomarán muestras a diferentes profundidades y se buscará homogeneidad en el suelo para permitir comparaciones significativas. La colaboración con entidades locales será fundamental para obtener permisos y facilitar el acceso a áreas específicas. La aplicación de estos criterios garantizará que las muestras elegidas reflejen adecuadamente la variabilidad de los suelos arcillosos en la zona, facilitando una evaluación integral del proceso de estabilización utilizando cenizas de cascarilla de arroz y ceniza de carbón.



## 2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

### Técnicas

Se utilizó la observación detallada de los fenómenos, registrando la información relevante en fichas de observación [56]. En el contexto de este estudio, se centrará en recopilar datos sobre la capacidad de absorción específica de cada suelo arcilloso en función de la adición correspondiente, haciendo uso de la técnica de observación.

### Instrumento de recolección de datos

Se emplearon los protocolos de ensayo proporcionados por el laboratorio, que actuarán como fichas de observación adaptadas al caso.

### Validez

En relación con la validez del proyecto, esta será evaluada por profesionales especializados en el tema, específicamente aquellos encargados del laboratorio.

### Confiabilidad

En términos de confiabilidad, se asegurará que todos los equipos utilizados estén en óptimas condiciones, mitigando así posibles inconvenientes durante la ejecución de los ensayos.

## 2.5. Procedimiento de análisis de datos

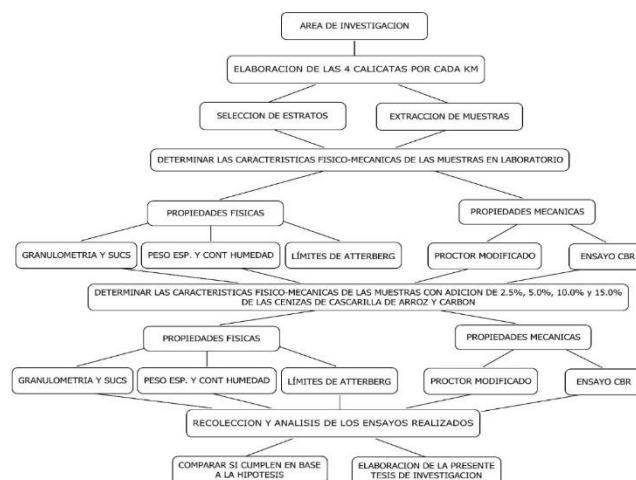
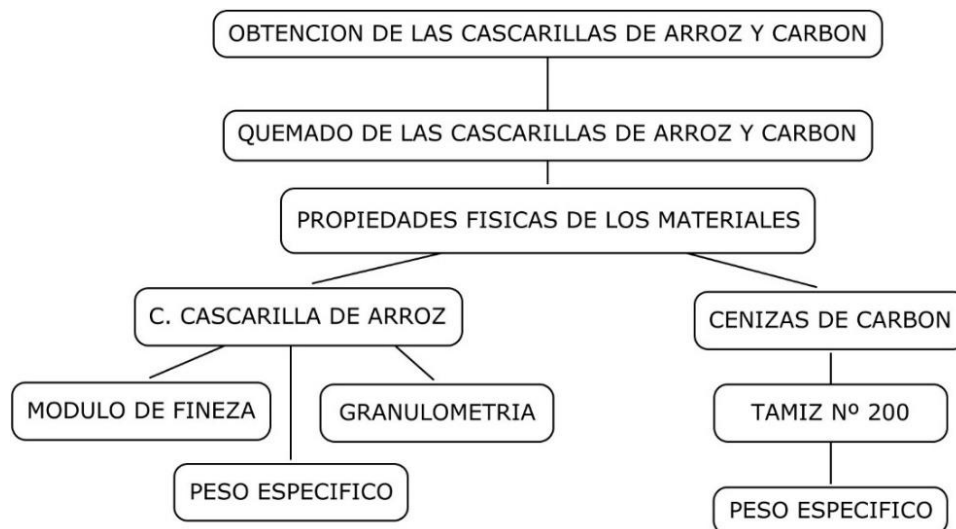


Fig. 2. Diagrama de Flujo del proyecto de investigación

Nota. De la Fig. 2 se observa el diagrama de proceso de flujo del presente estudio.



**Fig. 3.** Diagrama de obtención de los materiales innovadores

Nota. De la Fig. 3 se observa el proceso que se llevó a cabo para la obtención de la CCa y ceniza de carbón.

## 2.6. Criterios éticos

Todo investigador debe adherirse a dos principios fundamentales. El primero está relacionado con los participantes, la sociedad y el entorno ambiental, priorizando la protección del medio ambiente, promoviendo el bienestar social y evitando causar daño o contribuir a su generación. El segundo principio se refiere a la relación con la institución, la comunidad científica, colegas y estudiantes, donde deben primar la honestidad, la responsabilidad, la originalidad, el respeto por los autores previos, y la divulgación transparente de los resultados obtenidos en la investigación. [59].

### **Criterios de Rigor científico**

La confiabilidad de un instrumento está relacionada con la coherencia de las mediciones, ya sea a lo largo del tiempo, en distintas formas, entre los diferentes ítems o entre evaluadores distintos [60]. La validez de un instrumento se define comúnmente como el grado en que este mide con precisión "lo que fue diseñado para medir" o "lo que pretende medir". En otras palabras, evalúa la adecuación del instrumento para abordar los objetivos y problemas específicos de un estudio. [60].

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Resultados

- Determinar las características físico-mecánicas del suelo natural

Tabla II

Características físicas del Suelo Natural

Ensayo	Calicata 01	Calicata 02	Calicata 03	Calicata 04	Promedio
	M - 01	M - 01	M - 01	M - 01	
Humedad Natural (%)	8.7	9.6	5.7	5.4	7.4
LL (%)	26.7	28.7	24.9	27.9	27.1
LP (%)	21.5	21.4	20.6	19.6	20.8
IP (%)	5.2	7.3	4.3	8.4	6.3
Humedad Optima (%)	13.34	12.55	14.38	12.3	13.1
SUCS	CL-ML	CL	CL-ML	CL	-
AASHTO	A-4(5)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(6)	-

La Tabla II presenta las características físicas de la muestra natural, obtenida de 4 calicatas a 1.50 m de profundidad. El promedio de estas muestras revela: límite líquido (LL) de 27.1%, límite plástico (LP) de 20.8%, índice de plasticidad (IP) de 6.3%, y contenido de humedad óptima de 13.1%. Según la clasificación SUCS, las Calicatas 01 y 03 son CL - ML, indicando suelos arcillosos inorgánicos y limos inorgánicos de baja compresibilidad. En cambio, las Calicatas 02 y 04 son de tipo CL, es decir, suelos arcillosos inorgánicos de baja compresibilidad, y según AASHTO, se consideran suelos de calidad deficiente.

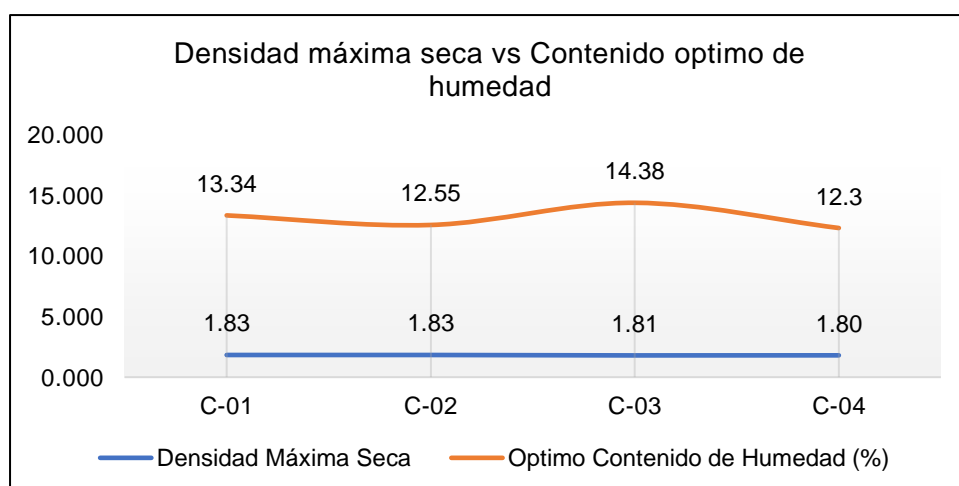
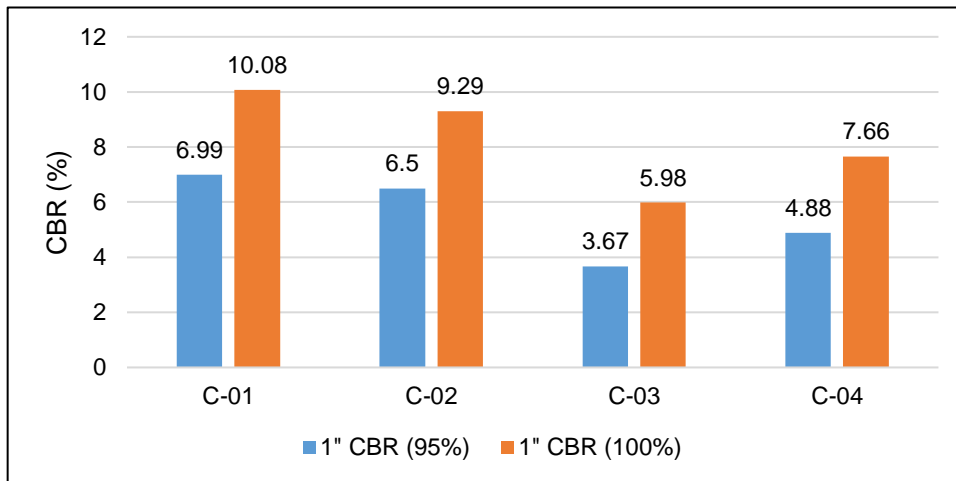


Fig. 4. Ensayo de Proctor Modificado del Suelo Natural

Nota. De la Fig. 4. se evidencia que la C-01 presenta una máxima densidad seca (MDS) de 1.83 en relación a un contenido de humedad (OCH) de 13.34; asimismo, la C-02 presenta

una MDS de 1.83 con un OCH de 12.55%; luego, la C-03 presenta una MDS de 1.81 con un OCH de 14.38% y finalmente, la C-04 presente una MDS de 1.80 con un OCH de 12.3%.



**Fig. 5.** Ensayo de California Bearing Ratio del Suelo Natural

Nota. De la Fig. 5 se muestra que la C-01 tiene una mayor capacidad de soporte de cargas en comparación a las otras calicatas, siendo su CBR al 95% de 6.99% y un CBR al 100% de 10.08%. Asimismo, la C-03 evidencia una menor capacidad de soporte, teniendo el suelo un CBR al 95% de 3.67% y un CBR al 100% de 5.98%.

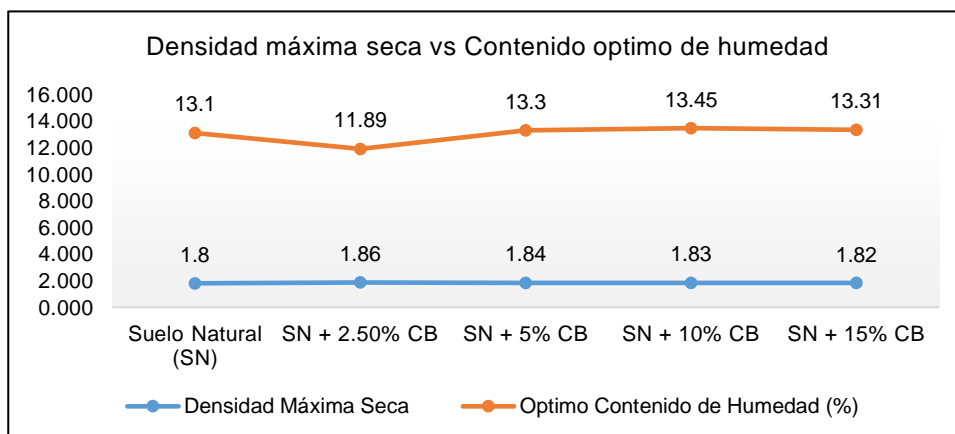
- **Determinar las características físicas - mecánicas del suelo natural adicionando cenizas de carbón y de cascarilla de arroz en cantidades porcentuales de 2.5%, 5.0%, 10.0% y 15.0%**

**Tabla III**

Características físicas del Suelo Natural + % Cenizas de Carbón (T=450°C)

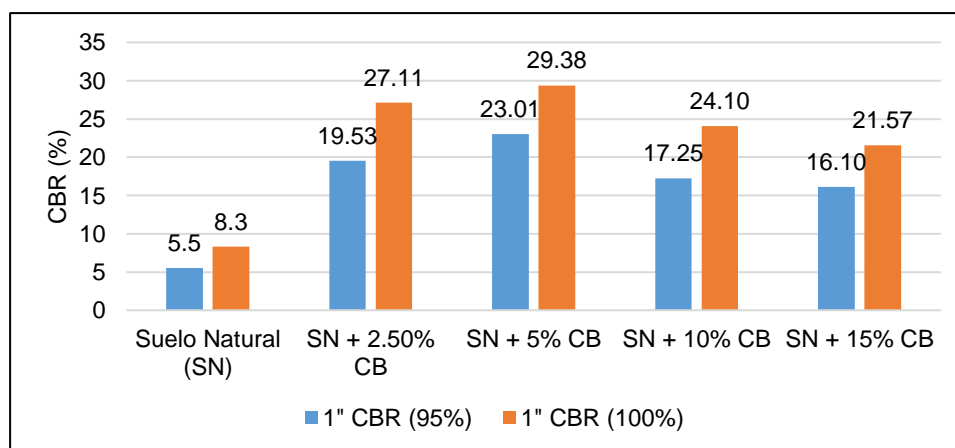
Ensayo	Calicata 01				Calicata 02				Calicata 03				Calicata 04				Promedio	
	M - 01				M - 01				M - 01				M - 01					
	2.5%	5%	10%	15%	2.5%	5%	10%	15%	2.5%	5%	10%	15%	2.5%	5%	10%	15%		
Humedad Natural (%)	5.5	4.7	3.9	2.7	4.9	4.8	4.5	4.4	7.5	6.4	5.5	4.6	6.4	5.6	4.9	3.4	5.0	
LL (%)	24.8	22.8	20	20.2	21	20.1	18.2	18	23.6	24.6	25.3	26.4	24	22.7	21.9	17.9	22.0	
LP (%)	22.4	20.7	18.1	18.8	19.8	18.1	16.7	16.9	20.1	21.4	22.5	24.1	20.6	19.8	19.6	15.1	19.7	
IP (%)	2.4	2.1	1.9	1.4	1.2	2.1	1.4	1.1	3.5	3.1	2.8	2.3	3.4	2.9	2.3	2.8	2.3	
Humedad Optima (%)	13.04	13.8	14.38	12.35	11.1	12.25	10.49	11.45	11.8	15.62	16.56	17.01	11.6	11.51	12.36	12.42	12.98	
SUCS	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	-
AASHTO	A-4(4)	A-4(4)	A-4(4)	A-4(5)	A-4(3)	A-4(4)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(4)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(4)	A-4(4)	A-4(3)	-	

Nota. De la Tabla III se observa el análisis para determinar las propiedades físicas de las muestras de suelo con cantidades porcentuales de cenizas de carbón obtenidas a una T=450°C. Se realizaron 4 calicatas, a una profundidad de 1.50m. Se obtuvo como LL un promedio de 22.0%, LP de 19.7%, IP de 2.3% y contenido de humedad optima de 12.98%. En cuanto a la clasificación AASHTO los resultados en cada calicata indican una clasificación A - 4 lo que indica que el suelo es limoso de arena, sedimentos y fino de baja compresión con un índice de grupo que varía entre 3 y 5; además según la clasificación SUCS se observa que es del tipo ML, es decir, son suelos limos inorgánicos de baja compresibilidad.



**Fig. 6.** Ensayo Proctor Modificado Suelo Natural + % Cenizas de Carbón (T=450°C)

Nota. De la Fig. 6. se evidencia que la muestra del suelo natural presenta una MDS de 1.87 en relación a un OCH de 13.10. No obstante, cuando se añaden cantidades porcentuales de cenizas de carbón obtenidas a una T=450°C sus valores presentan variaciones, alcanzo el máximo valor de OCH con el 10% de CB, siendo su valor de 13.45 y con una MDS de 1.83.



**Fig. 7.** Ensayo de CBR del Suelo Natural + % Cenizas de Carbón (T=450°C)

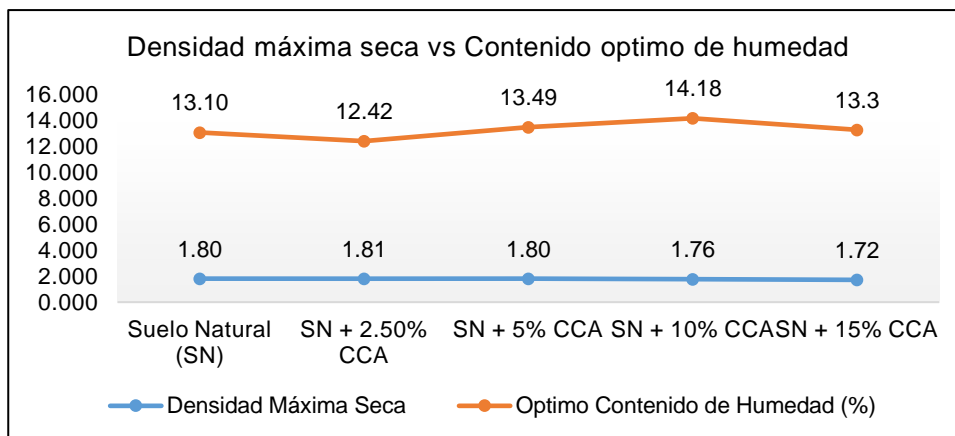
Nota. De la Fig. 7 se observa que el suelo natural obtuvo un CBR al 95% de 5.5 y al 100% un valor de 8.3%. Por otro lado, cuando se incorporó CB estas capacidades de soportar cargas variaron notablemente; alcanzando el máximo valor cuando se incorporó el 5% de CB, dado que obtuvo un CBR al 95% de 23.01% y al 100% un valor de 29.38%. Finalmente, las resistencias más reducidas se evidenciaron con el 15% de CB, siendo su CBR al 95% de 16.10% y al 100% un valor de 21.57%.

**Tabla IV**

Características físicas del Suelo Natural + % Cenizas de Cascarilla de Arroz (T=450°C)

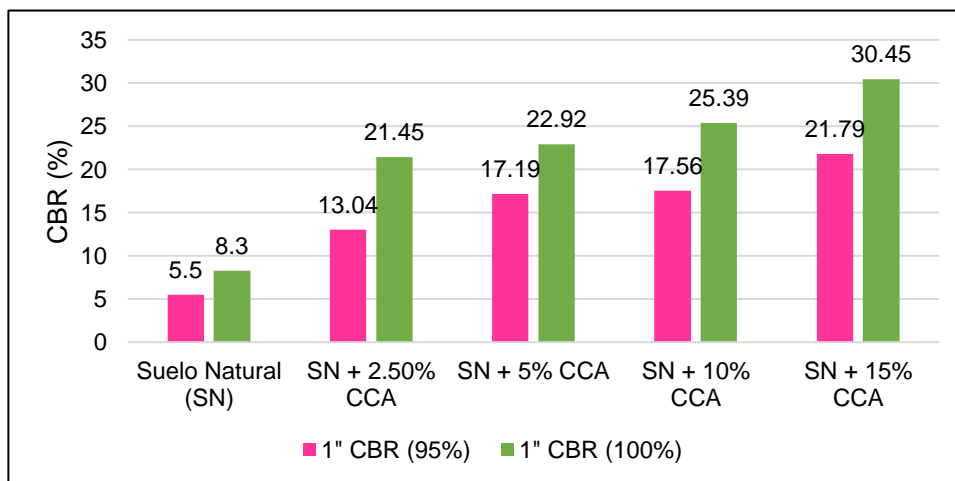
Ensayo	Calicata 01				Calicata 02				Calicata 03				Calicata 04				Promedio	
	M – 01				M – 01				M – 01				M – 01					
	2.5%	5%	10%	15%	2.5%	5%	10%	15%	2.5%	5%	10%	15%	2.5%	5%	10%	15%		
Humedad Natural (%)	6.2	7.4	7.8	8	8.1	7.8	7.3	4.6	6.2	7.3	7.5	6.6	5.5	4.4	2.5	2.1	6.2	
LL (%)	27.4	26	25.7	22.3	26.9	26.2	25	24.1	27.4	26.5	25	25	26.2	25.2	25.6	24.9	25.6	
LP (%)	23.5	22.3	22.4	20.8	23.2	21.7	21.6	22.4	23.4	23.5	22.4	23.2	22.3	21.3	23.5	23	22.5	
IP (%)	3.9	3.6	3.3	1.5	3.8	4.4	3.3	1.7	4	2.9	2.6	1.8	4	3.9	2.1	1.8	3.0	
Humedad Optima (%)	13.6	14.39	17.44	15.62	11.2	11.87	12.92	12.72	13.57	15.1	16.56	16.22	13.31	12.6	9.81	8.64	13.47	
SUCS	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	-
AASHTO	A-4(4)	A-4(3)	A-4(6)	A-4(6)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(4)	A-4(3)	A-4(4)	A-4(3)	A-4(4)	A-4(4)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(4)	-	

Nota. De la Tabla IV se observa el análisis para determinar las propiedades físicas de las muestras de suelo con cantidades porcentuales de cenizas de cascarilla de arroz obtenidas a una T=450°C. Se realizaron 4 calicatas, a una profundidad de 1.50m. Se obtuvo como LL un promedio de 25.6%, LP de 22.5%, IP de 3.0% y contenido de humedad optima de 13.47%. En cuanto a la clasificación AASHTO los resultados en cada calicata indican una clasificación A - 4 lo que indica que el suelo es limoso de arena, sedimentos y fino de baja compresión con un índice de grupo que varía entre 3 y 6; además según la clasificación SUCS se observa que es del tipo ML, es decir, son suelos limos inorgánicos de baja compresibilidad.



**Fig. 8.** Ensayo Proctor Modificado Suelo Natural + % CCA (T=450°C)

Nota. De la Fig. 8. se muestra que el suelo natural obtuvo una MDS de 1.80 y un OCH de 13.10%. Al mismo tiempo, cuando se añadió porcentajes de CCA estos valores sufrieron variaciones, evidenciándose que con el 5% de CCA obtuvo una MDS de 1.80 y un OCH de 13.49, luego, con el 10% de CCA alcanzó una MDS de 1.76 y un OCH de 14.18%.



**Fig. 9.** Ensayo de CBR del Suelo Natural + % CCA (T=450°C)

Nota. De la Fig. 9 se evidencia que a medida que se incrementa las cantidades porcentuales de CCA el CBR tiende a aumentar. Asimismo, la mayor capacidad de soporte de cargas se obtuvo con el 15% de CCA, ya que obtuvo un CBR al 95% de 21.79% y al 100% obtuvo un valor de 30.45%. Estos valores superaron al valor encontrado en la muestra patrón, ya que, en ella se alcanzó un CBR al 95% de 5.5% y al 100% un valor de 8.3%.

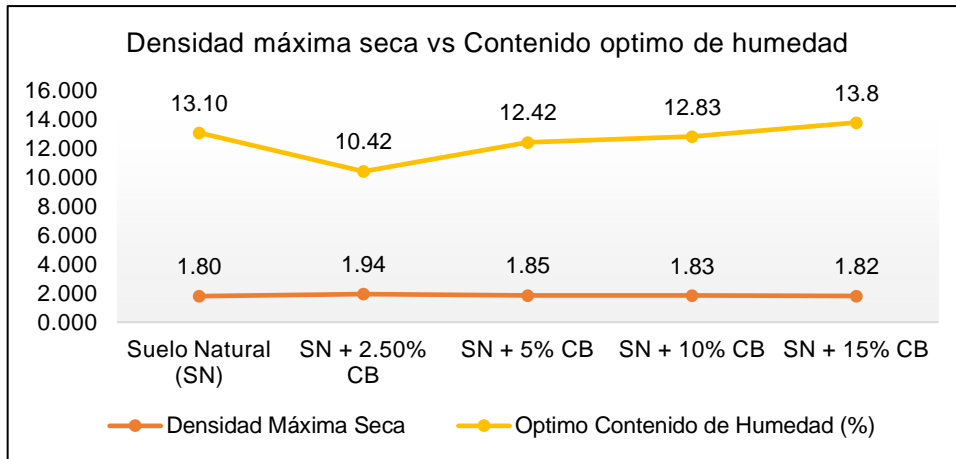


**Tabla V**

Características físicas del Suelo Natural + % Cenizas de Carbón (T=550°C)

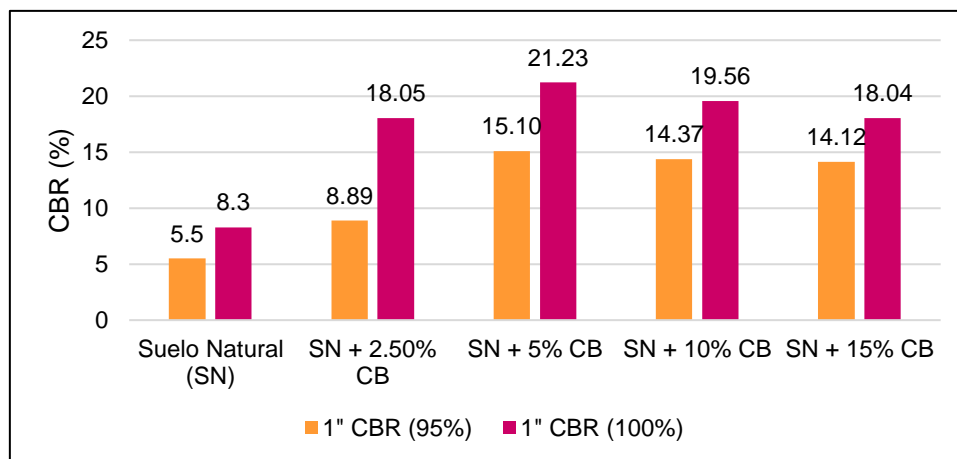
Ensayo	Calicata 01				Calicata 02				Calicata 03				Calicata 04				Promedio	
	M – 01				M – 01				M – 01				M – 01					
	2.5%	5%	10%	15%	2.5%	5%	10%	15%	2.5%	5%	10%	15%	2.5%	5%	10%	15%		
Humedad Natural (%)	6.9	7.6	8.4	9	4.9	5.4	6	6.2	5.3	6	6.6	8.2	3	2.8	2.5	2.1	5.7	
LL (%)	23.7	22.7	20	18.1	22	23.2	24.8	24.1	21.7	17.9	15.8	14.5	23.6	22	20.3	17.7	20.8	
LP (%)	20.6	21.4	18.8	17.1	20.6	22.5	22.9	23.6	20.3	16.4	14.1	12.5	20.1	20.4	19	16.7	19.2	
IP (%)	3.1	1.3	1.2	1.1	1.3	0.7	1.8	0.5	1.4	1.5	1.7	2.1	3.5	1.6	1.3	1	1.6	
Humedad Optima (%)	10.46	12.26	13.56	14.54	10.3	15.85	14.58	16.02	10.5	11.04	12.4	13.39	10.4	10.51	10.78	11.25	12.37	
SUCS	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	-
AASHTO	A-4(5)	A-4(4)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(4)	A-4(3)	A-4(4)	A-4(3)	A-4(4)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(4)	A-4(3)	-	

Nota. De la Tabla V se observa el análisis para determinar las propiedades físicas de las muestras de suelo con cantidades porcentuales de cenizas de carbón obtenidas a una T=550°C. Se realizaron 4 calicatas, a una profundidad de 1.50m. Se obtuvo como LL un promedio de 20.8%, LP de 19.2%, IP de 1.6% y contenido de humedad optima de 12.37%. En cuanto a la clasificación AASHTO los resultados en cada calicata indican una clasificación A - 4 lo que indica que el suelo es limoso de arena, sedimentos y fino de baja compresión con un índice de grupo que varía entre 3 y 5; además según la clasificación SUCS se observa que es del tipo ML, es decir, son suelos limos inorgánicos de baja compresibilidad.



**Fig. 10.** Ensayo Proctor Modificado Suelo Natural + % Cenizas de Carbón (T=550°C)

Nota. De la Fig. 10., se puede observar que la muestra de suelo natural tiene una MDS de 1.80 en relación a un OCH de 13.10. Es importante destacar que, al agregar cenizas de carbón al suelo, los valores presentan variaciones significativas. Los valores más altos en el OCH se alcanzan cuando se añade el 10% y 15% de cenizas de carbón, llegando a valores de 12.83% y 13.45%, mientras que la MDS de ambas adiciones fueron de 1.83 y 1.82 respectivamente.



**Fig. 11.** Ensayo de CBR del Suelo Natural + % Cenizas de Carbón (T=550°C)

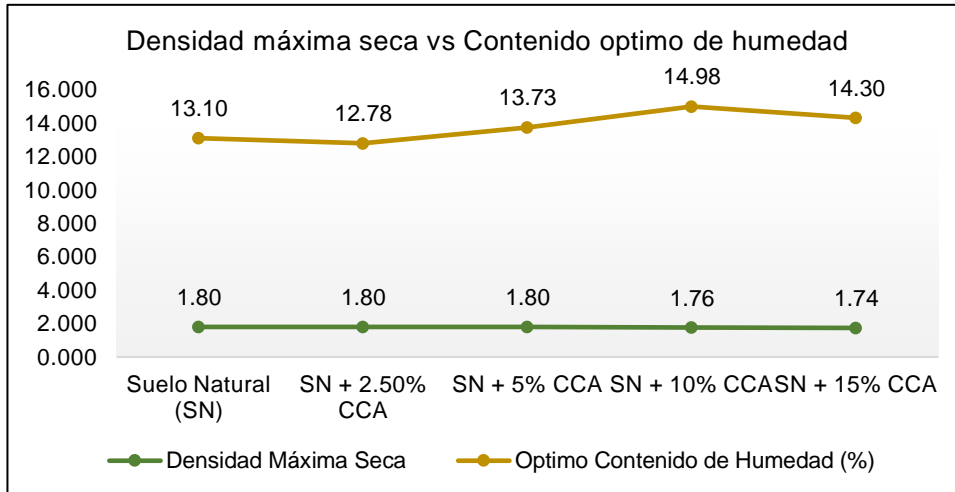
Nota. De la Fig. 11 se observa que cuando se incorporó CB el CBR fue incrementando; no obstante, el máximo valor se obtuvo con el 5% de CB, dado que obtuvo un CBR al 95% de 15.10% y al 100% un valor de 21.23%. Asimismo, los valores empezaron a reducirse a partir del 10% de CB.

**Tabla VI**

Características físicas del Suelo Natural + % Cenizas de Cascarilla de Arroz (T=550°C)

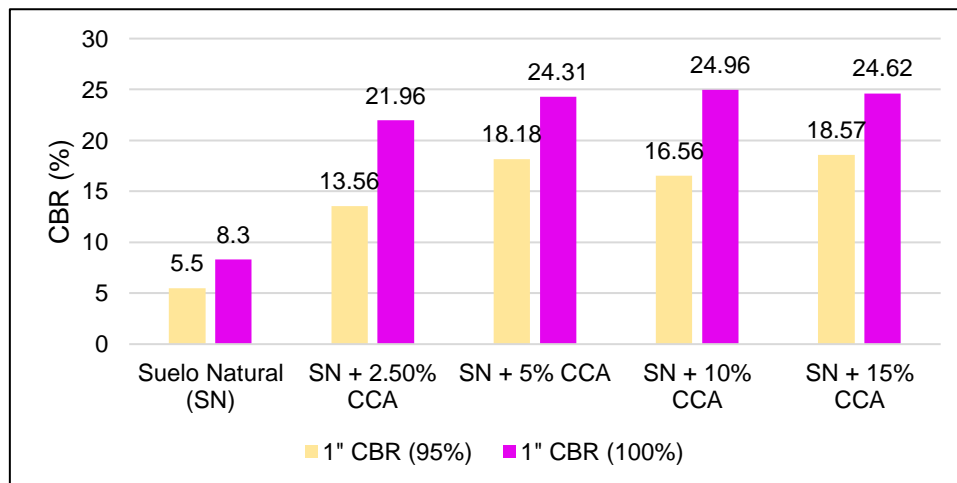
Ensayo	Calicata 01				Calicata 02				Calicata 03				Calicata 04				Promedio	
	M – 01				M – 01				M – 01				M – 01					
	2.5%	5%	10%	15%	2.5%	5%	10%	15%	2.5%	5%	10%	15%	2.5%	5%	10%	15%		
Humedad Natural (%)	6.7	7.6	8.1	8.8	6.5	6.3	6	4.3	6	7.2	7.6	7.8	6	5.6	5.1	4.5	6.5	
LL (%)	26.7	25.7	24.9	22.3	23.7	22.7	21.1	20	27.2	26.1	24.9	25.1	24.1	23.2	22.2	21.2	23.8	
LP (%)	24.3	22.3	22.4	20.8	20.5	20.1	19.2	18.3	23.4	23.5	22.4	23.2	20.2	20.2	19.5	18.6	21.2	
IP (%)	2.4	3.4	2.6	1.5	3.2	2.6	2	1.7	3.7	2.6	2.5	1.9	3.9	3	2.7	2.5	2.6	
Humedad Optima (%)	11.7	14.42	17.51	15.72	11.6	11.9	12.58	12.82	13.72	15.1	16.53	16.09	14.11	13.5	13.31	12.55	13.95	
SUCS	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	-
AASHTO	A-4(3)	A-4(3)	A-4(4)	A-4(4)	A-4(4)	A-4(4)	A-4(4)	A-4(4)	A-4(4)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(4)	A-4(4)	A-4(4)	A-4(4)	-

Nota. De la Tabla VI se observa el análisis para determinar las propiedades físicas de las muestras de suelo con cantidades porcentuales de cenizas de cascarilla de arroz obtenidas a una T=550°C. Se realizaron 4 calicatas, a una profundidad de 1.50m. Se obtuvo como LL un promedio de 23.8%, LP de 21.2%, IP de 2.6% y contenido de humedad optima de 13.95%. En cuanto a la clasificación AASHTO los resultados en cada calicata indican una clasificación A - 4 lo que indica que el suelo es limoso de arena, sedimentos y fino de baja compresión con un índice de grupo que varía entre 3 y 4; además según la clasificación SUCS se observa que es del tipo ML, es decir, son suelos limos inorgánicos de baja compresibilidad.



**Fig. 12.** Ensayo Proctor Modificado Suelo Natural + % CCA (T=550°C)

Nota. De la Fig. 12. se determinó una MDS de 1.80 y un OCH de 13.10%. Al mismo tiempo, cuando se añadió porcentajes de CCA estos valores toleraron diferenciaciones, evidenciándose que con el 5% de CCA obtuvo una MDS de 1.80 y un OCH de 13.73, luego, con el 10% de CCA alcanzó una MDS de 1.76 y un OCH de 14.98%.



**Fig. 13.** Ensayo de CBR del Suelo Natural + % CCA (T=550°C)

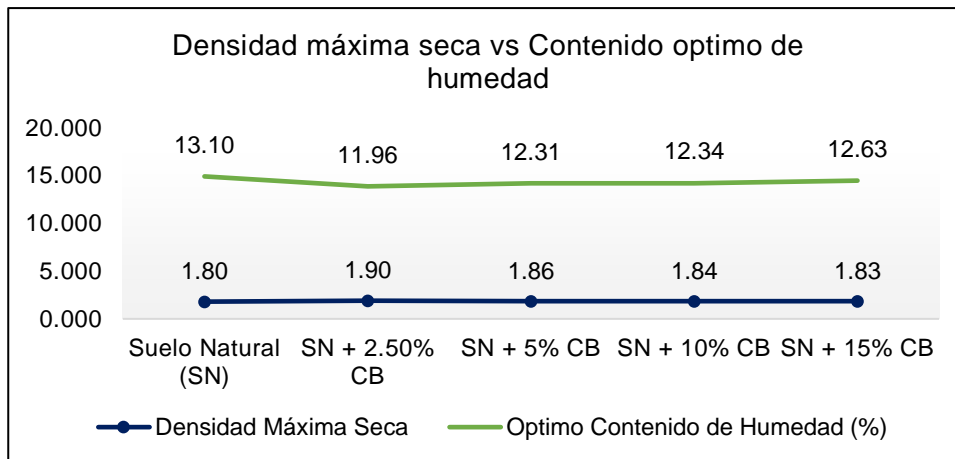
Nota. De la Fig. 13 que a medida que se incrementa las cantidades porcentuales de CCA el CBR tiende a aumentar. Asimismo, estos valores superaron al valor encontrado en la muestra patrón, ya que, en ella se alcanzó un CBR al 95% de 5.5% y al 100% un valor de 8.3%.

**Tabla VII**

Características físicas del Suelo Natural + % Cenizas de Carbón (T=700°C)

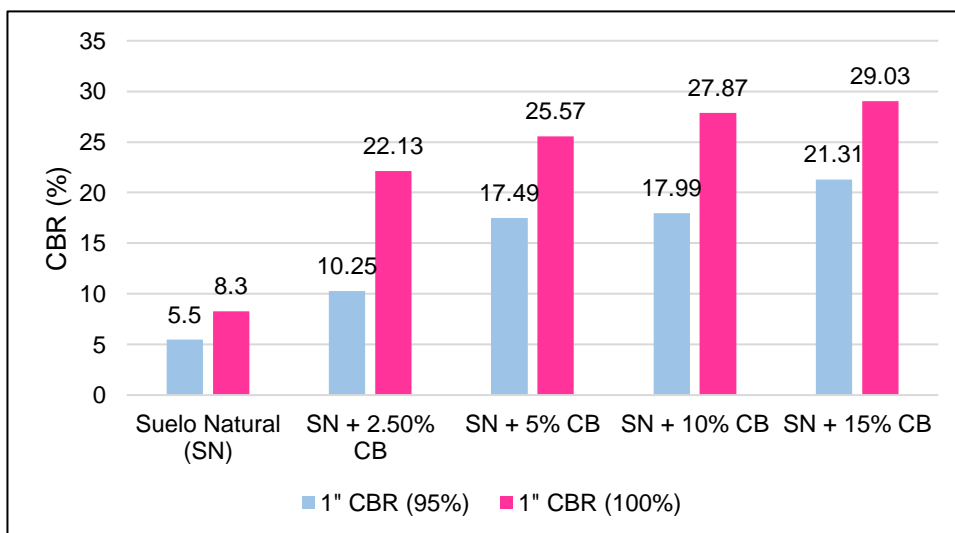
Ensayo	Calicata 01				Calicata 02				Calicata 03				Calicata 04				Promedio	
	M – 01				M – 01				M – 01				M – 01					
	2.5%	5%	10%	15%	2.5%	5%	10%	15%	2.5%	5%	10%	15%	2.5%	5%	10%	15%		
Humedad Natural (%)	7.2	6.8	5.7	4.9	4.9	5.4	6.3	6.8	3.5	6.4	7.2	8.1	7.1	6.5	6	4.5	6.1	
LL (%)	23	24.4	25.2	26.3	19.5	12.1	11.8	11	23.2	24.2	25.6	26.6	23.1	21.8	20	17.8	21.0	
LP (%)	20.8	22.3	23.1	24.5	18.6	10.6	9.7	8.6	20.8	21.3	22.5	23	20	19.3	18.1	16.4	18.7	
IP (%)	2.2	2.1	2	1.8	0.8	1.5	2.1	2.4	2.3	2.9	3	3.6	3.1	2.5	2	1.4	2.2	
Humedad Optima (%)	12.53	12.43	11.4	11.17	12.6	13.71	14.24	14.7	13.4	13.69	13.82	14.24	9.3	9.41	9.91	10.41	12.31	
SUCS	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	-
AASHTO	A-4(4)	A-4(4)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(5)	A-4(5)	A-4(4)	A-4(5)	-	

Nota. De la Tabla VII se observa el análisis para determinar las propiedades físicas de las muestras de suelo con cantidades porcentuales de cenizas de carbón obtenidas a una T=700°C. Se realizaron 4 calicatas, a una profundidad de 1.50m. Se obtuvo como LL un promedio de 21.0%, LP de 18.7%, IP de 2.2% y contenido de humedad optima de 12.31%. En cuanto a la clasificación AASHTO los resultados en cada calicata indican una clasificación A - 4 lo que indica que el suelo es limoso de arena, sedimentos y fino de baja compresión con un índice de grupo que varía entre 3 y 4; además según la clasificación SUCS se observa que es del tipo ML, es decir, son suelos limos inorgánicos de baja compresibilidad.



**Fig. 14.** Ensayo Proctor Modificado Suelo Natural + % Cenizas de Carbón (T=700°C)

Nota. Según los datos de la Fig. 14., se pudo determinar que la adición de cenizas de carbón al suelo tiene un impacto notable en las propiedades mecánicas del suelo, especialmente en el contenido de humedad óptimo (OCH) y la densidad máxima seca (MDS). Existió un aumento en el OCH cuando se añade un 15% de cenizas de carbón, alcanzando un valor de 12.63, mientras que la MDS disminuye a 1.83.



**Fig. 15.** Ensayo de CBR del Suelo Natural + % Cenizas de Carbón (T=700°C)

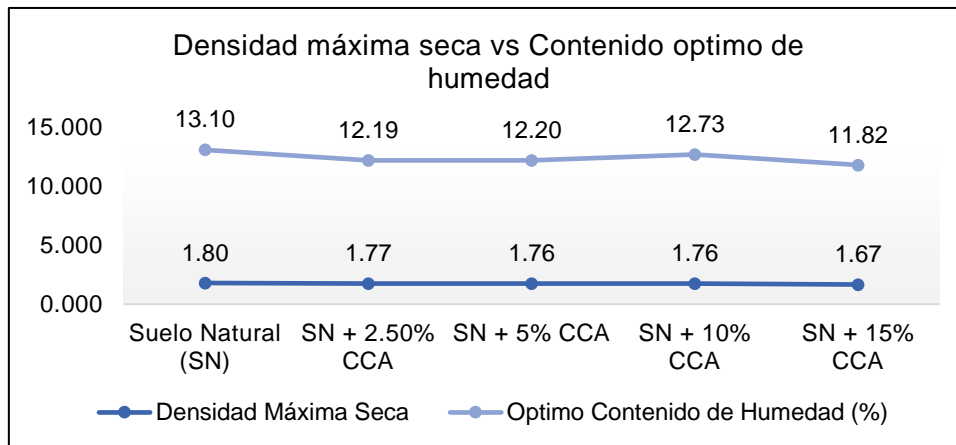
Nota. De la Fig. 15 se puede evidenciar que el máximo valor de CBR se alcanza con la adición del 15% de CB ya que obtuvo un CBR al 95% de 21.31% y al 100% un CBR de 29.03%. Por otro lado, los valores que se alcanzan cuando se añaden cantidades porcentuales de CB superar superan el CBR de la muestra del suelo natural.

**Tabla VIII**

Características físicas del Suelo Natural + % Cenizas de Cascarilla de Arroz (T=700°C)

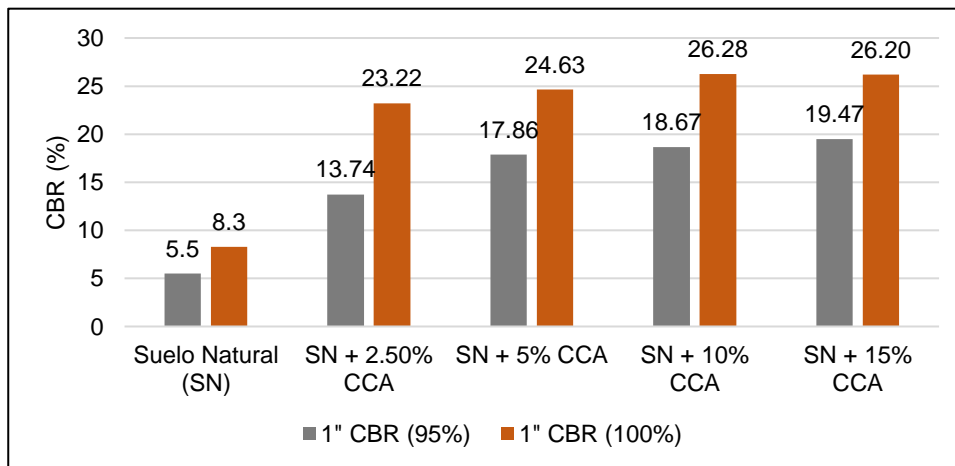
Ensayo	Calicata 01				Calicata 02				Calicata 03				Calicata 04				Promedio
	M – 01				M – 01				M – 01				M – 01				
	2.5%	5%	10%	15%	2.5%	5%	10%	15%	2.5%	5%	10%	15%	2.5%	5%	10%	15%	
Humedad Natural (%)	8.8	8.6	8.2	7.3	3.5	4	4.4	5.5	6	7.5	8.1	8.5	2.3	2.4	2.8	3.5	5.7
LL (%)	28.6	27.7	26.6	24.6	25.1	27.8	26	27.8	27	26.1	24.8	24.4	26.1	25.7	25.2	24.4	26.1
LP (%)	25.3	24.4	23.7	22.7	22.4	25.7	25.7	26.4	23.4	23.5	22.4	23.2	24.3	23.7	22.9	21.5	23.8
IP (%)	3.2	3.3	2.9	1.9	2.7	2.1	0.3	1.4	3.6	2.6	2.4	1.2	1.7	1.9	2.3	2.8	2.3
Humedad Optima (%)	14.7	14.41	14.27	11.23	10.9	10.08	10.74	10.08	14.17	15.1	16.48	16.17	8.98	9.2	9.41	9.81	12.23
SUCS	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	ML	-
AASHTO	A-4(5)	A-4(5)	A-4(5)	A-4(6)	A-4(3)	A-4(4)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(3)	A-4(4)	A-4(4)	A-4(3)	A-4(3)	-

Nota. De la Tabla VII se observa el análisis para determinar las propiedades físicas de las muestras de suelo con cantidades porcentuales de cenizas de cascarilla de arroz obtenidas a una T=700°C. Se realizaron 4 calicatas, a una profundidad de 1.50m. Se obtuvo como LL un promedio de 26.1%, LP de 23.8%, IP de 2.3% y contenido de humedad optima de 12.23%. En cuanto a la clasificación AASHTO los resultados en cada calicata indican una clasificación A - 4 lo que indica que el suelo es limoso de arena, sedimentos y fino de baja compresión con un índice de grupo que varía entre 3 y 6; además según la clasificación SUCS se observa que es del tipo ML, es decir, son suelos limos inorgánicos de baja compresibilidad.



**Fig. 16.** Ensayo Proctor Modificado Suelo Natural + % CCA (T=700°C)

Nota. De los datos proporcionados en la Fig. 16, se determinó una MDS inicial de 1.80 y un OCH de 13.10%. Sin embargo, resulta esencial destacar que estos valores experimentaron cambios notables cuando se introdujo ceniza de cáscara de arroz (CCA) en diferentes porcentajes. En particular, se observa que con una adición del 10% de CCA, la MDS aumentó ligeramente a 1.76, mientras que el OCH experimentó una reducción de 12.73%.

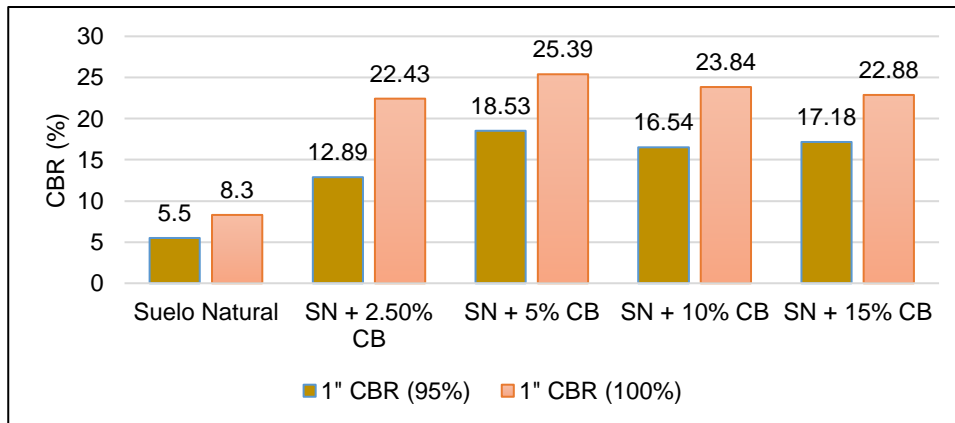


**Fig. 17.** Ensayo de CBR del Suelo Natural + % CCA (T=700°C)

Nota. De la Fig. 17. se observa que el máximo valor se obtuvo con el 10% de CCA, ya que alcanzó un CBR al 95% de 18.67% y al 100% un valor de 26.28%. Asimismo, cuando se añadió el 15% de CCA la capacidad de soporte presentó una leve reducción en su CBR al 100%, siendo su valor de 26.20%.

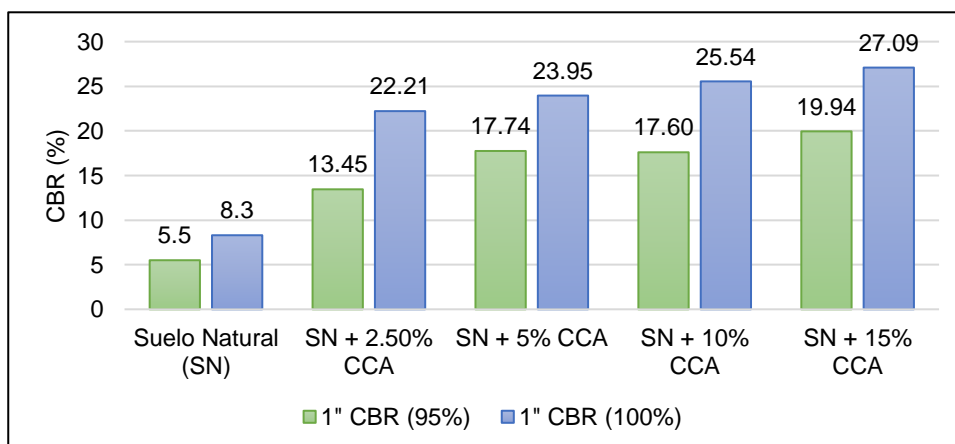


- Comparar la capacidad de soporte entre el suelo natural y el suelo tratado con cenizas de carbón y de cascarilla de arroz en cantidades porcentuales de 2.5%, 5.0%, 10.0% y 15.0%.



**Fig. 18.** Ensayo de CBR del Suelo Natural + % Cenizas de Carbón

Nota. De la Fig. 18 la muestra natural exhibió un CBR del 95% de 5.5% y alcanzó un CBR del 100% de 8.3%. Con la adición de cenizas de carbón (CB), se evidenciaron cambios en la capacidad de carga, siendo máximo con el 5% de CB, logrando un CBR del 95% de 18.53% y del 100% de 25.39%. El menor CBR al 95% se registró al agregar 2.50% y 10% de CB, con valores de 12.89% y 16.54% respectivamente. La inclusión de cenizas de carbón mejoró positivamente la capacidad de carga de las muestras de suelo arcilloso, con incremento en sus valores comparados con la muestra base.



**Fig. 19.** Ensayo de CBR del Suelo Natural + % Cenizas de Cascarilla de Arroz

Nota. De la Fig. 19., la muestra natural presentó un CBR del 95% de 5.5%, y luego alcanzó un CBR del 100% de 8.3%. Al adicionar cantidades proporcionales de CCA, la capacidad de carga del suelo tiende a aumentar, logrando el valor máximo con el 15% de CCA, obteniendo un CBR del 95% de 19.94% y un CBR del 100% de 27.09%. Del mismo modo, al añadir cantidades del 2.50%, 5% y 10% de CCA, se observan CBR al 95% de 13.45%, 17.74% y 17.60% respectivamente. Además, las muestras de suelo al incorporar 2.5%, 5% y 10% muestran un CBR al 100% de 22.21%, 23.95% y 22.54% respectivamente.

- **Establecer el porcentaje óptimo de incorporación de cenizas de carbón y cascarilla de arroz para la estabilización de suelos arcillosos con fines de pavimentación.**

Teniendo en cuenta los resultados anteriormente expuestos se pudo constatar que el óptimo porcentaje de cenizas de carbón que permite mejorar un suelo arcilloso es del 5%, ya que en su estado natural el suelo obtuvo un CBR al 95% de 5.5%, luego, alcanzó un CBR al 100% de 8.3%; no obstante, cuando se añadió el 5% de CB se mostró un CBR al 95% de 18.53% y un CBR al 100% de 25.39.

Entre tanto, respecto a la adición de cenizas de cascarilla de arroz se observó que el óptimo valor fue cuando se incorporó el 15% de este material, puesto que como se explicó el suelo natural obtuvo un CBR al 95% de 5.5% y un CBR al 100% de 8.3%; sin embargo, al añadirse el 15% de CCA se consigue un CBR al 95% de 19.94% y un CBR al 100% de 27.09%.

### 3.2. Discusión

OE<sub>1</sub>: En lo que respecta a las características físicas, se observó un LL de 21.1%, un LP de 20.8%, un IP de 6.3%, y un contenido de humedad óptima del 13.1%. En contraste, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), tanto la Calicata 01 como la Calicata 03 se clasifican como suelos del tipo CL - ML, lo que significa que son suelos arcillosos inorgánicos y suelos limos inorgánicos de baja compresibilidad en ambos casos. Por otro lado, en las Calicatas 02 y 04, se identificaron como suelos del tipo CL, es decir, suelos arcillosos inorgánicos de baja compresibilidad. Sin embargo, según la Asociación Americana de Carreteras y Transporte (AASHTO), estas muestras de suelo se consideran como suelos de mala calidad. Estos resultados obtenidos respaldan la afirmación de Bessaim et al., quienes indicaron que los suelos arcillosos sufren daños en su estructura cuando presentan un alto contenido de humedad [31].

En cuanto a las propiedades mecánicas del suelo natural, se observa que la Calicata 01 presenta una capacidad de soporte de cargas superior en comparación con las otras calicatas. Esto se refleja en un CBR al 95% de 6.99% y un CBR al 100% de 10.08%. Por otro lado, la Calicata 03 muestra una capacidad de soporte menor, con un CBR al 95% de 3.67% y un CBR al 100% de 5.98%. Estos hallazgos concuerdan con la investigación de Khadka et al., quienes también concluyeron que los suelos arcillosos tienen una capacidad de soporte limitada. En consecuencia, nuestros resultados respaldan la idea de que este tipo de suelos tiene una baja capacidad para resistir cargas en su estado natural [32].

OE<sub>2</sub>: Se obtuvo lo siguiente: Con la adición de cenizas de carbón una T=450°C. se consiguió un LL promedio de 22.0%, LP de 19.7%, IP de 2.3% y contenido de humedad óptima de 12.98%. Seguidamente, a una T=550°C se mostró un LL promedio de 20.8%, LP de 19.2%, IP de 1.6% y contenido de humedad óptima de 12.37%. Al mismo tiempo, a una T=700°C se constató como LL un promedio de 21.0%, LP de

18.7%, IP de 2.2% y contenido de humedad óptima de 12.31%. En cuanto a la clasificación AASHTO los resultados en cada calicata indican una clasificación A - 4 lo que indica que el suelo es limoso de arena, sedimentos y fino de baja compresión; además según la clasificación SUCS se observa que es del tipo ML, es decir, son suelos limos inorgánicos de baja compresibilidad.

Entre tanto, cuando se añade cenizas de cascarilla de arroz a una  $T=450^{\circ}\text{C}$  se obtuvo como LL un promedio de 25.6%, LP de 22.5%, IP de 3.0% y contenido de humedad óptima de 13.47%. Posteriormente, a una  $T=550^{\circ}\text{C}$  se comprobó un LL promedio de 23.8%, LP de 21.2%, IP de 2.6% y contenido de humedad óptima de 13.95%. Y finalmente, a una  $T=700^{\circ}\text{C}$  se alcanzó un LL promedio de 26.1%, LP de 23.8%, IP de 2.3% y contenido de humedad óptima de 12.23%. Por el contrario, según Sivakumar et al. mencionan que el suelo arcilloso logra obtener resultados positivos respecto a su contenido de humedad y, por ende, su CBR aumenta significativamente, alcanzando valores de 18% [26].

En cuanto, a sus características mecánicas, al añadir cantidades porcentuales de CB se pudo encontrar que a una  $T=450^{\circ}\text{C}$ , el 5% de CB, obtuvo un CBR al 95% de 23.01% y al 100% un valor de 29.38%; siendo este el valor más alto; no obstante, las resistencias más reducidas se evidenciaron con el 15% de CB, siendo su CBR al 95% de 16.10% y al 100% un valor de 21.57%. Seguidamente, a una  $T=550^{\circ}\text{C}$  se constató que el máximo valor se obtuvo con el 5% de CB, dado que obtuvo un CBR al 95% de 15.10% y al 100% un valor de 21.23%. Asimismo, los valores empezaron a reducirse a partir del 10% de CB. Y finalmente, a una  $T=700^{\circ}\text{C}$ , el máximo valor de CBR se alcanza con la adición del 15% de CB ya que obtuvo un CBR al 95% de 21.31% y al 100% un CBR de 29.03%. Ahora bien, según Mahvash et al., concuerdan con nuestra investigación, puesto que en su estudio realizado detallan que la adición del 5% y 10% de cenizas de carbón mejoran considerablemente la resistencia del suelo; ya que cuando se incorporó el 5% de cenizas, los resultados fueron favorables; y teniendo en

cuenta el presente proyecto, se pudo constatar que la capacidad de soporte del suelo con el 5% de cenizas de carbón mostró un CBR al 95% de 18.53% y un CBR al 100% de 25.39% [24]. Igual modo, según Goñas & Saldaña confirman, que al agregarle un porcentaje de ceniza de carbón aumentará el CBR del suelo arcilloso, ya que en su estudio se observó que al añadir este material aumentó hasta un 17.2% en el ensayo de CBR respecto a un suelo natural [20].

De otro modo, cuando se incorpora CCA, se mostró que, a una  $T=450^{\circ}\text{C}$  la mayor capacidad de soporte de cargas se obtuvo con el 15% de CCA, ya que obtuvo un CBR al 95% de 21.79% y al 100% obtuvo un valor de 30.45%. Estos valores superaron al valor encontrado en la muestra patrón, ya que, en ella se alcanzó un CBR al 95% de 5.5% y al 100% un valor de 8.3%. Posteriormente, a una  $T=550^{\circ}\text{C}$ , los valores encontrados superaron la muestra patrón, ya que, en ella se alcanzó un CBR al 95% de 5.5% y al 100% un valor de 8.3%. Y para finalizar, a una  $T=700^{\circ}\text{C}$ , el máximo valor se obtuvo con el 10% de CCA, ya que alcanzó un CBR al 95% de 18.67% y al 100% un valor de 26.28%. Asimismo, cuando se añadió el 15% de CCA la capacidad de soporte presentó una leve reducción en su CBR al 100%, siendo su valor de 26.20%. Por su lado, Herrera & Llor, concuerdan con nuestro proyecto, puesto que indica la adición de cenizas de arroz influye positivamente su CBR aumentando hasta en 2.5 veces; por lo que, evidenciándose nuestro estudio se ha obtenido que las cenizas de arroz benefician el CBR del suelo arcilloso [27]. No obstante, Gabriel contradice lo hallado en nuestro estudio, puesto que indica que incorporación de las cenizas de arroz en un 2% se obtienen los máximos valores de soporte; sin embargo, como se ha expuesto anteriormente, en los resultados obtenidos la capacidad de soporte del suelo fue superior en cantidades porcentuales del 15%, y por ende la estructura del suelo a menor cantidad de cenizas de arroz sufrirá más daños colapsables [29]. Igual modo, según Moreno & Forero, contradicen la investigación, puesto que en su estudio afirman que los suelos arcillosos con la incorporación de cenizas de arroz brindan una mayor

capacidad de absorción y drenaje en el suelo, dado que se obtuvo un porcentaje de humedad de 16.25% [21].

Finalmente; según Akbarimehr & Aflaki, afirman e igualmente consideran que, en suelos arcillosos al ser mezclados con ceniza, se reduce su capacidad de soporte y su contenido de humedad no es el óptimo [33]. Del mismo modo, Licuy & Román, detallan que, la incorporación de las cenizas de arroz permitió reducir el contenido de humedad, a su vez el 20% redujeron el volumen del suelo hasta un 60% [23].

OE<sub>3</sub>: El comportamiento mecánico del suelo natural tuvo menores valores respecto a las muestras con adición ya sea de cenizas de carbón o cenizas de cascarilla de arroz; dado que las muestras de suelos mezclados con las cenizas de carbón y arroz presentó mejor capacidad de soporte. No obstante, Bessaim et al. discrepa y menciona que todos los suelos arcillosos son conocidos por su alta sensibilidad al agua, lo que termina generando daños irreversibles sobre tipo de suelo [31].

Ahora, los suelos tratados, han evidenciado a través de los resultados obtenidos que sus características mecánicas fueron las esperadas, ya que, al incorporarse cenizas de carbón o arroz, el contenido de humedad fue el permitido. Del mismo modo, su CBR supero la capacidad de soporte del suelo natural y, por ende, el suelo resultaría ser una estructura adecuada. De igual modo, Kurnaz & Kaya, mencionan y afirman, que el CBR es importante como parte de la definición de la capacidad de carga de las estructuras, por ende, es necesario que se cumpla estos parámetros [42].

OE<sub>4</sub>: Se obtuvo, que el porcentaje óptimo para suelos arcillosos fueron del 5% y 15% respectivamente, ya que, cuando se adiciono esos porcentajes; el suelo mostró mejores comportamientos; sin embargo, es preciso señalar que el comportamiento del suelo evidencio óptimas características cuando se le incorpora las cenizas de cascarilla de arroz, dado que con el 5% de CB el suelo mostró un CBR al 95% de 18.53% y un CBR al 100% de 25.39. Entre tanto, respecto a la adición de cenizas de cascarilla de

arroz se observó que cuando se incorporó el 15% de este material, el suelo consigue un CBR al 95% de 19.94% y un CBR al 100% de 27.09%. Asimismo, López señala que las cenizas de cascarilla de arroz son materiales viables para ser utilizados como estabilizantes de suelos, debido a los resultados positivos obtenidos. Según su estudio, el ensayo de CBR mostró una resistencia del 3.96% al ser compactado al 95%. [30].

## **IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. Conclusiones**

En el O1, se encontró que este tipo de suelo es arcilloso e inorgánico, con una baja comprensibilidad. Además, se confirmó que sufre daños en su estructura cuando presenta un alto contenido de humedad.

En cuanto al O2, se descubrió que la adición de cenizas de carbón mejoró la capacidad de soporte del suelo, con mejores resultados en el 5% de adición. Por otro lado, la cascarilla de arroz mostró un aumento significativo en la capacidad de soporte, especialmente con el 15% de adición.

En el O3, se confirmó que las muestras tratadas con cenizas de carbón y cascarilla de arroz superan en capacidad de soporte al suelo natural.

Finalmente, en el O4, se determinó que el 5% de cenizas de carbón y el 15% de cascarilla de arroz son los porcentajes óptimos para mejorar las características del suelo arcilloso con fines de pavimentación. Estos resultados son respaldados por estudios previos que destacan las ventajas de la cascarilla de arroz como estabilizante de suelos.



## **4.2. Recomendaciones**

A los futuros investigadores se les recomienda considerar el porcentaje óptimo de incorporación de cenizas de cascarilla de arroz y cenizas de carbón para la estabilización de suelos destinados a mejorar la transitabilidad, brindando de esta manera una solución tanto técnica como económica para alcanzar resultados eficientes en este tipo de aplicaciones.

Se recomienda realizar estudios comparativos entre distintos aglomerantes para tener un repositorio de los diferentes tipos de estabilizadores para suelos con fines de pavimentación.

A los proyectistas, tener en cuenta el CBR del suelo natural al momento de evaluar la calidad de terreno y así optar por un determinado tipo de aglomerante para estabilizar los suelos y así garantizar la calidad del suelo y futuro pavimento.

## REFERENCIAS

- [1] F. Rivera, A. Orobio, R. Mejía and N. Cristelo, "Clayey soil stabilization using alkali-activated cementitious materials," *Materiales de Construcción*, vol. 70, no. 337, p. e211, 2020.
- [2] W. Ogila, "Effectiveness of fresh cement kiln dust as a soil stabilizer and stabilization mechanism of high swelling clays," *Environmental Earth Sciences*, vol. 80, no. 283, pp. 1-24, 2021.
- [3] Z. Abdalqadir and N. Salih, "An Experimental Study on Stabilization of Expansive Soil Using Steel Slag and Crushed Limestone," *Sulaimani Journal for Engineering Sciences*, vol. 7, no. 1, pp. 35-47, 2020.
- [4] I. Babazaki, M. Alhaji and M. Alhassan, "Effect of Volcanic Ash on Cement Stabilized Lateritic Soil: A Laboratory and Field Approach," in *2nd International Civil Engineering Conference (ICEC 2020)*, Minna, 2020.
- [5] Z. Abdalqadir, N. Salih and S. Salih, "Using Steel Slag for Stabilizing Clayey Soil in Sulaimani City-Iraq," *Journal of Engineering*, vol. 26, no. 7, pp. 145-157, 2020.
- [6] Y. Bhatt and J. Pitroda, "Response of Clay Unite with Rice Husk Ash, Steel Slag and Lime," *Journal of Construction and Building Materials Engineering*, vol. 7, no. 1, pp. 13-26, 2021.
- [7] Z. Eliaslankaran, N. Daud, M. Yusoft and V. Rostami, "Evaluation of the effects of cement and lime with rice husk ash as an additive on strength behavior of coastal soil," *Materials*, vol. 14, no. 5, p. 1140, 2021.
- [8] M. Yatawara and S. Athukorala, "Potential of replacing clay soil by rice husk ash (RHA) in enhancing the properties of compressed earth blocks (CEBs)," *Environment, Development and Sustainability*, vol. 23, no. 1, p. 3474–3486, 2021.
- [9] C. Bachus, M. Terzariol, C. Pasten, H. Chong, S. Dai, S. Cha, S. Kim, J. Jang, E. Papadopoulos, S. Roshankhah, L. Lei, A. Garcia, J. Park, A. Sivaram, F. Santamarina, X. Ren and C. Santamaría, "Characterization and engineering properties of dry and ponded class-F fly ash," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 145, no. 3, p. 04019003, 2019.

- [10] M. Mosaberpanah and S. Umar, "Utilizing Rice Husk Ash as Supplement to Cementitious Materials on Performance of Ultra High Performance Concrete: – A review," *Materials Today Sustainability*, vol. 7, no. 8, pp. 1-37, 2020.
- [11] M. Fathi, M. Tavakol and M. Tajbakhsh, "Effect of Lime and Rice Husk Ash on Horizontal Saturated Hydraulic Conductivity of Sandy Loam Soils," *Geotechnical and Geological Engineering*, vol. 38, no. 1, pp. 2027-2037, 2020.
- [12] M. Taha, C. Feng and S. Ahmed, "Modification of Mechanical Properties of Expansive Soil from North China by Using Rice Husk Ash," *Materials*, vol. 14, no. 11, pp. 1-13, 2021.
- [13] B. Gamarra, ""Mejoramiento de suelos arcillosos mediante estabilización química" Una revisión de la literatura científica de los últimos 10 años," Lima, 2019.
- [14] K. Sharma and V. Sivapullaiah, "Studies on the Compressibility and Shear Strength Behaviour of Fly Ash and Slag Mixtures," *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, vol. 7, no. 2, 2021.
- [15] G. Ayala, A. Rosalio and G. Durán, "Estudio del efecto de adición de ceniza proveniente de ladrilleras artesanales en la estabilización de suelos arcillosos para pavimentos," *Proceedings of the 17th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Industry, Innovation, and Infrastructure for Sustainable Cities and Communities"*, pp. 1-6, 2019.
- [16] R. Montejó, J. Raymundo and J. Chávez, "Materiales alternativos para estabilizar suelos: el uso de ceniza de cáscara de arroz en vías de bajo tránsito de Piura," *Revista Científica Tzhoecoén*, vol. 12, no. 2, pp. 131-140, 2020.
- [17] J. Gálvez, G. Durán and J. Aponte, "Estudio experimental del comportamiento geotécnico de suelo arenoso con ceniza de madera y carbón proveniente de ladrilleras artesanales," *Proceedings of the 17th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Industry, Innovation, and Infrastructure for Sustainable Cities and Communities"*, 2019.
- [18] M. Durant, "Diseño de pavimento rígido para optimizar la transitabilidad vehicular y peatonal del sector I Urbanización Urrunaga, José Leonardo Ortíz, Chiclayo - Lambayeque," Chiclayo, 2019.

- [19] R. Linares, M. Aguilar and E. Rojas, "Estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante con adición de bolsas de polietileno fundido," *Revista de Investigación Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, vol. 3, no. 2, pp. 33-40, 2020.
- [20] O. Goñas and J. Saldaña, "Estabilización de suelos con cenizas de carbón para uso como subrasante mejorada," *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, vol. 3, no. 1, p. 30, 2020.
- [21] K. Moreno and B. Forero, "Evaluación del comportamiento físico-mecánico de la resistencia de un suelo arcilloso con cenizas de cascarilla de arroz," Cundinamarca, 2020.
- [22] S. Raj, K. Sharma and K. Anand, "Performance appraisal of coal ash stabilized rammed earth," *Journal of Building Engineering*, vol. 18, pp. 51-57, 2019.
- [23] C. Licuy y K. Román, «Estudio de la estabilización de arcillas expansivas utilizando el 10, 20 y 30% en peso, de puzolanas de ceniza del volcán Tungurahua y ceniza de la cascarilla de arroz en composiciones iguales,» Chacón, 2020.
- [24] S. Mahvash, S. López-Querol and A. Bahadori-Jahromi, "Effect of fly ash on the bearing capacity of stabilised fine sand," *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Ground Improvement*, vol. 171, no. 2, pp. 82-95, 2019.
- [25] O. Laguna y J. Chacón, «Análisis comparativo del comportamiento a la resistencia de un suelo fino con adición de ceniza de cascarilla de arroz y ceniza de cascarilla de café,» Cundinamarca, 2020.
- [26] N. Sivakumar, A. Mandal, S. R. Karumanchi and D. K. Singh, "Effect of fly ash layer addition on the bearing capacity of expansive soil," *Emerging Materials Research*, vol. 9, no. 4, pp. 1088-1102, 2020.
- [27] L. Herrera y L. Loor, «Diseño control y cuidado en la Estabilización de suelos para pavimento de Vías.,» Guayaquil, 2021.
- [28] F. Hidalgo y J. Saavedra, «Análisis de la adición de cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar en la subrasante de pavimentos para la estabilización de suelos arcillosos en el departamento de San Martín,» Lima, 2020.

- [29] H. Gabriel, «Influencia del látex reciclado molido y las cenizas de cáscara de arroz en la resistencia al esfuerzo cortante, humedad óptima y densidad seca máxima de suelos arcillosos a nivel subrasante Lima - Norte 2020,» Lima, 2020.
- [30] J. López, «Estabilización de suelos arcillosos aplicando ceniza de cáscara de arroz para el mejoramiento de subrasante, en la localidad de Moyobamba – departamento de San Martín,» Lima, 2021.
- [31] M. Bessaim, A. Bessaim, H. Missoum and K. Bendani, "Effect of quick lime on physicochemical properties of clay soil," in *2nd International Congress on Materials & Structural Stability (CMSS-2017)*, Mascara, 2018.
- [32] S. Khadka, P. Jayawickrama and S. Senadheera, "Strength and Shrink/Swell Behavior of Highly Plastic Clay Treated with Geopolymer," *IOP Publishing*, vol. 2672, no. 52, pp. 174-184, 2021.
- [33] D. Akbarimehr y E. Aflaki, «An Experimental Study on the Effect of Tire Powder on the Geotechnical Properties of Clay Soils,» *Civil Engineering Journal*, vol. 4, n° 3, pp. 594-601, 2018.
- [34] O. Elechi, Z. Yelebe, B. Oruabena and S. Nelson, "Comparative Study of Degradation Kinetics of Crude oil Contaminated Mangrove and Clay Soils," *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering*, vol. 4, no. 11, pp. 113-124, 2018.
- [35] R. Akbulut y F. Isik, «Investigation of geotechnical properties of clay soils mixed with recycled nano carbon black,» *Sāadhanā*, vol. 46, n° 49, pp. 1-11, 2021.
- [36] R. Beck, H. Scheuermann, J. Corrêa, J. Consoli and K. Reddy, "Physical–Mineralogical–Chemical Characterization of Carbide Lime: An Environment-Friendly Chemical Additive for Soil Stabilization," *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 30, no. 6, pp. 1-7, 2018.
- [37] S. Saneiyani, D. Ntarlagiannis, D. Werkema and A. Ustra, "Geophysical methods for monitoring soil stabilization processes," *Journal of Applied Geophysics*, vol. 148, no. 1, pp. 234-244, 2018.
- [38] S. Barroso y C. Tello, «Study of a mixture of soil and brazilian bentonite using a protocol for clay characterization for near-surface radioactive waste repository,» *Brazilian Journal of Radiation Sciences*, vol. 9, n° A1, pp. 1-13, 2021.

- [39] J. Rojas-Suárez, G. Prada-Botia and S. Orjuela, "Study of low plasticity clay for optimum dosage of the soil-cement," in *Journal of Physics Conference Series*, Cúcuta, 2019.
- [40] M. Sulewska y D. Tymosiak, «Analysis of compaction parameters of the exemplary non-cohesivesoil determined by Proctor methods and vibrating table tests,» *Land Reclamation*, vol. 50, nº 2, pp. 99-108, 2018.
- [41] V. Katte, S. Mfoyet, B. Manefouet, A. Wouatong and L. Bezeng, "Correlation of California Bearing Ratio (CBR) Value with Soil Properties of Road Subgrade Soil," *Geotechnical and Geological Engineering*, vol. 37, no. 1, pp. 217-234, 2019.
- [42] F. Kurnaz y Y. Kaya, «Prediction of the California bearing ratio (CBR) of compacted soils by using GMDH-type neural network,» *The European Physical Journal Plus*, vol. 134, nº 17, pp. 1-15, 2019.
- [43] B. Zhou y N. Lu, «Correlation between Atterberg Limits and,» *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 147, nº 2, pp. 1-13, 2021.
- [44] L. Landa-Ruiz, S. Márquez-Montero, G. Santiago-Hurtado, V. Moreno-Landeros, J. Mendoza-Rangel and M. Baltazar-Zamora, "Effect of the Addition of Sugar Cane Bagasse Ashon the Compaction Properties of aGranular Material Type Hydraulic Base," *European Journal of Engineering and Technology Research*, vol. 6, no. 1, pp. 1-4, 2021.
- [45] A. Gautam, R. Batra and N. Singh, "A study on use of rice husk ash in concrete," *Engineering Heritage Journal*, vol. 3, no. 1, pp. 1-4, 2019.
- [46] S. Hossain, L. Mathur and P. Roy, "Rice husk/rice husk ash as an alternative source of silica in ceramics: A review," *Journal of Asian Ceramic Societies*, vol. 6, no. 4, pp. 299-313, 2018.
- [47] Y. Zou y T. Yang, «Rice Husk, Rice Husk Ash and Their Applications,» de *Rice Bran and Rice Bran Oil*, Academic Press and AOCS Press, 2019, pp. 207-246.
- [48] B. Soundara, S. Selvakumar and S. Bhuvaneshwari, "Laboratory study on natural fibre amended fly ash as an expansive soil stabilizer," diciembre 2020. [Online]. Available: Laboratory Study on Natural Fibre Amended Fly Ash as an Expansive Soil Stabilizer.

- [49] A. R. K. Gollakota, V. Volli and C.-M. Shu, "Progressive utilisation prospects of coal fly ash: A review," vol. 672, pp. 951-989, 2019.
- [50] M. Uma and R. Phanikumar, "Leachate studies on fly ash-stabilised expansive clay liners," *Geomechanics and Geoengineering*, vol. 11, no. 2, pp. 114-118, 2018.
- [51] G. Durán Ramírez, G. Ayala Velasquez and A. Rosadio Casas, "Estudio del efecto de adición de ceniza proveniente de ladrilleras artesanales en la estabilización de suelos arcillosos para pavimentos," *Proceedings of the 17th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Industry, Innovation, and Infrastructure for Sustainable Cities and Communities"*, 2019.
- [52] A. V. Thomas, K. P. Ramaswamy, A. Nair, R. Padmanabhan, T. K. Isac and V. Anilkumar, "Strength of concrete with wood ash and waste glass as partial replacement materials," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 491, p. 012040, 2020.
- [53] H. Ñaupas, M. Valdivia, J. Palacios and H. Romero, *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis*, 5ª ed. ed., Bogotá: Ediciones de la U, 2018.
- [54] E. Gallardo, *Metodología de la Investigación: manual autoformativo interactivo*, Huancayo: Universidad Continental, 2017.
- [55] R. Hernández y C. Mendoza, *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*, Ciudad de México: McGraw-Hill Interamericana, 2018.
- [56] E. Cabezas, D. Andrade and J. Torres, *Introducción a la metodología de la investigación científica*, Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2018.
- [57] J. Vera, R. Castaño and Y. Torres, *Fundamentos de metodología de la investigación científica*, Guayaquil: Grupo Compás, 2018.
- [58] J. Arias, *Proyecto de tesis: Guía para la elaboración*, Arequipa: Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú, 2020.
- [59] Científica, «Código de ética de la investigación,» Lima, 2017.

[60] R. Mueller y T. Knapp, «Reliability and Validity,» de *The Reviewer's Guide to Quantitative Methods in the Social Sciences*, 2° ed., Londres, Routledge, 2018, pp. 397-401.



## ANEXOS

<b>Anexo I.</b> Acta de aprobación del asesor.....	57
<b>Anexo I.</b> Matriz de Consistencia.....	58
<b>Anexo II.</b> Informe de Laboratorio.....	59
<b>Anexo III.</b> Acreditación de laboratorio.....	86
<b>Anexo IV.</b> Ficha de Juicio de Expertos.....	88
<b>Anexo V.</b> Análisis Estadístico.....	98
<b>Anexo VI.</b> Ficha Técnica de la Ceniza de Cascarilla de Arroz.....	103
<b>Anexo VII.</b> Ficha Técnica de la Ceniza de Carbón.....	105
<b>Anexo VIII.</b> Panel Fotográfico.....	107
<b>Anexo IX.</b> Análisis Económico del Suelo Natural y Suelo Modificado.....	119
<b>Anexo X.</b> Prueba de hipótesis en análisis estadístico - t student.....	120
<b>Anexo XI.</b> Análisis químico de las cenizas de carbón y ceniza de cascarilla de arroz.....	125


## Anexo I. Acta de aprobación del asesor



### ACTA DE APROBACIÓN DEL ASESOR

Yo **Pedro Ramón Patazca Rojas**, quien suscribe como asesor designado mediante Resolución de Facultad N° **0448-2022/FIAU-USS**, del proyecto de investigación titulado **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBÓN PARA PAVIMENTOS**, desarrollado por los estudiantes: **Anghella Mariel Nureña Ascencio**, **Wilder Delgado Carranza**, del programa de estudios de **PREGRADO**, acredito haber revisado, y declaro expedito para que continúe con el trámite pertinentes.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Pedro Ramón Patazca Rojas	DNI: 45902345	
---------------------------	---------------	---


Pimentel, 18 de octubre de 2024

## Anexo II. Matriz de Consistencia

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variable de estudio	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Tipo de variable
	<b>General</b>	<b>General</b>			2.50%		
				Porcentajes de adición para ensayos	5.00%	Adiciones porcentuales	
					10.00%		
					15.00%		
					Módulo de Fineza		%
	Evaluar la influencia de la ceniza de cascarilla de arroz y cenizas de carbón para la estabilización de suelos arcillosos.	La adición de la ceniza de cascarilla de arroz y cenizas de carbón mejora significativamente las propiedades físicas y mecánicas de los suelos arcillosos.	Ceniza de Cascarilla de Arroz	Propiedades físicas	Peso específico	kg	
					Granulometría	%	
	<b>Específicos</b>	<b>Nula</b>			2.50%		Independiente
				Porcentajes de adición para ensayos	5.00%	Adiciones porcentuales	
					10.00%		
					15.00%		
¿Cómo influye la ceniza de cascarilla de arroz y ceniza de carbón en la estabilización de un suelo arcilloso con fines de pavimentación?	Determinar las características físico-mecánicas del suelo natural. Determinar las características físico -mecánicas del suelo natural adicionando cenizas de carbón y de cascarilla de arroz en cantidades porcentuales de 2.5%, 5.0%, 10.0% y 15.0%. Comparar la capacidad de soporte entre el suelo natural y el suelo tratado con cenizas de carbón y de cascarilla de arroz en cantidades porcentuales de 2.5%, 5.0%, 10.0% y 15.0%. Establecer el porcentaje óptimo de incorporación de cenizas de carbón y cascarilla de arroz para la estabilización de suelos arcillosos con fines de pavimentación.	La adición de la ceniza de cascarilla de arroz y cenizas de carbón no mejoran significativamente las propiedades físicas y mecánicas de los suelos arcillosos.	Ceniza de Carbón		Tamiz N° 200	-	
				Propiedades físicas	Peso específico	Kg/m <sup>3</sup>	
					Temperatura de quemado	°C	
					Peso específico	-	
					Contenido de humedad	%	
			Estabilización de suelos arcillosos	Propiedades físico – mecánicas	Límites de consistencia Proctor	%	Dependiente
					Granulometría	%	
					Gravedad específica	-	

### Anexo III. Informe de Laboratorio

- Ensayo de Contenido de Humedad



**CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.**

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

🏠 Av. Vicente Ruso Mz S/N Lote N° 08 - Fundo El Cerro- Chiclayo, 📞 978 360 036 – 993 595 300.  
✉ [constructora.ayr.chiclayo@gmail.com](mailto:constructora.ayr.chiclayo@gmail.com)

CONTENIDO DE HUMEDAD  
(NORMA NTP 339.12.7)


<b>PROYECTO</b>	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBON PARA PAVIMENTOS"		
<b>UBICACIÓN</b>	CHICLAYO - LAMBAYEQUE		
<b>MATERIAL</b>	TERRENO EXISTENTE	<b>RESP. LAB.</b> : R.H.B.C.	
<b>SOLICITANTE</b>	ANGHELLA MARIEL NUREÑA ASCENCIO / WILDE DELGADO CARRANZA	<b>TEC. LAB.</b> : L.M.F.H.	
		<b>FECHA</b> : 07/06/2022	

DATOS DE LA MUESTRA			
<b>CALICATA</b>	: 1		
<b>MUESTRA</b>	: M - 01		

DATOS DEL ENSAYO				
MUESTRA	:	1	2	
N° DE TARA	:	28	43	
PESO DE LA TARA	:			
TARA + SUELO HÚMEDO	:	1300	1250	
TARA + SUELO SECO	:	1195	1152	
PESO DEL AGUA	:	106	98	
PESO DEL SUELO SECO	:	1195	1152	
<b>% DE HUMEDAD</b>	:	<b>8.8</b>	<b>8.5</b>	<b>8.7</b>


**Observaciones :** Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.




Luis María Palco Abanto  
TÉCNICO DE LABORATORIO

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.



Ing. Roberth H. Nureña Ascencio  
TÉCNICO DE LABORATORIO



L.E.M. CHICLAYO



## CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

📍 Av. Vicente Ruso Mz S/N Lote N° 08 - Fundo El Cerrillo - Chiclayo, 📞 978 360 036 - 993 595 300.

✉️ [constructora.ayr.chiclayo@gmail.com](mailto:constructora.ayr.chiclayo@gmail.com)

### CONTENIDO DE HUMEDAD (NORMA NTP 339.127)

<b>PROYECTO</b>	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBÓN PARA PAVIMENTOS"		
<b>UBICACIÓN</b>	CHICLAYO - LAMBAYEQUE		
<b>MATERIAL</b>	TERRENO EXISTENTE	<b>RESP. LAB. :</b>	R.H.B.C.
<b>SOLICITANTE</b>	ANGHELLA MARIEL NUREÑA ASCENCIO / WILDER DELGADO CARRANZA	<b>TEC. LAB. :</b>	L.M.F.H.
		<b>FECHA :</b>	07/06/2022

#### DATOS DE LA MUESTRA

<b>CALICATA</b>	: 2
<b>MUESTRA</b>	: M - 01

#### DATOS DEL ENSAYO

MUESTRA		1	2		
N° DE TARA	:	23	77		
PESO DE LA TARA	:				
TARA + SUELO HÚMEDO	:	1300.1	1245.0		
TARA + SUELO SECO	:	1187.9	1135.3		
PESO DEL AGUA	:	112	110		
PESO DEL SUELO SECO	:	1188	1135		
% DE HUMEDAD	:	9.4	9.7		9.6

**Observaciones :** Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.  
  
 Zaida María Palco Heredia  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.  
  
 Ing. Wilder Delgado Carranza  
 INGENIERO EN GEOTECNIA  
 MSc. CP. M&P





## CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

📍 Av. Vicente Ruso Mz S/N Lote N° 08 - Fundo El Cerrito - Chiclayo, 📞 978 360 036 - 993 595 300.

✉️ [constructora.ayr.chiclayo@gmail.com](mailto:constructora.ayr.chiclayo@gmail.com)

### CONTENIDO DE HUMEDAD (NORMA NTP 339.127)

<b>PROYECTO</b>	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBÓN PARA PAVIMENTOS"		
<b>UBICACIÓN</b>	CHICLAYO - LAMBAYEQUE		
<b>MATERIAL</b>	TERRENO EXISTENTE	<b>RESP. LAB. :</b>	R.H.B.C.
<b>SOLICITANTE</b>	ANGHELLA MARIEL NUREÑA ASCENCIO / WILDE DELGADO CARRANZA	<b>TEC. LAB. :</b>	L.M.F.H.
		<b>FECHA :</b>	07/06/2022

### DATOS DE LA MUESTRA

<b>CALICATA</b>	: 3
<b>MUESTRA</b>	: M - 01

### DATOS DEL ENSAYO

MUESTRA		1	2		
N° DE TARA	:	56	77		
PESO DE LA TARA	:				
TARA + SUELO HÚMEDO	:	1300	1256		
TARA + SUELO SECO	:	1233	1186		
PESO DEL AGUA	:	67	70		
PESO DEL SUELO SECO	:	1233	1186		
% DE HUMEDAD	:	5.5	5.9		5.7

**Observaciones :** Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.  
*[Firma]*  
Julio María Palco Hurtado  
TÉCNICO DE LABORATORIO

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.  
*[Firma]*  
INGENIERO DE BIENES MATERIALES  
L.M.F.H.





## CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

📍 Av. Vicente Ruso Mz S/N Lote N° 08 - Fundo El Cerrito- Chiclayo. 📞 978 360 036 – 993 595 300.

✉ [constructora.ayr.chiclayo@gmail.com](mailto:constructora.ayr.chiclayo@gmail.com)

### CONTENIDO DE HUMEDAD (NORMA NTP 339.127)

<b>PROYECTO</b>	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBÓN PARA PAVIMENTOS"		
<b>UBICACIÓN</b>	CHICLAYO - LAMBAYEQUE		
<b>MATERIAL</b>	TERRENO EXISTENTE	<b>RESP. LAB. :</b>	R.H.B.C.
<b>SOLICITANTE</b>	ANGHELLA MARIEL NUREÑA ASCENCIO / WILDER DELGADO CARRANZA	<b>TEC. LAB. :</b>	L.M.F.H.
		<b>FECHA :</b>	07/06/2022

### DATOS DE LA MUESTRA

<b>CAUCATA</b>	: 4
<b>MUESTRA</b>	: M - 01

### DATOS DEL ENSAYO

MUESTRA		1	2		
N° DE TARA	:	32	21		
PESO DE LA TARA	:				
TARA + SUELO HÚMEDO	:	1300	1247		
TARA + SUELO SECO	:	1236	1181		
PESO DEL AGUA	:	64	66		
PESO DEL SUELO SECO	:	1236	1181		
% DE HUMEDAD	:	5.2	5.6		5.4

**Observaciones :** Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

Luis María Pulco Hernández  
TÉCNICO DE LABORATORIO

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.  
  
Wilder Delgado Carranza  
TÉCNICO DE LABORATORIO



- Ensayo Granulométrico por Tamizado



**CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.**

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

Av. Vicente Ruso Mz S/N Lote N° 08 - Fundo El Cerillo - Chiclayo, ☎ 978 360 036 - 993 595 300.  
 ✉ [constructora.ayr.chiclayo@gmail.com](mailto:constructora.ayr.chiclayo@gmail.com)

**ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**  
 (NORMA NTP 339.128)

<b>PROYECTO</b>	: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBÓN PARA PAVIMENTOS"		
<b>UBICACIÓN</b>	: CHICLAYO - LAMBAYEQUE		
<b>MATERIAL</b>	: TERRENO EXISTENTE	<b>RESP. LAB.:</b>	R.H.B.C.
<b>SOLICITANTE</b>	: ANGHILLA MARIEL NUREÑA ASCENCIO / WILDE DELGADO CARRANZA	<b>TEC. LAB.:</b>	L.M.F.H.
		<b>FECHA:</b>	07/06/2022

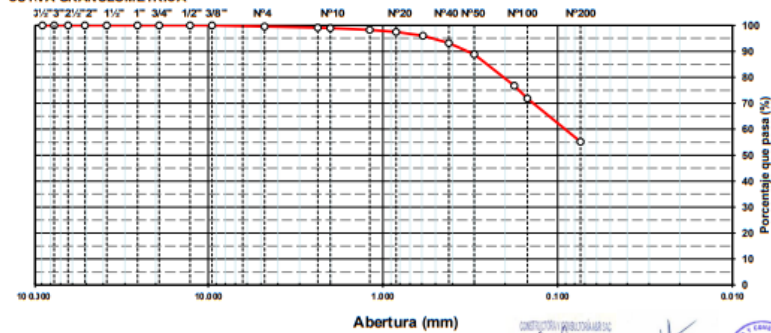
**DATOS DEL ENSAYO**

<b>CALICATA</b>	: 1
<b>MUESTRA</b>	: M - 01

**DATOS DE ENSAYO**

TAMIZ	ABERT. mm	PESO RET.	%RET. PARG.	%RET. AC.	% QPASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
3 1/2"	88.900					PESO TOTAL = 500.0 gr	
3"	76.200						
2 1/2"	63.500					PESO FRACCIÓN FINC = 500.0 gr	
2"	50.800					LÍMITE LÍQUIDO = 26.7 %	
1 1/2"	38.100					LÍMITE PLÁSTICO = 21.5 %	
1"	25.400					ÍNDICE PLÁSTICO = 5.2 %	
3/4"	19.100					CLASF. AASHTO = A-4 (5)	
1/2"	12.700					CLASF. SUCS = CL - ML	
3/8"	9.520						
1/4"	6.350				100.0		
#4	4.750	2.1	0.4	0.4	99.6		
#8	2.350	2.1	0.4	0.8	99.2		
#10	2.000	0.9	0.2	1.0	99.0		
#16	1.190	3.5	0.7	1.7	98.3		
#20	0.840	4.1	0.8	2.5	97.5		
#30	0.590	7.3	1.5	4.0	96.0		
#40	0.420	13.9	2.8	6.8	93.2	CONT. DE HUMEDAD = 8.7 %	
#50	0.300	21.9	4.4	11.2	88.8		
#60	0.177	62.3	12.1	23.2	76.8		
#100	0.149	24.7	4.9	28.2	71.8		
#200	0.074	83.3	16.7	44.8	55.2		
< # 200	FONDO	275.9	55.2	100.0			
						Coef. Uniformidad	
						Coef. Curvatura	
						Pot. de expansión	
Descripción suelo: <b>ARCILLA LMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD</b>							

**CURVA GRANULOMETRICA**



Observaciones: Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.







## CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

Av. Vicente Ruso Mz S/N Lote N° 08 - Fundo El Cerrito - Chiclayo. ☎ 978 360 036 - 993 595 300.

✉ [constructora.ayr.chiclayo@gmail.com](mailto:constructora.ayr.chiclayo@gmail.com)

### ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (NORMA NTP 339.128)

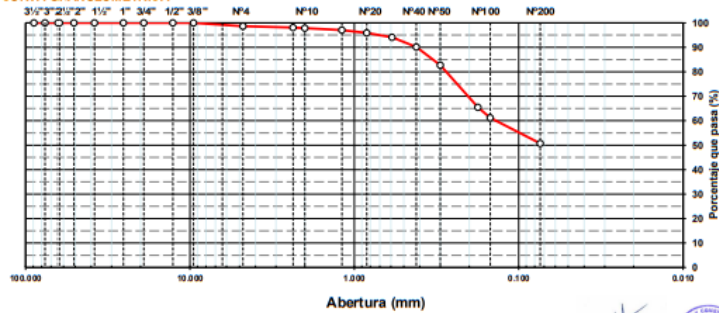
PROYECTO	: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBÓN PARA PAVIMENTOS	RESP. LAB.:	R. H. B. C.
UBICACIÓN	: CHICLAYO - LAMBAYEQUE	TEC. LAB.:	L. M. F. J. H.
MATERIAL	: TERRENO EXISTENTE	FECHA:	07/06/2022
SOLICITANTE	: ANGHILLA MARIEL NUREÑA ASCENCIO / WILDER DELGADO CARRANZA		

DATOS DEL ENSAYO	
CALICATA	: 2
MUESTRA	: M - 01

DATOS DE ENSAYO						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
TAMIZ	ABERT. mm	PESO RET.	%RET. FINC.	%RET. AC.	% Q/PASA		
3 1/2"	88.900					PESO TOTAL	= 500.0 gr
3"	76.200						
2 1/2"	63.500					PESO FRACCIÓN FINC	= 500.0 gr
2"	50.800					LÍMITE LÍQUIDO	= 28.7 %
1 1/2"	38.100					LÍMITE PLÁSTICO	= 21.4 %
1"	25.400					ÍNDICE PLÁSTICO	= 7.3 %
3/4"	19.000					CLASIF. ASBITO	= A-4 [ 3 ]
1/2"	12.500					CLASIF. SUELO	= CL
3/8"	9.500						
1/4"	6.350						
#4	4.750	6.9	1.4	1.4	98.6		
#8	2.360	2.5	0.5	1.9	98.1		
#10	2.000	1.3	0.3	2.1	97.9		
#16	1.190	3.9	0.8	2.9	97.1		
#20	0.840	5.9	1.2	4.1	95.9		
#30	0.590	9.0	1.8	5.9	94.1		
#40	0.420	19.8	4.0	9.9	90.1	CONT. DE HUMEDAD	= 9.6 %
#50	0.300	37.3	7.5	17.3	82.7		
#60	0.250	45.9	9.2	26.5	73.5		
#75	0.190	59.9	11.9	38.6	61.4		
#100	0.150	65.9	13.2	49.3	50.7		
#200	0.075	73.6	14.7	65.3	34.7		
< #200	FONDO	253.6	50.7	100.0		Coef. Uniformidad	Índice de Consistencia
						Coef. Curvatura	
						Prof. de expansión	

Descripción suelo: **ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD**

#### CURVA GRANULOMÉTRICA



Observaciones: Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

CONSTRUYENDO CON CALIDAD

Ing. Wilder Delgado Carranza

Responsable de Laboratorio

CONSTRUYENDO CON CALIDAD

Ing. L. M. F. J. H.

Responsable de Laboratorio





## CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

Av. Vicente Ruso Mz S/N Lote N° 08 - Fundo El Cerriño - Chiclayo. ☎ 978 360 036 - 993 595 300.

✉ [constructora.avr.chiclayo@gmail.com](mailto:constructora.avr.chiclayo@gmail.com)

### ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (NORMA NTP 339.128)

PROYECTO	*ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBÓN PARA PAVIMENTOS*		
UBICACIÓN	CHICLAYO - LAMBAYEQUE		
MATERIAL	TERRENO EXISTENTE		
SOLICITANTE	ANGHELLA MARIEL NUREÑA ASCENCIO / WILDE DELGADO CARRANZA		RESP. LAB.: R.H.B.C. TEC. LAB.: L.M.F.H. FECHA: 07/06/2022

#### DATOS DEL ENSAYO

CALICATA : 3  
MUESTRA : M-01

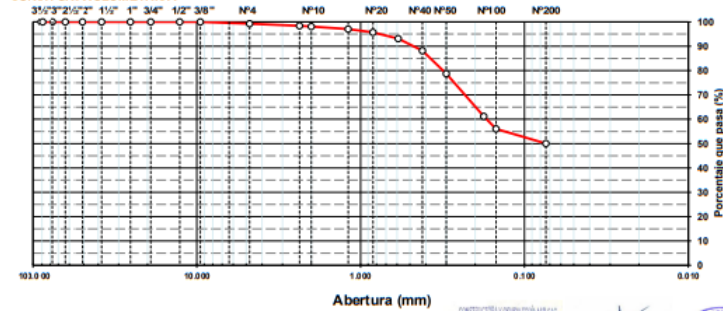
#### DATOS DE ENSAYO

TAMIZ	ABERT. (mm)	PESO RET.	SUBT. PARC.	SUBT. AC.	% Q PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3/12"	88.900					PESO TOTAL = 500.0 gr
3"	76.200					PESO FRACCIÓN FINC = 500.0 gr
2 1/2"	63.500					LÍMITE LÍQUIDO = 24.9 %
1 1/2"	38.100					LÍMITE PLÁSTICO = 20.6 %
1"	25.400					ÍNDICE PLÁSTICO = 4.3 %
3/4"	19.100					CLASF. AASHTO = A-4 [3]
1/2"	12.700					CLASF. SUCS = CL-ML
3/8"	9.520					
1/4"	6.350				100.0	
#4	4.760	3.6	0.7	0.7	99.3	
#8	2.360	4.4	0.9	1.6	98.4	
#10	2.000	1.5	0.3	1.9	98.1	
#16	1.190	5.3	1.1	3.0	97.0	
#20	0.840	6.7	1.3	4.3	95.7	
#30	0.590	25.0	2.6	6.9	93.1	
#40	0.420	25.0	2.6	6.9	93.1	CONT. DE HUMEDAD = 5.7 %
#60	0.300	47.1	9.4	21.3	78.7	
#80	0.177	87.6	17.5	38.6	61.2	
#100	0.149	25.9	5.2	44.0	56.0	
#200	0.074	29.9	6.0	50.0	50.0	
< #200	FONDO	250.2	50.0	100.0		

Coef. Uniformidad :  
Coef. Curvatura :  
Pot. de expansión :

Descripción suelo: ARCILLA LMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD

#### CURVA GRANULOMETRICA



Observaciones : Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

Ing. Mario Páez Hurtado  
TÉCNICO DE LABORATORIO

CONSTRUCIONES Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

Ing. Mario Páez Hurtado  
TÉCNICO DE LABORATORIO





## CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

Av. Vicente Ruso Mz S/N Lote N° 08 - Fundo El Cerrito-Chiclayo, ☎ 978 360 036 - 993 595 300.

✉ [constructora.gyr.chiclayo@gmail.com](mailto:constructora.gyr.chiclayo@gmail.com)

### ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (NORMA NTP 339.128)

PROYECTO	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBÓN PARA PAVIMENTOS"		
UBICACIÓN	CHICLAYO - LAMBAYEQUE		
MATERIAL	TERRENO EXISTENTE	RESP. LAB.:	R.H.B.C.
SOLICITANTE	ANGHELLA MARIEL NUREÑA ASCENCIO / WILDER DELGADO CARRANZA	TEC. LAB.:	L.M.F.H.
		FECHA:	07/06/2022

#### DATOS DEL ENSAYO

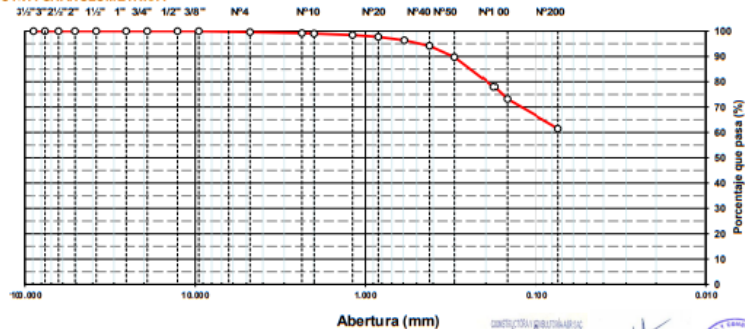
CALCATA : 4  
MUESTRA : M - 01

#### DATOS DE ENSAYO

TAMIZ	ABERT. mm	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q/PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
3 1/2"	88.900					PESO TOTAL = 500.0 gr	
3"	76.200					PESO FRONCIÓN FINE = 500.0 gr	
2 1/2"	63.500					LÍMITE LÍQUIDO = 27.9 %	
1 1/2"	38.100					LÍMITE PLÁSTICO = 19.6 %	
1"	25.400					ÍNDICE PLÁSTICO = 8.4 %	
3/4"	19.100					CLASF. AASHTO = A-4 [ 5 ]	
1/2"	12.700					CLASF. SUCS = CL	
3/8"	9.520						
1/4"	6.350				100.0		
#4	4.750	2.0	0.4	0.4	99.6		
#8	2.360	2.2	0.4	0.8	99.2		
#10	2.000	0.7	0.1	1.0	99.0		
#16	1.190	2.7	0.5	1.5	98.5		
#20	0.840	3.7	0.7	2.3	97.7		
#30	0.590	6.9	1.4	3.6	96.4		
#40	0.420	11.1	2.2	5.9	94.1	CONT. DE HUMEDAD = 5.4 %	
#50	0.300	21.8	4.4	10.2	89.8		
#80	0.177	89.0	11.8	22.0	78.0		
#100	0.149	29.8	4.8	26.8	73.2		
#200	0.074	98.7	11.7	88.5	61.5		
<#200	FONDO	307.4	61.5	100.0			
						Coef. Uniformidad	Índice de Consistencia
						Coef. Curvatura	Pot. de expansión

Descripción suelo: **ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD**

#### CURVA GRANULOMÉTRICA




Observaciones: Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.  
L.M.F.H.

WILDER DELGADO CARRANZA  
INGENIERO EN GEOTECNIA



- Ensayos de Límites de Consistencia



**CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.**

- Elaboración de Expedientes Técnicos.  
 - Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.  
 - Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.  
 - Estudios Topográficos.

🏠 Av. Vicente Ruso Mz S/N Lote N° 08 - Fundo El Cerrito- Chiclayo. ☎ 978 360 036 - 993 595 300.  
 ✉ [constructora.ayr.chiclayo@gmail.com](mailto:constructora.ayr.chiclayo@gmail.com)

---

**ENSAYOS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
(NORMA NTP 339.129)

<b>PROYECTO</b>	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZO Y CENIZAS DE CARBON PARA PAVIMENTOS"		
<b>UBICACIÓN</b>	CHICLAYO - LAMBAYEQUE		
<b>MATERIAL</b>	TERRENO EXISTENTE	RESP. LAB. : R.H.B.C.	
<b>SOLICITANTE</b>	ANGHELLA MARIEL NUREÑA ASCENCIO / WILDE DELGADO CARRANZA	TEC. LAB. : L.M.F.H.	
		FECHA : 08/06/2022	

---

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>CALICATA</b>	: 1
<b>MUESTRA</b>	: M - 01

---

**DATOS DE ENSAYO**

LÍMITE LÍQUIDO				
N° TARRO	80	75	77	
TARRO + SUELO HÚMEDO	46.68	41.46	48.37	
TARRO + SUELO SECO	42.30	37.93	43.39	
AGUA	4.38	3.53	4.98	
PESO DEL TARRO	25.31	25.06	26.20	
PESO DEL SUELO SECO	16.99	12.87	17.19	
% DE HUMEDAD	25.78	27.43	28.97	
N° DE GOLPES	31	21	15	

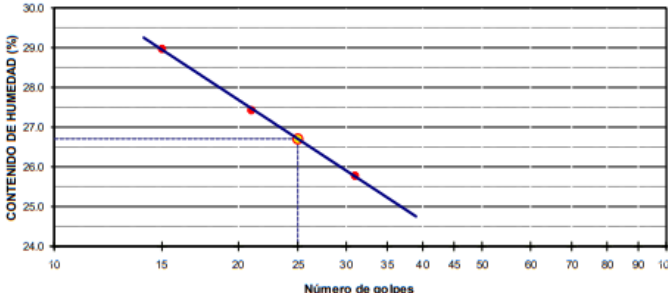
---

LÍMITE PLÁSTICO				
N° TARRO	81	87		
TARRO + SUELO HÚMEDO	34.30	32.64		
TARRO + SUELO SECO	32.71	31.18		
AGUA	1.59	1.46		
PESO DEL TARRO	25.29	24.43		
PESO DEL SUELO SECO	7.42	6.75		
% DE HUMEDAD	21.43	21.63		

---

**LL : 26.7 %      LP : 21.5 %      IP : 5.2 %**

**% DE HUMEDAD A 25 GOLPES**



**Observaciones :** Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

*Wilde Delgado Carranza*

José María Palco Horrocho


TECNICO DE LABORATORIO

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

*R.H.B.C.*

L.M.F.H.

INGENIERO DE MATERIALES





## CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

Av. Vicente Ruso Mz S/N Lote N° 08 - Fundo El Cerrito - Chiclayo, ☎ 978 360 036 - 993 595 300.

✉ [constructora.ayr.chiclayo@gmail.com](mailto:constructora.ayr.chiclayo@gmail.com)

### ENSAYOS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA (NORMA NTP 339.129)

PROYECTO	ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBÓN PARA PAVIMENTOS		
UBICACIÓN	CHICLAYO - LAMBAYEQUE		
MATERIAL	TERRENO EXISTENTE	RESP. LAB. :	R.H.B.C.
SOLICITANTE	ANGHELLA MARIEL NUREÑA ASCENCIO / WILDER DELGADO CARRANZA	TEC. LAB. :	L.M.F.H.
		FECHA :	08/06/2022

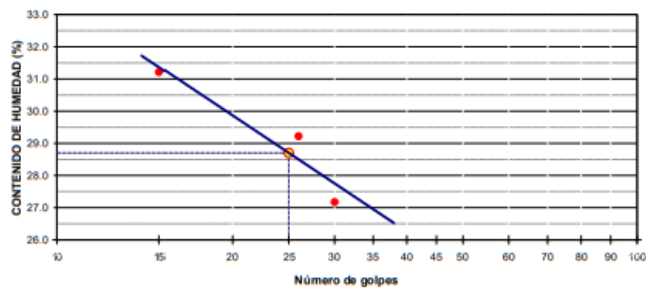
#### DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : 2  
MUESTRA : M - 01

#### DATOS DE ENSAYO

LÍMITE LÍQUIDO					
N° TARRRO	51	79	45		
TARRRO + SUELO HÚMEDO	34.09	41.30	31.68		
TARRRO + SUELO SECO	30.97	37.91	28.44		
AGUA	3.12	3.39	3.24		
PESO DEL TARRRO	19.49	26.31	18.06		
PESO DEL SUELO SECO	11.48	11.60	10.38		
% DE HUMEDAD	27.18	29.22	31.21		
N° DE GOLPES	30	26	15		
LÍMITE PLÁSTICO					
N° TARRRO	70	12			
TARRRO + SUELO HÚMEDO	34.96	30.18			
TARRRO + SUELO SECO	33.35	28.24			
AGUA	1.61	1.94			
PESO DEL TARRRO	25.77	19.93			
PESO DEL SUELO SECO	7.58	9.01			
% DE HUMEDAD	21.24	21.83			
LL :	28.7 %	LP :	21.4 %	IP :	7.3 %

#### % DE HUMEDAD A 25 GOLPES



Observaciones : Las muestras fueron proporcionadas por el contratante

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

*Angella Mariel Nureña Ascencio*  
Ingeniera María Asilo Hurtado  
TECNICO DE LABORATORIO

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.  
*Wilder Delgado Carranza*  
Ingeniero Wilber Carranza  
TECNICO DE LABORATORIO



- Ensayo de Consistencia



**CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.**

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

Av. Vicente Ruso Mz S/N Lote N° 08 - Fundo El Cerrito- Chiclayo, ☎ 978 360 036 – 993 595 300.  
 ✉ [constructora.ayr.chiclayo@gmail.com](mailto:constructora.ayr.chiclayo@gmail.com)

**ENSAYOS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
(NORMA NTP 339.129)

<b>PROYECTO</b>	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBON PARA PAVIMENTOS"	
<b>UBICACIÓN</b>	CHICLAYO - LAMBAYEQUE	
<b>MATERIAL</b>	TERRENO EXISTENTE	<b>RESP. LAB.</b> : R.H.B.C.
<b>SOLICITANTE</b>	ANGHELLA MARIEL NUREÑA ASCENCIO / WILDE DELGADO CARRANZA	<b>TEC. LAB.</b> : L.M.F.H.
		<b>FECHA</b> : 08/06/2022

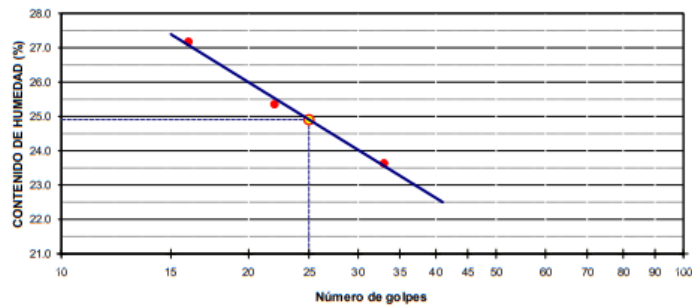
**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>CALICATA</b>	: 3
<b>MUESTRA</b>	: M - 01

**DATOS DE ENSAYO**

LÍMITE LÍQUIDO					
N° TARRO	61	62	7		
TARRO + SUELO HÚMEDO	35.14	40.14	35.08		
TARRO + SUELO SECO	32.24	36.02	31.56		
AGUA	2.90	4.12	3.50		
PESO DEL TARRO	19.97	19.77	18.70		
PESO DEL SUELO SECO	12.27	16.25	12.88		
% DE HUMEDAD	23.63	25.35	27.17		
N° DE GOLPES	33	22	16		
LÍMITE PLÁSTICO					
N° TARRO	25	23			
TARRO + SUELO HÚMEDO	27.61	30.42			
TARRO + SUELO SECO	25.98	28.90			
AGUA	1.63	1.52			
PESO DEL TARRO	18.00	19.23			
PESO DEL SUELO SECO	7.98	9.27			
% DE HUMEDAD	20.43	20.71			
<b>LL :</b>	<b>24.9 %</b>	<b>LP :</b>	<b>20.6 %</b>	<b>IP :</b>	<b>4.3 %</b>

**% DE HUMEDAD A 25 GOLPES**



**Observaciones :** Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.  
 Angella Mariel Nureña Ascencio  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.  
 Wilde Delgado Carranza  
 TÉCNICO DE LABORATORIO





### CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

Av. Vicente Ruso Mz S/N lote N° 08 - Fundo El Cerrillo - Chiclayo, ☎ 978 360 036 - 993 595 300.

✉ [constructora.ayr.chiclayo@gmail.com](mailto:constructora.ayr.chiclayo@gmail.com)

#### ENSAYOS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA (NORMA NTP 339.129)

PROYECTO	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBON PARA PAVIMENTOS"		
UBICACIÓN	CHICLAYO - LAMBAYEQUE		
MATERIAL	TERRENO EXISTENTE	RESP. LAB. :	R.H.B.C.
SOLICITANTE	ANGHELLA MARIEL NUREÑA ASCENCIO / WILDER DELGADO CARRANZA	TEC. LAB. :	L.M.F.H.
		FECHA :	08/06/2022

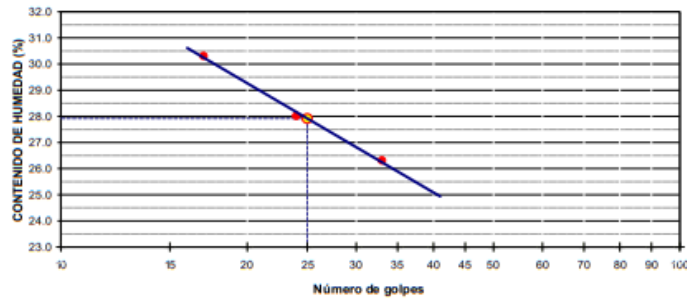
#### DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA	: 4
MUESTRA	: M - 01

#### DATOS DE ENSAYO

LÍMITE LÍQUIDO					
N° TARRRO	41	65	34		
TARRRO + SUELO HÚMEDO	32.62	36.18	32.60		
TARRRO + SUELO SECO	29.63	32.17	29.65		
AGUA	2.99	4.01	2.95		
PESO DEL TARRRO	18.27	17.95	19.92		
PESO DEL SUELO SECO	11.36	14.31	9.73		
% DE HUMEDAD	26.32	28.02	30.32		
N° DE GOLPES	33	24	17		
LÍMITE PLÁSTICO					
N° TARRRO	24	12			
TARRRO + SUELO HÚMEDO	27.34	30.25			
TARRRO + SUELO SECO	25.96	28.82			
AGUA	1.38	1.43			
PESO DEL TARRRO	18.87	21.54			
PESO DEL SUELO SECO	7.09	7.28			
% DE HUMEDAD	19.46	19.64			
LL :	27.9 %	LP :	19.6 %	IP :	8.4 %

#### % DE HUMEDAD A 25 GOLPES




Observaciones : Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.  
Zaiden María Polco Huarcayo  
Ingeniero de Laboratorio

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.  
Wilder Delgado Carranza  
Ingeniero de Laboratorio



- Peso específico relativo de sólidos



**CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.**

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

📍 Av. Vicente Ruso Mz 5/N Lote N° 08 - Fundo El Cerrito - Chiclayo, 📞 978 360 036 - 993 595 300.  
✉ [constructora.ayr.chiclayo@gmail.com](mailto:constructora.ayr.chiclayo@gmail.com)

PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE SÓLIDOS  
(NORMA NTP 339.131)

<b>PROYECTO</b>	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBÓN PARA PAVIMENTOS"		
<b>UBICACIÓN</b>	: CHICLAYO - LAMBAYEQUE		
<b>MATERIAL</b>	: TERRENO EXISTENTE	<b>RESP. LAB.</b> : R.H.B.C.	
<b>SOLICITANTE</b>	: ANGHILLA MARIEL NUREÑA ASCENCIO / WILDE DELGADO CARRANZA	<b>TEC. LAB.</b> : L.M.F.H.	
		<b>FECHA</b> : 08/06/2022	


**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>CALICATA</b>	: 1
<b>MUESTRA</b>	: M - 01


**DATOS DEL ENSAYO**

	MUESTRA		1	2		
1	Temperatura de ensayo Tt (°C)	:	24.7	20.8		
2	Densidad del agua a la temperatura de ensayo $\rho_{w,t}$ (g/mL)	:	0.99712	0.99804		
3	Masa del picnómetro, Mp (g)	:	196.5	195.8		
4	Volumen del picnómetro, Vp (mL)	:	499.8	498.3		
5	Masa del picnómetro + agua + suelo seco, Mpws,t (g)	:	756.9	755.2		
6	Masa del suelo seco, Ms (g)	:	100.0	100.2		
7	Masa del picnómetro + agua, Mpw,t , (3+(4x2)) (g)	:	694.9	693.1		
8	Gravedad específica a la temperatura de ensayo, Gt, (6/((7-(5-6))))	:	2.634	2.628		
9	Factor de corrección por temperatura, K	:	0.9989	0.9998		
10	Gravedad específica a 20°C, (8x9)	:	<b>2.631</b>	<b>2.628</b>		<b>2.63</b>


Observaciones : Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.



Luis María Pulco Hurtado  
TECNICO DE LABORATORIO



Ing. Wilde Delgado Carranza  
TECNICO DE LABORATORIO







## CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

📍 Av. Vicente Ruso Mz S/N Lote N° 08 - Fundo El Cerrito - Chiclayo, 📞 978 360 036 - 993 595 300.

✉️ [constructora.ayr.chiclayo@gmail.com](mailto:constructora.ayr.chiclayo@gmail.com)

### PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE SÓLIDOS (NORMA NTP 339.131)

PROYECTO	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBÓN PARA PAVIMENTOS"		
UBICACIÓN	: CHICLAYO - LAMBAYEQUE		
MATERIAL	: TERRENO EXISTENTE	RESP. LAB. :	R.H.B.C.
SOLICITANTE	: ANGHILLA MARIEL NUREÑA ASCENCIO / WILDER DELGADO CARRANZA	TEC. LAB. :	L.M.F.H.
		FECHA :	08/06/2022

#### DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA	: 2
MUESTRA	: M - 01

#### DATOS DEL ENSAYO

MUESTRA		1	2		
1	Temperatura de ensayo Tt (°C)	: 26.2	23.5		
2	Densidad del agua a la temperatura de ensayo pw,t (g/mL)	: 0.99673	0.99742		
3	Masa del picnómetro, Mp (g)	: 204.2	198.5		
4	Volumen del picnómetro, Vp (mL)	: 499.6	496.8		
5	Masa del picnómetro + agua + suelo seco, Mpws,t (g)	: 764.4	756.6		
6	Masa del suelo seco, Ms (g)	: 100.0	100.2		
7	Masa del picnómetro + agua, Mpw,t (3+(4x2)) (g)	: 702.2	694.0		
8	Gravedad específica a la temperatura de ensayo, Gt, (6/(7-(5-6)))	: 2.648	2.664		
9	Factor de corrección por temperatura, K	: 0.9985	0.9992		
10	Gravedad específica a 20°C, (8x9)	: <b>2.644</b>	<b>2.661</b>		<b>2.65</b>

**Observaciones :** Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.  
*[Firma]*  
Luisa María Palco Hurtado  
TÉCNICO DE LABORATORIO

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA  
*[Firma]*  
Wilder Delgado Carranza  
ING. CIVIL





## CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

📍 Av. Vicente Ruso Mz S/N Lote N° 08 - Fundo El Cerrito- Chiclayo. 📞 978 360 036 - 993 595 300.

✉️ [constructora.ayr.chiclayo@gmail.com](mailto:constructora.ayr.chiclayo@gmail.com)

### PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE SÓLIDOS (NORMA NTP 339.131)

PROYECTO	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBÓN PARA PAVIMENTOS"		
UBICACIÓN	: CHICLAYO - LAMBAYEQUE		
MATERIAL	: TERRENO EXISTENTE	RESP. LAB. :	R.H.B.C.
SOLICITANTE	: ANGHILLA MARIEL NUREÑA ASCENCIO / WILDE DELGADO CARRANZA	TEC. LAB. :	L.M.F.H.
		FECHA :	08/06/2022

#### DATOS DE LA MUESTRA

CAUCATA : 3  
MUESTRA : M - 01

#### DATOS DEL ENSAYO

MUESTRA			1	2	
1	Temperatura de ensayo Tt (°C)	:	26.5	23.4	
2	Densidad del agua a la temperatura de ensayo pw,t (g/mL)	:	0.99665	0.99745	
3	Masa del picnómetro, Mp (g)	:	196.5	195.4	
4	Volumen del picnómetro, Vp (mL)	:	499.8	497.5	
5	Masa del picnómetro + agua + suelo seco, Mpws,t (g)	:	756.5	753.5	
6	Masa del suelo seco, Ms (g)	:	100.0	99.8	
7	Masa del picnómetro + agua, Mpw,t , (3+(4x2)) (g)	:	694.6	691.6	
8	Gravedad específica a la temperatura de ensayo, Gt, (6/(7-(5-6)))	:	2.623	2.631	
9	Factor de corrección por temperatura, K	:	0.9984	0.9992	
10	Gravedad específica a 20°C, (8x9)	:	<b>2.619</b>	<b>2.629</b>	<b>2.62</b>

Observaciones : Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

*Luisa María Paico Hurtado*  
Luisa María Paico Hurtado  
TÉCNICO DE LABORATORIO

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.  
Ingeniería de Obras Civiles  
CALLE 2A N° 1111





## CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

📍 Av. Vicente Ruso Mz S/N Lote N° 08 - Fundo B Cerillo- Chiclayo, 📞 978 360 036 – 993 595 300.

✉ [constructora.ayr.chiclayo@gmail.com](mailto:constructora.ayr.chiclayo@gmail.com)

### PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE SÓLIDOS (NORMA NTP 339.131)

PROYECTO	*ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBÓN PARA PAVIMENTOS*		
UBICACIÓN	: CHICLAYO - LAMBAYEQUE		
MATERIAL	: TERRENO EXISTENTE	RESP. LAB. :	R.H.B.C.
SOLICITANTE	: ANGHIELLA MARIEL NUREÑA ASCENCIO / WILDER DELGADO CARRANZA	TEC. LAB. :	L.M.F.H.
		FECHA :	08/06/2022

#### DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA	: 4
MUESTRA	: M - 01

#### DATOS DEL ENSAYO

MUESTRA		1	2		
1	Temperatura de ensayo Tt (°C)	: 24.5	27.0		
2	Densidad del agua a la temperatura de ensayo pw,t (g/mL)	: 0.99717	0.99652		
3	Masa del picnómetro, Mp (g)	: 196.5	198.4		
4	Volumen del picnómetro, Vp (mL)	: 499.8	500.1		
5	Masa del picnómetro + agua + suelo seco, Mpws,t (g)	: 756.6	758.5		
6	Masa del suelo seco, Ms (g)	: 100.1	99.8		
7	Masa del picnómetro + agua, Mpw,t (3+(4x2)) (g)	: 694.9	696.8		
8	Gravedad específica a la temperatura de ensayo, Gt, (6/(7-(5-6)))	: 2.608	2.622		
9	Factor de corrección por temperatura, K	: 0.9990	0.9983		
10	Gravedad específica a 20°C, (8x9)	: <b>2.605</b>	<b>2.618</b>		<b>2.61</b>


Observaciones : Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.  
*Luisa María Jalco Hurtado*  
TÉCNICO DE LABORATORIO

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.  
Ingeniero en Geotecnia  
WILDER DELGADO CARRANZA



- Ensayo Proctor Modificado



**CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.**

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

📍 Av. Vicente Ruso Mz S/N Lote N° 08 - Fundo El Cerrillo- Chiclayo, 📞 978 360 036 – 993 595 300.  
✉ [constructora.ayr.chiclayo@gmail.com](mailto:constructora.ayr.chiclayo@gmail.com)

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO  
(NORMA ASTM D-1557, NTP 339.141, MTC E - 115)

**PROYECTO** : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBÓN PARA PAVIMENTOS"

**UBICACIÓN** : CHICLAYO - LAMBAYEQUE

**MATERIAL** : TERRENO EXISTENTE **RESP. LAB.:** R.H.B.C.

**SOLICITANTE** : ANGHELLA MARIEL NUREÑA ASCENCO / WILDE DELGADO CARRANZ **TEC. LAB.:** L.M.F.H.

**FECHA:** 08/06/2022

**DATOS DEL ENSAYO**

**CALICATA** : 1

**MUESTRA** : M - 01

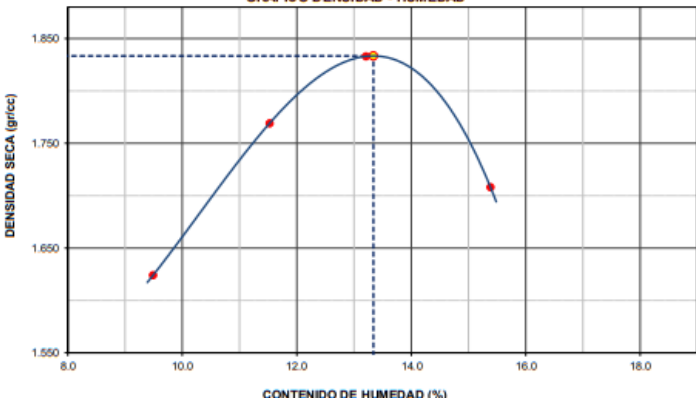
**DATOS DE ENSAYO**

DENSIDAD VOLUMETRICA						
VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	PESO DEL MOLDE (gr.)				METODO	"C"
2116	1	2	3	4		
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4		
PESO SUELO + MOLDE	10514	10925	11141	10921		
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	3763	4174	4390	4170		
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	1.778	1.973	2.075	1.971		

CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE No.	1	2	3	4	
PESO SUELO HUMEDO + TARA	300.0	300.0	300.0	300.0	
PESO SUELOS SECO + TARA	274.0	269.0	265.0	260.0	
PESO DE LA TARA					
PESO DE AGUA	26.0	31.0	35.0	40.0	
PESO DE SUELO SECO	274.0	269.0	265.0	260.0	
CONTENIDO DE AGUA	9.49	11.52	13.21	15.38	
PESO VOLUMETRICO SECO	1.624	1.769	1.833	1.708	

**DENSIDAD MAXIMA SECA:** 1.833 gr/cm<sup>3</sup>      **HUMEDAD OPTIMA:** 13.34 %

**GRAFICO DENSIDAD - HUMEDAD**



The graph plots Dry Density (gr/cc) on the y-axis (ranging from 1.550 to 1.850) against Moisture Content (%) on the x-axis (ranging from 8.0 to 18.0). A smooth curve is drawn through four data points, with a peak at approximately 1.833 gr/cc and 13.34% moisture content. Dashed lines indicate the peak values.

**Observaciones :** Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

*Angella Nureña Ascenco*

**Angella Nureña Ascenco**


TECNICO DE LABORATORIO

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

*Wilde Delgado Carranza*

**Wilde Delgado Carranza**

INGENIERO EN GEOTECNIA



L.E.M. CHICLAYO



## CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

Av. Vicente Ruso Mz 5/N Lote N° 08 - Fundo El Cerrito - Chiclayo, ☎ 978 360 036 - 993 595 300.

✉ [constructora.ayr.chiclayo@gmail.com](mailto:constructora.ayr.chiclayo@gmail.com)

### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (NORMA ASTM D-1557, NTP 339.141, MTC E - 115)

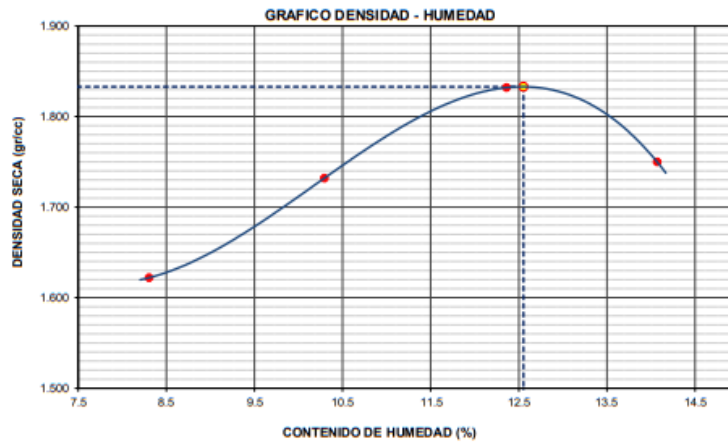
PROYECTO	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBON PARA PAVIMENTOS"		
UBICACIÓN	CHICLAYO - LAMBAYEQUE		
MATERIAL	TERRENO EXISTENTE	RESP. LAB.:	R.H.B.C.
SOLICITANTE	ANGHELLA MARIEL NUREÑA ASCENCIO / WILDER DELGADO CARRAN	TEC. LAB.:	L.M.F.H.
		FECHA:	08/08/2022

#### DATOS DEL ENSAYO

CALICATA	: 2
MUESTRA	: M - 01

#### DATOS DE ENSAYO

DENSIDAD VOLUMETRICA						
VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	PESO DEL MOLDE (gr.)				METODO	"G"
2116	1	2	3	4		
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4		
PESO SUELO + MOLDE	10467	10793	11106	10976		
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	3716	4042	4355	4225		
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	1.756	1.910	2.058	1.997		
CONTENIDO DE HUMEDAD						
RECIPIENTE No.	1	2	3	4		
PESO SUELO HUMEDO + TARA	300.0	300.0	300.0	300.0		
PESO SUELOS SECO + TARA	277.0	272.0	267.0	263.0		
PESO DE LA TARA						
PESO DE AGUA	23.0	28.0	33.0	37.0		
PESO DE SUELO SECO	277.0	272.0	267.0	263.0		
CONTENIDO DE AGUA	8.30	10.29	12.36	14.07		
PESO VOLUMETRICO SECO	1.622	1.732	1.832	1.750		
<b>DENSIDAD MAXIMA SECA:</b>	<b>1.833</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>	<b>HUMEDAD OPTIMA:</b>	<b>12.55</b>	<b>%</b>	



Observaciones : Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.  
Luisa María Palco Huertas  
TECNICO DE LABORATORIO

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.  
Luisa María Palco Huertas  
INGENIERO DE MATERIALES





## CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

Av. Vicente Ruso Mz 5/N Lote N° 08 - Fundo El Cerrito - Chiclayo, ☎ 978 360 036 - 993 595 300.  
 ✉ [constructora.gyr.chiclayo@gmail.com](mailto:constructora.gyr.chiclayo@gmail.com)

### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (NORMA ASTM D-1557, NTP 339.141, MTC E - 115)

<b>PROYECTO</b>	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBON PARA PAVIMENTOS"		
<b>UBICACIÓN</b>	CHICLAYO - LAMBAYEQUE		
<b>MATERIAL</b>	TERRENO EXISTENTE	<b>RESP. LAB.:</b>	R.H.B.C.
<b>SOLICITANTE</b>	ANGHELLA MARIEL NUREÑA ASCENCIO / WILDE DELGADO CARRANZ.	<b>TEC. LAB.:</b>	L.M.F.H.
		<b>FECHA:</b>	08/06/2022

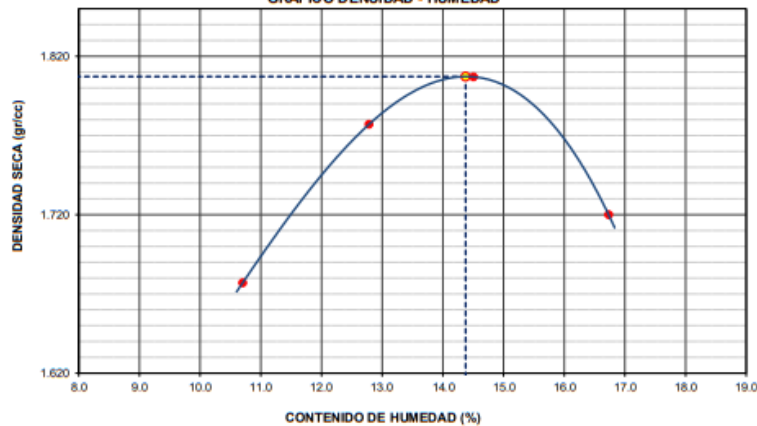
#### DATOS DEL ENSAYO

**CALICATA** : 3  
**MUESTRA** : M - 01

#### DATOS DE ENSAYO

DENSIDAD VOLUMETRICA						
VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	PESO DEL MOLDE (gr.)				METODO	"C"
2119	1	2	3	4		
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4		
PESO SUELO + MOLDE	10569	10882	11020	10890		
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	3933	4246	4384	4254		
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	1.856	2.004	2.069	2.008		
CONTENIDO DE HUMEDAD						
RECIPIENTE No.	1	2	3	4		
PESO SUELO HUMEDO + TARA	300.0	300.0	300.0	300.0		
PESO SUELOS SECO + TARA	271.0	266.0	262.0	257.0		
PESO DE LA TARA						
PESO DE AGUA	29.0	34.0	38.0	43.0		
PESO DE SUELO SECO	271.0	266.0	262.0	257.0		
CONTENIDO DE AGUA	10.70	12.78	14.50	16.73		
PESO VOLUMETRICO SECO	1.677	1.777	1.807	1.720		
<b>DENSIDAD MAXIMA SECA:</b>	<b>1.807 gr/cm<sup>3</sup></b>			<b>HUMEDAD OPTIMA:</b>		<b>14.38 %</b>

GRAFICO DENSIDAD - HUMEDAD



**Observaciones:** Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.  
 Ing. Luis Mario Palco Hurtado  
 TECNICO DE LABORATORIO

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.  
 Ing. Wilde Delgado Carranza  
 TECNICO DE LABORATORIO





## CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

Av. Vicente Ruso Mz S/N Lote N° 08 - Fundo El Cerillo- Chiclayo, ☎ 978 340 036 - 993 595 300.

✉ [constructora.ayr.chiclayo@gmail.com](mailto:constructora.ayr.chiclayo@gmail.com)

### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (NORMA ASTM D-1557, NTP 339.141, MTC E - 115)

<b>PROYECTO</b>	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBÓN PARA PAVIMENTOS"		
<b>UBICACIÓN</b>	CHICLAYO - LAMBAYEQUE		
<b>MATERIAL</b>	TERRENO EXISTENTE	<b>RESP. LAB. :</b>	R.H.B.C.
<b>SOLICITANTE</b>	ANGHELLA MARIEL NURÑA ASCENCIO / WILDER DELGADO CARRANZA	<b>TEC. LAB. :</b>	L.M.F.H.
		<b>FECHA :</b>	08/06/2022

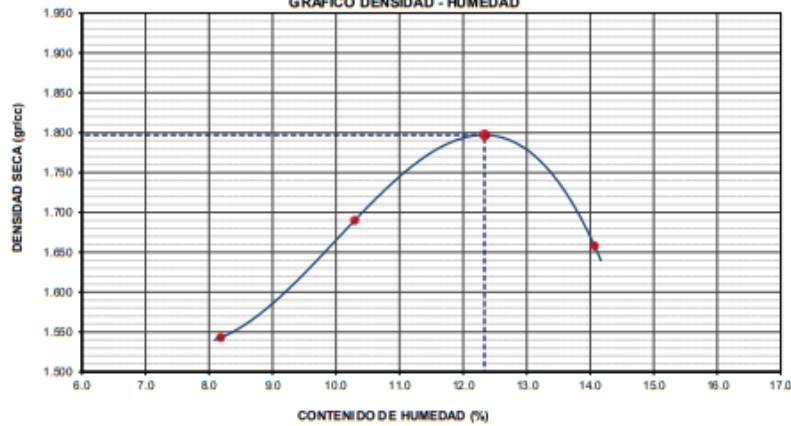
#### DATOS DEL ENSAYO

<b>CALICATA</b>	: 4
<b>MUESTRA</b>	: M - 01

#### DATOS DE ENSAYO

DENSIDAD VOLUMETRICA					
VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	PESO DEL MOLDE (gr.) :			METODO	"C"
2196	6751	6751	6751	4	
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4	
PESO SUELO + MOLDE	10283	10694	11024	10792	
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	3532	3943	4273	4001	
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	1.609	1.803	2.019	1.891	
CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE No.	1	2	3	4	
PESO SUELO HUMEDO + TARA	300.0	300.0	300.0	300.0	
PESO SUELOS SECO + TARA	277.3	272.0	267.0	263.0	
PESO DE LA TARA					
PESO DE AGUA	22.7	28.0	33.0	37.0	
PESO DE SUELO SECO	277.3	272.0	267.0	263.0	
CONTENIDO DE AGUA	8.19	10.29	12.36	14.07	
PESO VOLUMETRICO SECO	1.543	1.890	1.797	1.698	
<b>DENSIDAD MAXIMA SECA:</b>	1.797	gr/cm <sup>3</sup>	<b>HUMEDAD OPTIMA:</b>	12.34	%

GRAFICO DENSIDAD - HUMEDAD




**Observaciones :** Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.  
*(Signature)*  
 Ingeniero María Palco Hurtado  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.  
*(Signature)*  
 Ingeniero WILDER DELGADO CARRANZA  
 TÉCNICO DE LABORATORIO



- California Bearing Ratio (CBR)



**CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.**

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

▲ Av. Vicente Ruso Mz S/N Lote N° 08 - Fundo El Cerro - Chiclayo, ☎ 978 360 036 - 993 595 300.  
✉ [constructora.ayr.chiclayo@gmail.com](mailto:constructora.ayr.chiclayo@gmail.com)

---

**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)**  
(NORMA MTC E 132)

<b>PROYECTO</b>	ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBON PARA PAVIMENTO S'				
<b>UBICACIÓN</b>	CHICLAYO - LAMBAYEQUE				
<b>MATERIAL</b>	TERRENO EXISTENTE				
<b>SOLICITANTE</b>	ANGHELLA MARIEL NUREÑA ASCENCIO / WILDE DELGADO CARRANZA			<b>RESP. LAB.:</b>	R.H.B.C.
				<b>TEC. LAB.:</b>	L.M.F.H.
				<b>FECHA:</b>	08/08/2022

---

**DATOS DEL ENSAYO**

<b>CALICATA</b>	: 1
<b>MUESTRA</b>	: M - 01

---

**DATOS DE ENSAYO**

DENSIDAD VOLUMETRICA						
N° DE MOLDE	7		11		17	
N° CAPA	5		5		5	
GÓLPE POR CAPA*	99		25		12	
COND. DE LA MUESTRA	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
PESO MOLDE + SUELO HÚMEDO	1266	1308	1292	1267	11667	11914
PESO MOLDE	8592	8592	8299	8299	7645	7645
PESO DEL SUELO HÚMEDO	4364	4416	463	438	4042	4269
VOLUMEN DEL MOLDE	2106	2106	2134	2134	2112	2112
DENSIDAD HUMEDA	2.072	2.097	1.998	2.056	1.914	2.021
% DE HUMEDAD	13.64	15.65	13.85	17.19	13.51	16.52
DENSIDAD SECA	1.823	1.813	1.795	1.754	1.698	1.691

---

CONTENIDO DE HUMEDAD						
N° DE TARRO	-		-		-	
TARRO + SUELO HÚMEDO ( GR.	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0
TARRO + SUELO SECO	264.0	258.4	263.5	256.0	264.3	261.0
PESO DEL AGUA	36.0	41.6	36.5	44.0	35.7	49.0
PESO DEL TARRO	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0
PESO DEL SUELO SECO	264.0	258.4	263.5	256.0	264.3	261.0
% DE HUMEDAD	13.64	15.65	13.85	17.19	13.51	16.52

---

**EXPANSION**


FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	EXPANSION			EXPANSION			EXPANSION		
			DIAL	mm	%	DIAL	mm	%	DIAL	mm	%
09/09/22	14:30	0	0.0	2.6	2.3	0.0	2.7	2.3	0.0	2.7	2.4
09/09/22	14:30	22	49.0	2.75	2.4	64.0	2.94	2.5	80.0	2.81	2.4
10/09/22	14:30	42	67.0	2.81	2.4	76.0	2.93	2.5	95.0	2.92	2.5
11/09/22	14:30	65	84.0	2.89	2.5	89.0	2.99	2.6	110.0	3.05	2.7
12/09/22	14:30	95	95.0	2.97	2.6	106.0	3.14	2.7	122.0	3.25	2.8

---


**PENETRACION**

PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N° 7				MOLDE N° 11				MOLDE N° 17			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0.0	0			0.0	0			0.0	0		
0.025		61.6	3			40.0	2			19.0	1		
0.050		152.3	6			106.8	5			67.0	3		
0.075		221.9	11			151.8	8			124.0	6		
0.100	70.3	295.7	15	7.1	10.1	235.0	12	5.2	7.4	153.0	8	3.9	5.5
0.125		304.8	15			251.0	13			184.0	9		
0.150		348.4	18			298.8	15			204.0	10		
0.200	105.5	474.6	24	18.8	17.8	329.2	17	14.4	13.7	242.8	12	10.5	9.9
0.300		521.0	26			359.0	18			275.0	14		
0.400		591.0	30			392.0	20			308.0	16		
0.500													


**Observaciones:** Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.



Luis Mario Polo Hantado  
TECNICO "A" LABORATORIO



ANGHELLA MARIEL NUREÑA ASCENCIO  
INGENIERA EN GEOTECNIA



L.E.M. CHICLAYO





## CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

Av. Vicente Ruso Mz 5/N Lote N° 08 - Fundo El Cerro - Chiclayo. ☎ 978 340 034 - 993 595 300.

✉ [constructora.yr.chiclayo@gmail.com](mailto:constructora.yr.chiclayo@gmail.com)

### CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) (NORMA MTC E 132.1)

<b>PROYECTO</b>	*ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBÓN PARA PAVIMENTOS*		
<b>UBICACIÓN</b>	CHICLAYO - LAMBAYEQUE		
<b>MATERIAL</b>	TERRENO EXISTENTE		
<b>SOLICITANTE</b>	ANGHELLA MARIEL NUREÑA ASCENCIO / WILDER DELGADO CARRANZA		
	<b>RESP. LAB.:</b>	R.H.B.C.	
	<b>TEC. LAB.:</b>	L.M.F.H.	
	<b>FECHA:</b>	08/08/2022	

#### DATOS DEL ENSAYO

<b>CALICATA</b>	: 2
<b>MUESTRA</b>	: M - 01

#### DATOS DEL ENSAYO

DENSIDAD VOLUMÉTRICA						
N° DE MOLDE	6		9		11	
N° CAPA	5		5		5	
GOLPES POR CAPA*	99		25		12	
COND. DE LA MUESTRA	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
PESO MOLDE + SUELO HÚMEDO	1302.2	130.85	11315	1140.3	12359	12528
PESO DE MOLDE	8591	8591	7545	7145	8259	8259
PESO DEL SUELO HÚMEDO	4431	4494	4170	4288	4000	4229
VOLUMEN DEL MOLDE	2158	2158	2105	2105	2134	2134
DENSIDAD HÚMEDA	2.053	2.082	1.981	2.037	1.903	1.982
% DE HÚMEDAD	12.36	14.59	12.78	16.60	12.82	18.30
DENSIDAD SECA	1.827	1.817	1.757	1.747	1.687	1.677
CONTENIDO DE HUMEDAD						
N° DE TARRO	-	-	-	-	-	-
TARRO + SUELO HÚMEDO (GR)	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0
TARRO + SUELO SECO	267.0	261.8	266.0	257.3	265.9	253.8
PESO DEL AGUA	33.0	38.2	34.0	42.7	34.1	46.2
PESO DEL TARRO						
PESO DEL SUELO SECO	267.0	261.8	266.0	257.3	265.9	253.8
% DE HUMEDAD	12.36	14.59	12.78	16.60	12.82	18.30

#### EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO H.	EXPANSION			EXPANSION			EXPANSION		
			DIAL	mm	%	DIAL	mm	%	DIAL	mm	%
08/08/22	14:30	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
09/08/22	14:30	22	62.0	1.57	1.4	72.0	1.83	1.6	81.0	2.06	1.8
10/08/22	14:30	42	78.0	1.98	1.7	85.0	2.16	1.9	90.0	2.44	2.1
11/08/22	14:30	65	91.0	2.31	2.0	101.0	2.57	2.2	112.0	2.84	2.5
12/08/22	14:30	95	102.0	2.59	2.2	110.0	2.79	2.4	133.0	3.38	2.9

#### PENETRACION

PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N° 6				MOLDE N° 9				MOLDE N° 11			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0.0	0			0.0	0			0.0	0		
0.025		27.2	1			24.8	1			12.8	1		
0.050		61.1	3			50.4	3			30.7	2		
0.075		107.3	5			83.6	4			44.9	2		
0.100	70.3	153.7	8	6.5	9.3	109.2	6	4.9	6.9	73.6	4	3.6	5.2
0.125		194.0	10			130.6	7			80.3	4		
0.150		225.4	11			158.0	8			94.5	5		
0.200	105.5	271.0	14	13.5	12.8	195.6	10	9.6	9.1	138.5	7	7.2	6.8
0.300		394.3	20			266.0	13			188.8	9		
0.400		473.3	24			351.6	18			224.3	11		
0.500													

Observaciones : Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.  
Luis Alberto Valle Morales  
Ingeniero de Laboratorio

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.  
Ingeniero de Laboratorio





## CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

Av. Vicente Riso Maz S/N lote N° 08 - Fundo El Cerro - Chiclayo, ☎ 978 340 036 - 993 595 300.

✉ [constructora.ayr.chiclayo@gmail.com](mailto:constructora.ayr.chiclayo@gmail.com)

### CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

(NORMA MTC E 132)

PROYECTO	*ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBÓN PARA PAVIMENTOS*		
UBICACIÓN	CHICLAYO - LAMBAYEQUE		
MATERIAL	TERRENO EXISTENTE		
SOLICITANTE	ANGHELLA MARIEL NUREÑA ASCENCIO / WILDE DELGADO CARRANZA		
	RESP. LAB.:	R.H.B.C.	
	TEC. LAB.:	L.M.F.H.	
	FECHA:	08/08/2022	

#### DATOS DEL ENSAYO

CALICATA	: 3
MUESTRA	: M - 01

#### DATOS DE ENSAYO

DENSIDAD VOLUMÉTRICA						
N° DE MOLDE	3		9		15	
N° CAPA	5		5		5	
GOLPES POR CAPA*	96		25		12	
COND. DE LA MUESTRA	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
PESO MOLDE + SUELO HÚMEDO	1254.7	121.86	11325	1543.2	11633	11985
PESO DE MOLDE	78.71	7.871	714.5	71.45	757.6	75.76
PESO DEL SUELO HÚMEDO	42.76	4.315	418.0	42.87	435.7	428.9
VOLUMEN DEL MOLDE	20.70	2.070	210.5	21.05	212.3	212.3
DENSIDAD HÚMEDA	2.066	2.085	1.986	2.037	1.911	2.020
% DE HUMEDAD	14.50	16.28	14.42	18.11	14.64	20.48
DENSIDAD SECA	1.804	1.793	1.738	1.725	1.667	1.677
CONTENIDO DE HUMEDAD						
N° DE TARRO	-	-	-	-	-	-
TARRO + SUELO HÚMEDO (GR)	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0
TARRO + SUELO SECO	262.0	268.0	262.2	254.0	261.7	249.0
PESO DEL AGUA	38.0	42.0	37.8	46.0	38.3	51.0
PESO DEL TARRO						
PESO DEL SUELO SECO	262.0	258.0	262.2	254.0	261.7	249.0
% DE HUMEDAD	14.50	16.28	14.42	18.11	14.64	20.48

EXPANSION												
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	EXPANSION			EXPANSION			EXPANSION			
			DIAL	mm	%	DIAL	mm	%	DIAL	mm	%	
08/08/22	14:30	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
09/08/22	14:30	22	63.0	1.60	1.4	73.0	1.85	1.6	86.0	2.18	1.9	
10/08/22	14:30	42	74.0	1.88	1.6	86.0	2.18	1.9	92.0	2.34	2.0	
11/08/22	14:30	65	92.0	2.34	2.0	104.0	2.64	2.3	116.0	2.95	2.6	
12/08/22	14:30	95	98.0	2.49	2.2	111.0	2.82	2.4	126.0	3.20	2.8	

PENETRACION													
PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N° 3				MOLDE N° 9				MOLDE N° 15			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0.0	0			0.0	0			0.0	0		
0.025		42.8	2			24.7	1			12.6	1		
0.050		61.2	3			43.0	2			31.0	2		
0.075		76.9	4			60.0	3			42.0	2		
0.100	70.3	83.9	4	4.2	6.0	73.0	4	2.9	4.1	58.0	3	1.9	2.7
0.125		101.7	5			82.0	4			71.0	4		
0.150		122.5	6			97.0	5			82.0	4		
0.200	105.6	167.8	9	7.6	7.2	130.5	7	5.7	5.4	102.2	5	4.5	4.3
0.300		192.4	9			152.0	8			134.0	7		
0.400		212.0	11			172.0	9			152.0	8		
0.500													

Observaciones: Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

Juan María Páez Barboza  
INGENIERO EN GEOTECNIA  
MTC N° 10000000000000000000

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.  
INGENIERO EN GEOTECNIA  
MTC N° 10000000000000000000





## CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

Av. Vicente Riso Maz N° 08 - Fundo El Cerro - Chiclayo. ☎ 978 340 036 - 993 595 300.

✉ [constructora.ar.chiclayo@gmail.com](mailto:constructora.ar.chiclayo@gmail.com)

### CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

(NORMA MTC E 512)

PROYECTO	* ESTABILIZACIÓN DE SUELOS AROLLOSOS UTILIZANDO GENZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y GENZAS DE CARBON PARA "PAVIMENTOS"		
UBICACIÓN	CHICLAYO - LAMBAYEQUE		
MATERIAL	TERRENO EXISTENTE		
SOLICITANTE	ANGHELLA MARIEL NUREÑA ASCENCIO / WILDER DELGADO CARRANZA		RESP. LAB.: R.H.B.C. TEC. LAB.: L.M.F.H. FECHA: 08/06/2022

#### DATOS DEL ENSAYO

CALICATA	: 4
MUESTRA	: M - 01

#### DATOS DE ENSAYO

DENSIDAD VOLUMÉTRICA						
N° DE MOLDE	5		8		12	
	5		5		5	
N° CAPA	56		25		12	
GOLPES POR CAPA N°	56		25		12	
COND. DE LA MUESTRA	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO	11295	11352	11858	11976	11942	12016
PESO MOLDE	6994	6994	7741	7741	8045	8045
PESO DEL SUELO HUMEDO	4311	4368	4117	4235	3797	3971
VOLUMEN DEL MOLDE	2122	2122	2115	2115	2025	2025
DENSIDAD HUMEDA	2.032	2.059	1.947	2.002	1.875	1.961
% DE HUMEDAD	12.87	14.94	12.19	16.19	12.78	18.62
DENSIDAD SECA	1.800	1.790	1.735	1.723	1.693	1.653
CONTENIDO DE HUMEDAD						
N° DE TARRO	-	-	-	-	-	-
TARRO + SUELO HUMEDO (GR)	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0
TARRO + SUELO SECO	295.8	261.0	267.4	258.2	266.0	252.9
PESO DEL AGUA	34.2	39.0	32.6	41.8	34.0	47.1
PESO DEL TARRO	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0
PESO DEL SUELO SECO	295.8	261.0	267.4	258.2	266.0	252.9
% DE HUMEDAD	12.87	14.94	12.19	16.19	12.78	18.62

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO H.	EXPANSION			EXPANSION			EXPANSION		
			DIAL	mm	%	DIAL	mm	%	DIAL	mm	%
09/06/22	14:30	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
09/06/22	14:30	22	95.0	1.40	1.2	98.0	1.58	1.5	78.0	1.98	1.7
10/06/22	14:30	42	82.0	1.57	1.4	79.0	2.01	1.7	85.0	2.18	1.9
11/06/22	14:30	65	86.0	2.18	1.9	98.0	2.49	2.2	114.0	2.90	2.5
12/06/22	14:30	95	91.0	2.31	2.0	112.0	2.94	2.5	136.0	3.45	3.0

PENETRACION													
PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N° 5				MOLDE N° 8				MOLDE N° 12			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0.0	0			0.0	0			0.0	0		
0.025		29.2	1			16.2	1			8.0	0		
0.050		52.7	3			27.0	1			11.0	1		
0.075		74.2	4			52.0	3			26.0	1		
0.100		79.3	5	5.4	7.7	71.0	4	3.7	5.3	48.0	2	3.0	4.3
0.125		124.3	6			91.0	5			67.0	3		
0.150		148.2	8			117.0	6			88.0	4		
0.200	105.5	202.1	10	10.1	9.6	132.0	7	7.2	6.8	92.0	5	5.8	5.5
0.300		228.0	12			193.0	10			135.0	7		
0.400		272.3	14			225.0	11			166.0	9		
0.500													


Observaciones : Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.  
 Ing. Wilder Delgado Carranza  
 TECNICO DE LABORATORIO


CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.  
 Ing. R.H.B.C.  
 TECNICO DE LABORATORIO




- Cuadro Resumen con los diferentes ensayos realizados a la muestra patrón y tratada – Temperatura 450°

 <b>CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&amp;R S.A.C.</b> - Elaboración de Expedientes Técnicos. - Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras. - Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales. - Estudios Topográficos. Av. Vicente Russo M15/N Lote N° 08 - Fundo B Cerro- Chiclayo. ☎ 978 310 034 - 993 595 300. ✉ <a href="mailto:construclara.ar.chiclayo@gmail.com">construclara.ar.chiclayo@gmail.com</a>																	
CUADRO RESUMEN																	
"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBÓN PARA PAVIMENTOS"																	
TEMPERATURA (°C)	INCORPORACIÓN	CALICATA	MUESTRA	% INCORPORADO	HUMEDAD NATURAL	GRANULOMETRIA		CLASIFICACION		LIMITES			GRAVEDAD ESPECIFICA	PROCTOR		CBR	
						PASA N°4	PASA N°200	AASHTO	SUCS	L.L. (%)	LP. (%)	LP. (%)		DENSIDAD MÁXIMA	HUMEDAD ÓPTIMA	95%	100%
-	MUESTRA NATURAL	C-01	M-01	-	8.7	99.6	55.2	A-4(5)	CL - ML	26.7	21.5	5.2	2.63	1.83	13.34	6.99	10.08
		C-02	M-01	-	9.6	98.6	50.7	A-4(3)	CL	28.7	21.4	7.3	2.65	1.83	12.55	6.50	9.29
		C-03	M-01	-	5.7	99.3	50.0	A-4(3)	CL - ML	24.9	20.6	4.3	2.62	1.81	14.38	3.67	5.98
		C-04	M-01	-	5.4	99.6	61.5	A-4(6)	CL	27.9	19.6	8.4	2.61	1.80	12.3	4.88	7.66
450°	CENIZA DE CARBÓN	C-01	M-01	2.5%	5.5	100.0	52.2	A-4(4)	ML	24.8	22.4	2.4	2.63	1.84	13.04	20.2	29.17
				5%	4.7	99.9	51.8	A-4(4)	ML	22.8	20.7	2.1	2.61	1.81	13.80	25.43	30.66
				10%	3.9	99.8	51.1	A-4(4)	ML	20.0	18.1	1.9	2.62	1.79	14.38	22.88	29.14
				15%	2.7	99.7	55.4	A-4(5)	ML	20.2	18.8	1.4	2.63	1.80	12.35	20.40	27.14
		C-02	M-01	2.5%	4.9	99.6	50.6	A-4(3)	ML	21.0	19.8	1.2	2.62	1.83	11.1	20.5	28.25
				5%	4.8	99.6	52.4	A-4(4)	ML	20.1	18.1	2.1	2.63	1.81	12.25	22.73	30.95
				10%	4.5	99.5	50.4	A-4(3)	ML	18.2	16.7	1.4	2.62	1.84	10.49	15.84	24.48
		C-03	M-01	15%	4.4	99.5	50.6	A-4(3)	ML	18.0	16.9	1.1	2.63	1.80	11.45	16.73	21.33
				2.5%	7.5	99.5	50.1	A-4(3)	ML	23.6	20.1	3.5	2.65	1.86	11.8	19.13	26.79
				5%	6.4	99.3	51.8	A-4(4)	ML	24.6	21.4	3.1	2.61	1.85	15.62	25.04	29.88
		C-04	M-01	10%	5.5	99.4	50.1	A-4(3)	ML	25.3	22.5	2.8	2.63	1.84	16.56	15.60	22.61
				15%	4.6	99.3	50.2	A-4(3)	ML	26.4	24.1	2.3	2.61	1.83	17.01	14.47	19.84
	2.5%			6.4	98.0	50.1	A-4(3)	ML	24.0	20.6	3.4	2.69	1.89	11.6	18.3	24.21	
	CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ	C-01	M-01	5%	5.6	98.96	53.4	A-4(4)	ML	22.7	19.8	2.9	2.69	1.88	11.51	18.83	26.03
				10%	4.9	97.2	54.3	A-4(4)	ML	21.9	19.6	2.3	2.67	1.86	12.36	14.69	20.17
				15%	3.4	97.3	50.3	A-4(3)	ML	17.9	15.1	2.8	2.64	1.86	12.42	12.79	17.95
				2.5%	6.2	99.8	54.7	A-4(A-4)	ML	27.4	23.5	3.9	2.66	1.83	13.6	11.4	16.37
		C-02	M-01	5%	7.4	99.5	50.6	A-4(3)	ML	26.0	22.3	3.6	2.63	1.83	14.39	12.77	18.33
				10%	7.8	99.40	62.1	A-4(6)	ML	25.7	22.4	3.3	2.62	1.70	17.44	16.68	21.55
				15%	8.0	98.26	63.2	A-4(6)	ML	22.3	20.8	1.5	2.63	1.67	15.62	27.15	34.54
		C-03	M-01	2.5%	8.1	99.4	50.0	A-4(3)	ML	26.9	23.2	3.8	2.63	1.78	11.2	18.62	24.17
				5%	7.8	99.1	50.9	A-4(3)	ML	26.2	21.7	4.4	2.66	1.75	11.87	20.19	25.52
				10%	7.3	99.4	52.0	A-4(4)	ML	25.0	21.6	3.3	2.64	1.72	12.92	21.02	27.74
		C-04	M-01	15%	4.6	99.1	50.0	A-4(3)	ML	24.1	22.4	1.7	2.61	1.61	12.72	22.40	31.58
2.5%				6.2	99.78	54.7	A-4(4)	ML	27.4	23.4	4.0	2.67	1.82	13.57	19.11	24.97	
5%	7.3			98.8	50.2	A-4(3)	ML	26.5	23.5	2.9	2.64	1.79	15.1	20.4	26.25		
10%	7.5			99.3	52.5	A-4(4)	ML	25.0	22.4	2.6	2.61	1.78	16.56	20.31	28.29		
C-04	M-01	15%	6.6	98.32	51.2	A-4(4)	ML	25.0	23.2	1.8	2.67	1.76	16.22	21.63	30.47		
		2.5%	5.5	98.32	50.6	A-4(3)	ML	26.2	22.3	4.0	2.72	1.80	13.31	14.44	20.27		
		5%	4.4	98.6	50.3	A-4(3)	ML	25.2	21.3	3.9	2.73	1.82	12.6	15.4	21.56		
		10%	2.5	97.9	50.0	A-4(3)	ML	25.6	23.5	2.1	2.75	1.82	9.81	12.24	23.97		
15%	2.1	97.48	53.6	A-4(4)	ML	24.9	23.0	1.8	2.77	1.84	8.64	15.97	25.19				

- Cuadro Resumen con los diferentes ensayos realizados a la muestra patrón y tratada – Temperatura 550°

 <b>CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&amp;R S.A.C.</b> - Elaboración de Expedientes Técnicos. - Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras. - Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales. - Estudios Topográficos. Av. Vicente Riso Ma S/N lote N° 08 - Fundo B Centro- Chiclayo, 978 340034 - 993 595 300. <a href="mailto:constructora.ayr.chiclayo@gmail.com">constructora.ayr.chiclayo@gmail.com</a>																	
CUADRO RESUMEN																	
"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBÓN PARA PAVIMENTOS"																	
TEMPERATURA (°C)	INCORPORACIÓN	CALICATA	MUESTRA	% INCORPORADO	HUMEDAD NATURAL	GRANULOMETRIA		CLASIFICACION		LIMITES			GRAVEDAD ESPECIFICA	PROCTOR		CBR	
						PASA % N°4	PASA % N°200	AASHTO	SUCS	LL. (%)	L.P. (%)	LP. (%)		DENSIDAD MÁXIMA	HUMEDAD ÓPTIMA	99%	100%
550°	CENIZA DE CARBÓN	C-01	M-01	2.5%	6.9	99.8	59.4	A-4(5)	ML	23.7	20.6	3.1	2.65	1.81	10.46	12.4	20.05
				5%	7.6	99.9	54.4	A-4(4)	ML	22.7	21.4	1.3	2.61	1.86	12.26	11.94	18.54
				10%	8.4	99.7	50.6	A-4(3)	ML	20.0	18.8	1.2	2.62	1.82	13.56	10.45	16.69
				15%	9.0	99.5	50.6	A-4(3)	ML	18.1	17.1	1.1	2.62	1.81	14.54	11.42	14.17
		C-02	M-01	2.5%	4.9	99.8	50.8	A-4(3)	ML	22.0	20.6	1.3	2.65	1.94	10.3	11.57	18.55
				5%	5.4	99.1	51.3	A-4(4)	ML	23.2	22.5	0.7	2.64	1.81	15.85	14.02	18.99
				10%	6.0	99.0	50.7	A-4(3)	ML	24.8	22.9	1.8	2.63	1.82	14.58	11.47	17.75
				15%	6.2	98.5	51.7	A-4(4)	ML	24.1	23.6	0.5	2.66	1.78	16.02	12.67	16.17
		C-03	M-01	2.5%	5.3	99.7	50.4	A-4(3)	ML	21.7	20.3	1.4	2.62	1.93	10.5	12.58	16.60
				5%	6.0	99.6	51.1	A-4(4)	ML	17.9	16.4	1.5	2.64	1.90	11.04	15.90	21.50
				10%	6.6	99.5	50.1	A-4(3)	ML	18.8	14.1	1.7	2.64	1.89	12.40	17.85	20.82
				15%	8.2	99.4	50.5	A-4(3)	ML	14.5	12.5	2.1	2.62	1.88	13.39	15.75	18.65
	C-04	M-01	2.5%	3.0	97.1	50.0	A-4(3)	ML	23.6	20.1	3.5	2.60	2.07	10.4	11.4	16.99	
			5%	2.8	99.08	50.2	A-4(3)	ML	22.0	20.4	1.6	2.68	1.84	10.51	18.52	25.87	
			10%	2.5	98.6	51.3	A-4(4)	ML	20.3	19.0	1.3	2.65	1.80	10.78	17.72	22.97	
	CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ	C-01	M-01	2.5%	6.7	99.7	50.9	A-4(3)	ML	26.7	24.3	2.4	2.62	1.84	11.7	13.3	18.73
				5%	7.6	99.5	50.0	A-4(3)	ML	25.7	22.3	3.4	2.62	1.82	14.42	13.29	19.09
				10%	8.1	99.18	53.0	A-4(4)	ML	24.9	22.4	2.6	2.63	1.70	17.51	16.03	21.53
				15%	8.8	99.44	52.4	A-4(4)	ML	22.3	20.8	1.5	2.61	1.67	15.72	19.10	24.24
		C-02	M-01	2.5%	6.5	99.5	51.5	A-4(4)	ML	23.7	20.5	3.2	2.67	1.76	11.6	16.04	22.11
				5%	6.3	98.9	51.2	A-4(4)	ML	22.7	20.1	2.6	2.68	1.75	11.90	20.34	26.79
				10%	6.0	99.6	53.7	A-4(4)	ML	21.1	19.2	2.0	2.65	1.72	12.58	12.58	28.39
		C-03	M-01	2.5%	4.3	98.9	51.0	A-4(4)	ML	20.0	18.3	1.7	2.61	1.67	12.82	17.63	21.43
				5%	6.0	99.64	50.4	A-4(3)	ML	27.2	23.4	3.7	2.68	1.83	13.72	19.96	24.99
				10%	7.2	98.7	50.7	A-4(3)	ML	26.1	23.5	2.6	2.62	1.80	15.1	20.1	26.08
		C-04	M-01	2.5%	7.6	99.5	50.1	A-4(3)	ML	24.9	22.4	2.5	2.62	1.78	16.53	21.65	28.34
				10%	7.8	98.56	50.3	A-4(3)	ML	25.1	23.2	1.9	2.62	1.77	16.09	22.87	30.48
				15%	8.2	98.88	53.4	A-4(4)	ML	24.1	20.2	3.9	2.65	1.78	14.11	18.22	22.01
C-04		M-01	5%	5.6	98.3	53.3	A-4(4)	ML	23.2	20.2	3.0	2.67	1.82	13.5	19.0	25.26	
			10%	5.1	97.5	52.3	A-4(4)	ML	22.2	19.5	2.7	2.62	1.84	13.31	15.98	21.57	
			15%	4.5	97.94	54.3	A-4(4)	ML	21.2	18.6	2.5	2.64	1.86	12.55	14.67	22.33	

- Cuadro Resumen con los diferentes ensayos realizados a la muestra patrón y tratada – Temperatura 700°

 <b>CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&amp;R S.A.C.</b> - Elaboración de Expedientes Técnicos. - Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras. - Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales. - Estudios Topográficos. Av. Vicente Ruiz N° 519 Lote N° 08 - Fundo El Centro- Chichaya. ☎ 978 340 034 - 993 895 300. ✉ <a href="mailto:construccion@chiclayo.com">construccion@chiclayo.com</a>																	
CUADRO RESUMEN																	
"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBÓN PARA PAVIMENTOS"																	
TEMPERATURA (°C)	INCORPORACIÓN	CALICATA	MUESTRA	% INCORPORADO	HUMEDAD NATURAL	GRANULOMETRÍA		CLASIFICACIÓN		LÍMITES			GRAVEDAD ESPECÍFICA	PROCTOR		CBR	
						PASA % N°4	PASA % N°200	AASHTO	SUCS	L.L. (%)	LP. (%)	IP. (%)		DENSIDAD MÁXIMA	HUMEDAD ÓPTIMA	95%	100%
700°	CENIZA DE CARBÓN	C-01	M-01	2.5%	7.2	99.9	53.0	A-4(4)	ML	23.0	20.8	2.2	2.62	1.85	12.53	17.4	23.47
				5%	8.8	99.9	53.0	A-4(4)	ML	24.4	22.3	2.1	2.65	1.83	12.43	13.28	24.26
				10%	5.7	99.7	50.3	A-4(3)	ML	25.2	23.1	2.0	2.67	1.81	11.40	12.81	27.85
				15%	4.9	99.5	50.6	A-4(3)	ML	26.3	24.5	1.8	2.69	1.79	11.17	14.84	26.14
		C-02	M-01	2.5%	4.9	99.8	50.3	A-4(3)	ML	19.5	18.8	0.8	2.62	1.91	12.6	13.1	20.69
				5%	5.4	99.7	50.0	A-4(3)	ML	12.1	10.6	1.5	2.61	1.88	13.71	17.81	24.95
				10%	8.3	99.5	50.4	A-4(3)	ML	11.8	8.7	2.1	2.60	1.87	14.24	16.41	26.40
				15%	6.8	99.6	50.4	A-4(3)	ML	11.0	8.6	2.4	2.59	1.86	14.70	21.75	28.30
		C-03	M-01	2.5%	3.5	98.4	50.5	A-4(3)	ML	23.2	20.8	2.3	2.62	1.89	13.4	9.38	18.79
				5%	6.4	99.3	50.0	A-4(3)	ML	24.2	21.3	2.9	2.63	1.84	13.69	19.92	26.07
				10%	7.2	99.4	50.4	A-4(3)	ML	25.6	22.5	3.0	2.65	1.83	13.82	22.07	28.06
				15%	8.1	99.5	50.4	A-4(3)	ML	26.6	23.0	3.6	2.67	1.82	14.24	23.05	30.28
	C-04	M-01	2.5%	7.1	99.9	57.7	A-4(5)	ML	23.1	20.0	3.1	2.69	1.90	9.3	18.53	25.96	
			5%	6.5	99.72	58.6	A-4(5)	ML	21.8	19.3	2.5	2.67	1.87	9.41	18.95	27.01	
			10%	6.0	99.5	54.0	A-4(4)	ML	20.0	18.1	2.0	2.68	1.84	9.91	20.66	28.18	
			15%	4.5	99.7	55.5	A-4(5)	ML	17.8	16.4	1.4	2.61	1.83	10.41	25.78	31.39	
	CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ	C-01	M-01	2.5%	8.8	99.7	58.8	A-4(5)	ML	28.6	25.3	3.2	2.67	1.81	14.7	20.1	24.51
				5%	8.6	99.6	56.5	A-4(5)	ML	27.7	24.4	3.3	2.65	1.81	14.41	19.05	26.52
				10%	8.2	99.78	56.0	A-4(5)	ML	26.6	23.7	2.9	2.62	1.80	14.27	22.32	28.72
				15%	7.3	99.60	63.8	A-4(8)	ML	24.6	22.7	1.9	2.60	1.82	11.23	27.67	30.82
		C-02	M-01	2.5%	3.5	99.5	50.8	A-4(3)	ML	25.1	22.4	2.7	2.61	1.82	10.9	21.67	23.95
				5%	4.0	99.5	51.4	A-4(4)	ML	27.8	25.7	2.1	2.63	1.81	10.08	17.29	25.48
				10%	4.4	99.5	50.3	A-4(3)	ML	26.0	25.7	0.3	2.63	1.81	10.74	17.38	26.57
				15%	5.5	99.6	50.2	A-4(3)	ML	27.8	26.4	1.4	2.65	1.72	10.08	15.71	20.35
C-03		M-01	2.5%	6.0	99.62	50.7	A-4(3)	ML	27.0	23.4	3.6	2.66	1.83	14.17	19.77	24.99	
			5%	7.5	99.8	50.5	A-4(3)	ML	26.1	23.5	2.6	2.64	1.81	15.1	21.6	26.08	
			10%	8.1	99.5	50.7	A-4(3)	ML	24.8	22.4	2.4	2.63	1.78	16.48	20.38	28.34	
			15%	8.5	99.50	50.5	A-4(3)	ML	24.4	23.2	1.2	2.62	1.77	16.17	21.06	30.37	
C-04	M-01	2.5%	2.3	95.88	53.4	A-4(4)	ML	26.1	24.3	1.7	2.64	1.82	8.98	13.50	19.42		
		5%	2.4	99.0	52.4	A-4(4)	ML	25.7	23.7	1.9	2.66	1.82	8.2	13.3	20.44		
		10%	2.8	99.0	50.0	A-4(3)	ML	25.2	22.9	2.3	2.61	1.84	9.41	14.60	21.47		
		15%	3.5	95.28	50.2	A-4(3)	ML	24.4	21.5	2.8	2.62	1.88	9.81	13.44	23.24		

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.  
 LABORATORIO DE MATERIALES  
 CHICLAYO

LABORATORIO DE MATERIALES  
 CHICLAYO

LABORATORIO DE MATERIALES  
 CHICLAYO



## Anexo IV. Acreditación de laboratorio

# 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:

## CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A & R SOCIEDAD ANONIMA CERRADA

**Laboratorio de Ensayo**

En su sede ubicada en: Av. Vicente Russo N° 1530 - Interfor D y F - Fundo el Cerrito, Chiclayo, Lambayeque.

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: 29 de agosto de 2023  
Fecha de Vencimiento: 28 de agosto de 2026



Firmado digitalmente por AGUILAR RODRIGUEZ Lidia Patricia FAU  
20600283015 soft  
Fecha: 2023-09-13 18:30:25  
Motivo: Soy el Autor del Documento

**PATRICIA AGUILAR RODRÍGUEZ**  
Directora (dt.), Dirección de Acreditación - INACAL

Fecha de emisión: 08 de setiembre de 2023



Codificación: N° 209-2023-INACAL/DA  
Contrato N°: 053-2023-INACAL-DA  
Registro N°: LE - 216

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y código 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/da/cred/credaccredita/credaccredita](http://www.inacal.gob.pe/da/cred/credaccredita/credaccredita), 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

# Certificado



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:

## CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A & R SOCIEDAD ANONIMA CERRADA

Laboratorio de Ensayo

En su sede ubicada en: Av. Vicente Russo N° 1530 - Interior D y F - Fundo el Cerrito, Chiclayo, Lambayeque.

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: 29 de agosto de 2023

Fecha de Vencimiento: 28 de agosto de 2026

Firmado digitalmente por AGUILAR  
RODRIGUEZ Lidia Patricia FAU  
20600283015 soft  
Fecha: 2023-09-13 18:30:25  
Motivo: Soy el Autor del Documento

**PATRICIA AGUILAR RODRÍGUEZ**  
Directora (dt.), Dirección de Acreditación - INACAL

Fecha de emisión: 08 de setiembre de 2023



Cédula: N° 209-2023-INACAL/DA  
Contrato N° 053-2023-INACAL-DA  
Registro N° LE - 216

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y código de certificación 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/consultas/acreditados](http://www.inacal.gob.pe/acreditacion/consultas/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 Internacional Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Múltiple con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

DA-acr-CIP-02M Ver. 03



## Anexo V. Ficha de Juicio de Expertos

**Colegiatura N° 249067**

**Ficha de validación según AIKEN**

**I. Datos generales**

Apellidos y nombres del informante	Cargo o Institución donde labora	Nombre del instrumento de evaluación	Autor del Instrumento
López Chaname Cristhian Junior	Ingeniero Civil Ambiental	Contenido de Humedad Ensayo Granulométrico Límites de Consistencia Peso Especifico Ensayo de Proctor Modificado CBR	Delgado Carranza, Wilder. Nurefia Ascencio, Anghella Mariel
<b>Título de la Investigación:</b> Estabilización de Suelos Arcillosos Utilizando Cenizas de Cascarilla de Arroz y Cenizas de Carbón Para Pavimentos.			

**II. Aspectos de validación de cada ítem**

Estimado complete la siguiente tabla después de haber observado y evaluado el instrumento adjunto. Escriba (A) acuerdo o (D) desacuerdo en la segunda columna. Asimismo, si tiene alguna opción o propuesta de modificación, escriba en la columna correspondiente.

ITEMS	ACUERDO O DESACUERDO	MODIFICACIÓN Y OPINIÓN
Contenido de Humedad	A	CONFORME
Ensayo granulométrico	A	CONFORME
Límites de Consistencia	A	CONFORME
Proctor Modificado	A	CONFORME
CBR	A	CONFORME

**III. Opinión de aplicabilidad del instrumento certificado de validez de contenido del instrumento**


	Dimensiones/Items	Claridad		Contexto		Congruencia		Dominio del constructo	
		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
1	CONTENIDO DE HUMEDAD	X		X		X		X	
2	ENSAYO GRANULOMÉTRICO	X		X		X		X	
3	LÍMITES DE CONSISTENCIA	X		X		X		X	
4	PROCTOR MODIFICADO, CBR	X		X		X		X	

Observaciones (precisar si hay suficiencia):

Opinión de aplicabilidad: Aplicable (  ) Aplicable después de corregir (  )

No aplicable (  ) Apellidos y nombres del juez validador:

Especialidad: Ingeniero Civil

  
 CRISTIAN JUNIOR LOPEZ CHANAME  
 INGENIERO CIVIL AMBIENTAL  
 REG. CIP. 249067

Juez  
 Experto

Ficha de validación según AIKEN

I. Datos generales

Apellidos y nombres del informante	Cargo o Institución donde labora	Nombre del instrumento de evaluación	Autor del Instrumento
Arenas Villalobos Paula Olanibel del Pilar	Ingeniero Civil Ambiental	Contenido de Humedad Ensayo Granulométrico Límites de Consistencia Peso Específico Ensayo de Proctor Modificado CBR	Delgado Carranza, Wilder. Nureña Ascencio, Anghella Mariel
<b>Título de la Investigación:</b> Estabilización de Suelos Arcillosos Utilizando Cenizas de Cascarilla de Arroz y Cenizas de Carbón Para Pavimentos.			

II. Aspectos de validación de cada ítem

Estimado complete la siguiente tabla después de haber observado y evaluado el instrumento adjunto. Escriba (A) acuerdo o (D) desacuerdo en la segunda columna. Asimismo, si tiene alguna opción o propuesta de modificación, escriba en la columna correspondiente.

ITEMS	ACUERDO O DESACUERDO	MODIFICACIÓN Y OPINIÓN
Contenido de Humedad	A	CONFORME
Ensayo granulométrico	A	CONFORME
Límites de Consistencia	A	CONFORME
Proctor Modificado	A	CONFORME
CBR	A	CONFORME

III. Opinión de aplicabilidad del instrumento certificado de validez de contenido del instrumento

	Dimensiones/Items	Claridad		Contexto		Congruencia		Dominio del constructo	
		SI	No	SI	No	SI	No	SI	No
1	CONTENIDO DE PUREZA	X		X		X		X	
2	ENSAYO GRANULOMETRICO	X		X		X		X	
3	LIMITES DE CONSISTENCIA	X		X		X		X	
4	PROCTOR MODIFICADO, CBR	X		X		X		X	

Observaciones (precisar si hay suficiencia):

Opinión de aplicabilidad: Aplicable ( X ) Aplicable después de corregir ( )  
 No aplicable ( ) Apellidos y nombres del juez validador:  
 Especialidad: Ingeniera Civil

  
 PAULA GARBEL DEL PILAR ARENAS VILLALCROS  
 INGENIERA CIVIL AMBIENTAL  
 REG CIP 244313

Juez  
 Experto

Ficha de validación según AIKEN

I. Datos generales

Apellidos y nombres del informante	Cargo o Institución donde labora	Nombre del instrumento de evaluación	Autor del Instrumento
Flores Quintos Fredy	Supervisor de Obra	Contenido de Humedad Ensayo Granulométrico Límites de Consistencia Peso Especifico Ensayo de Proctor Modificado CBR	Delgado Carranza, Wilder. Nureña Ascencio, Anghella Mariel
<b>Título de la Investigación:</b> Estabilización de Suelos Arcillosos Utilizando Cenizas de Cascarilla de Arroz y Cenizas de Carbón Para Pavimentos.			

II. Aspectos de validación de cada ítem

Estimado complete la siguiente tabla después de haber observado y evaluado el instrumento adjunto. Escriba (A) acuerdo o (D) desacuerdo en la segunda columna. Asimismo, si tiene alguna opción o propuesta de modificación, escriba en la columna correspondiente.

ITEMS	ACUERDO O DESACUERDO	MODIFICACIÓN Y OPINIÓN
Contenido de Humedad	A	CONFORME
Ensayo granulométrico	A	CONFORME
Límites de Consistencia	A	CONFORME
Proctor Modificado	A	CONFORME
CBR	A	CONFORME

**III. Opinión de aplicabilidad del instrumento certificado de validez de contenido del instrumento**

	Dimensiones/Items	Claridad		Contexto		Congruencia		Dominio del constructo	
		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
1	CONTENIDO DE HUIEDAD	X		X		X		X	
2	ENSAYO GRANULOMETRICO	X		X		X		X	
3	LIMITES DE CONSISTENCIA	X		X		X		X	
4	PROCTOR MODIFICADO, CBR	X		X		X		X	

Observaciones (precisar si hay suficiencia):

Opinión de aplicabilidad: Aplicable ( X ) Aplicable después de corregir ( )

No aplicable ( ) Apellidos y nombres del juez validador:

Especialidad: Supervisor de Obra

  
 Ing. Freddy Flores Quintos  
 CIP. N° 200979  
 SUPERVISOR DE OBRA

Juez  
Experto

## Ficha de validación según AIKEN

## I. Datos generales

Apellidos y nombres del informante	Cargo o Institución donde labora	Nombre del instrumento de evaluación	Autor del Instrumento
Saavedra Regalado Miguel	Ingeniero Civil	Contenido de Humedad Ensayo Granulométrico Límites de Consistencia Peso Especifico Ensayo de Proctor Modificado CBR	Delgado Carranza, Wilder. Nureña Ascencio, Anghella Mariel
<b>Título de la Investigación:</b> Estabilización de Suelos Arcillosos Utilizando Cenizas de Cascarilla de Arroz y Cenizas de Carbón Para Pavimentos.			

## II. Aspectos de validación de cada ítem

Estimado complete la siguiente tabla después de haber observado y evaluado el instrumento adjunto. Escriba (A) acuerdo o (D) desacuerdo en la segunda columna. Asimismo, si tiene alguna opción o propuesta de modificación, escriba en la columna correspondiente.

ITEMS	ACUERDO O DESACUERDO	MODIFICACIÓN Y OPINIÓN
Contenido de Humedad	A	CONFORME
Ensayo granulométrico	A	CONFORME
Límites de Consistencia	A	CONFORME
Proctor Modificado	A	CONFORME
CBR	A	CONFORME



**III. Opinión de aplicabilidad del instrumento certificado de validez de contenido del instrumento**

	Dimensiones/Items	Claridad		Contexto		Congruencia		Dominio del constructo	
		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
1	CONTENIDO DE HUEDEDAD	X		X		X		X	
2	ENGANO GRANULOMETRICO	X		X		X		X	
3	LIMITES DE CONSISTENCIA	X		X		X		X	
4	PROCTOR MODIFICADO ,CBR	X		X		X		X	

Observaciones (precisar si hay suficiencia):

Opinión de aplicabilidad: Aplicable ( X ) Aplicable después de corregir ( )

No aplicable ( ) Apellidos y nombres del juez validador:

Especialidad: Ingeniero Civil

  
 Miguel Saavedra Regalado  
 ING. CIVIL  
 CIP 179418

Juez  
 Experto



## Ficha de validación según AIKEN

## I. Datos generales

Apellidos y nombres del informante	Cargo o Institución donde labora	Nombre del instrumento de evaluación	Autor del Instrumento
Vásquez Miranda Guillermo	Ingeniero Civil	Contenido de Humedad Ensayo Granulométrico Límites de Consistencia Peso Específico Ensayo de Proctor Modificado CBR	Delgado Carranza, Wilder. Nureña Ascencio, Anghella Mariel
<b>Título de la Investigación:</b> Estabilización de Suelos Arcillosos Utilizando Cenizas de Cascarilla de Arroz y Cenizas de Carbón Para Pavimentos.			

## II. Aspectos de validación de cada ítem

Estimado complete la siguiente tabla después de haber observado y evaluado el instrumento adjunto. Escriba (A) acuerdo o (D) desacuerdo en la segunda columna. Asimismo, si tiene alguna opción o propuesta de modificación, escriba en la columna correspondiente.

ITEMS	ACUERDO O DESACUERDO	MODIFICACIÓN Y OPINIÓN
Contenido de Humedad	A	CONFORME
Ensayo granulométrico	A	CONFORME
Límites de Consistencia	A	CONFORME
Proctor Modificado	A	CONFORME
CBR	A	CONFORME

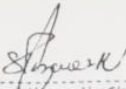
**III. Opinión de aplicabilidad del instrumento certificado de validez de contenido del instrumento**

	Dimensiones/Ítems	Claridad		Contexto		Congruencia		Dominio del constructo	
		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
1	CONTENIDO DE HUMEDAD	X		X		X		X	
2	ENSAYO GRANULOMÉTRICO	X		X		X		X	
3	LÍMITES DE CONSISTENCIA	X		X		X		X	
4	PROCTOR MODIFICADO, CBR	X		X		X		X	

Observaciones (precisar si hay suficiencia):

Opinión de aplicabilidad: Aplicable ( X ) Aplicable después de corregir ( )  
 No aplicable ( ) Apellidos y nombres del juez validador:

Especialidad: Ingeniero Civil

  
 Guillermo Vásquez Huamán  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP N° 14154

Juez  
 Experto

## **Anexo VI. Análisis Estadístico**

INSTRUMENTOS DE VALIDACION ESTADISTICA  
CON CRITERIO JUECES EXPERTOS Y  
CRITERIO MUESTRA PILOTO

VALIDEZ Y CONFIABILIDAD POR 5 JUECES EXPERTOS

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBÓN PARA PAVIMENTOS

	Claridad			Contexto		
	Contenido de Humedad	Proctor Modificado	CBR	Contenido de Humedad	Proctor Modificado	CBR
JUEZ 1	1	1	1	1	1	1
JUEZ 2	1	1	1	1	1	1
JUEZ 3	1	1	1	1	1	1
JUEZ 4	1	1	1	1	1	1
JUEZ 5	1	1	1	1	1	1
s	5	5	3	5	5	5
n	5					
c	2					
V de Alken por preg=	1	1	1	1	1	1
V de Aiken por criterio		1			1	

	Congruencia			Dominio del constructo		
	Contenido de Humedad	Proctor Modificado	CBR	Contenido de Humedad	Proctor Modificado	CBR
JUEZ 1	1	1	1	1	1	1
JUEZ 2	1	1	1	1	1	1
JUEZ 3	1	1	1	1	1	1
JUEZ 4	1	1	1	1	1	1
JUEZ 5	1	1	1	1	1	1
s	5	5	5	5	5	5
n						
c						
V de Aiken por preg=	1	1	1	1	1	1
V de Aiken por criterio	1			1		

V de Aiken del instrumento por jueces expertos	1.00
--	------

15  
 ING. LUIS ALBERTO SANCHEZ ALVARADO  
 COESPE N° 576  
 COLEGIO DE ESTADÍSTICOS DEL PERÚ

VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO SOBRE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS DE CARBÓN PARA PAVIMENTOS

**Estadísticas de fiabilidad**

Alfa de Cronbach	N de elementos
,941	3


Muestra	Correlación total de elementos corregida	Alfa de Cronbach si el elemento se ha suprimido
Contenido de Humedad	,862	,952
Proctor Modificado	,793	,927
CBR	,901	,905

**ANOVA**

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig
Inter sujetos		19097994,767	11	1736181,342		
Intra sujetos	Entre elementos	22672992,700	9	2519221,411	15,958	,000
	Residuo	15628322,900	99	157861,847		
	Total	38301315,600	108	354641,811		
Total		57399310,367	119	482347,146		

En las tablas se observa que, el instrumento es sobre el comportamiento de un suelo arcilloso modificado con cenizas de arroz y carbón es válido (correlaciones de Pearson superan al valor de 0.30 y el valor de la prueba del análisis de varianza es altamente significativo  $p < 0.01$ ) y confiable (el valor de consistencia alfa de cronbach es mayor a 0.80).

Variable	Valor	Significación
...	...	...

  
 ING. LUIS ALBERTO SANCHEZ ALVARADO  
 COESPE N° 576  
 COLEGIO DE ESTADÍSTICOS DEL PERÚ

Elaboración de un instrumento de medida

Elaboración de un instrumento de medida

Variable	Valor	Significación
...	...	...

## Anexo VII. Ficha Técnica de la Ceniza de Cascarilla de Arroz

### Estabilización de Suelos Arcillosos Utilizando Cenizas de Cascarilla de Arroz y Cenizas de Carbón Para Pavimentos



#### CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

Av. Vicente Ruso Mz 5/N Lote N° 08 - Fundo El Cerrito - Chiclayo. ☎ 978 360 036 - 993 595 300.  
✉ [constructora.ayr.chiclayo@gmail.com](mailto:constructora.ayr.chiclayo@gmail.com)

#### Ceniza de Cascarilla de Arroz

##### 1. Descripción del Producto

La ceniza de cascarilla de arroz (CCA) es un subproducto obtenido de la combustión de la cascarilla de arroz, que es la capa protectora del grano de arroz. La CCA es rica en sílice amorfa y se utiliza en una variedad de aplicaciones industriales, incluyendo la producción de cemento, concreto, cerámica y agricultura.

##### 2. Composición Química

La composición química de la CCA varía según el proceso de combustión, pero típicamente incluye los siguientes componentes:

Sílice ( $\text{SiO}_2$ ): 85-95%

Óxido de potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ): 1-5%

Óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ): 1-3%

Óxido de magnesio ( $\text{MgO}$ ): 0.5-2%

Óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ): 0.5-1.5%

Óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ): 0.5-1.5%

Óxidos varios: Menos del 1%

##### 3. Propiedades Físicas

Color: Gris a negro

Densidad aparente: 0.2 - 0.3 g/cm<sup>3</sup>

Tamaño de partícula: Variable, generalmente menos de 100  $\mu\text{m}$

Forma de partícula: Irregular, amorfa

Superficie específica: 150 - 300 m<sup>2</sup>/g



#### **4. Aplicaciones**

Industria del concreto y estabilizador del suelo: Como aditivo para mejorar resistencia y durabilidad.

Producción de ladrillos y cerámica: Como fuente de sílice y para mejorar aglutinación.

Producción de materiales compuestos: Para propiedades como resistencia al fuego o reducción de peso.

#### **5. Ventajas**

Sostenibilidad: Reciclaje de un subproducto agrícola.

Propiedades puzolánicas: Puede mejorar la calidad del concreto y otros materiales.

Bajo costo: Comparado con otros aditivos.

#### **6. Desventajas**

Variabilidad: La calidad puede variar según el proceso de combustión y el origen de la cascarilla.

Manejo del polvo: Puede requerir equipo de protección personal (EPP) para su manejo y transporte.

#### **7. Recomendaciones de Seguridad**

Equipo de Protección Personal (EPP): Uso de guantes, mascarillas y gafas para evitar la inhalación de polvo.

Almacenamiento: Mantener en áreas secas y bien ventiladas.

Disposición: Seguir normativas locales para la disposición de cenizas industriales.

#### **8. Normativas y Estándares**

Se recomienda revisar las normativas locales e internacionales aplicables para el uso de la CCA en diferentes aplicaciones, como normas ASTM, ISO, o EN, según la región y la industria.

## Anexo VIII. Ficha Técnica de la Ceniza de Carbón

### Estabilización de Suelos Arcillosos Utilizando Cenizas de Cascarilla de Arroz y Cenizas de Carbón Para Pavimentos



#### **CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.**

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

Av. Vicente Ruso Mz 5/N Lote N° 08 - Fundo B Cerrillo - Chiclayo. ☎ 978 360 036 - 993 595 300.  
✉ [constructora.ayr.chiclayo@gmail.com](mailto:constructora.ayr.chiclayo@gmail.com)

#### **Ceniza de Carbón**

##### **1. Descripción del Producto**

La ceniza de carbón es un subproducto derivado de la combustión de carbón en plantas de energía térmica. Tiene propiedades puzolánicas, lo que le permite reaccionar con el hidróxido de calcio y el agua para formar compuestos cementantes. Estas propiedades hacen que la ceniza de carbón sea útil para estabilizar suelos y mejorar la durabilidad de la infraestructura civil.

##### **2. Composición Química**

La composición química de la ceniza de carbón varía según la fuente y el proceso de combustión, pero típicamente contiene:

Silice ( $\text{SiO}_2$ ): 45-70%

Alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ): 15-30%

Óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ): 2-10%

Óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ): 1-10%

Óxido de magnesio ( $\text{MgO}$ ): 1-5%

Óxido de potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ): 1-5%

Otros óxidos: Menos del 5%

##### **3. Propiedades Físicas**

Color: Gris claro a oscuro, a veces con matices rojizos.

Densidad aparente: 0.6 - 1.0 g/cm<sup>3</sup>

Tamaño de partícula: Variable, generalmente entre 1 y 100  $\mu\text{m}$

Superficie específica: 200 - 400 m<sup>2</sup>/kg

Forma de partícula: Esférica a irregular

#### **4. Aplicaciones**

Estabilización de suelos: Mejora la resistencia y estabilidad de suelos en proyectos de construcción.

Industria del cemento y concreto: Como aditivo puzolánico para mejorar la resistencia.

Construcción de carreteras: Para estabilizar capas de base y sub-base.

Agricultura: En algunos casos, como enmienda del suelo para mejorar la estructura y el drenaje.

#### **5. Ventajas**

Propiedades puzolánicas: Reacciona con el hidróxido de calcio y el agua para formar compuestos cementantes.

Sostenibilidad: Uso de un subproducto industrial que reduce el impacto ambiental.

Mejora de propiedades mecánicas: Aumenta la resistencia y durabilidad de suelos estabilizados.

Reducción de costos: Puede ser más económico que otros estabilizantes.

#### **6. Desventajas**

Variabilidad: La calidad de la ceniza puede variar según el origen y el proceso de combustión.

Riesgos ambientales: Contenido potencial de metales pesados u otros contaminantes.

Necesidad de pruebas: Requiere pruebas para asegurar la compatibilidad con el suelo y las normativas locales.

#### **7. Recomendaciones de Seguridad**

Equipo de Protección Personal (EPP): Uso de guantes, mascarillas y gafas para evitar la inhalación de polvo y el contacto con la piel.

Almacenamiento: Mantener en áreas secas y bien ventiladas para evitar la contaminación ambiental.

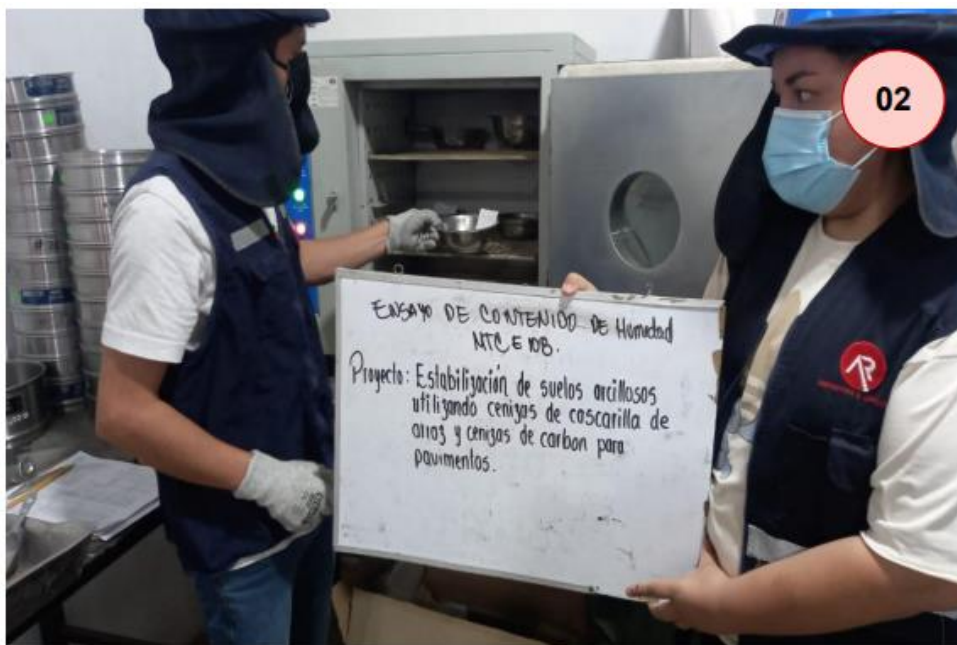
Gestión ambiental: Verificar el contenido de metales pesados y otros contaminantes antes de su uso.

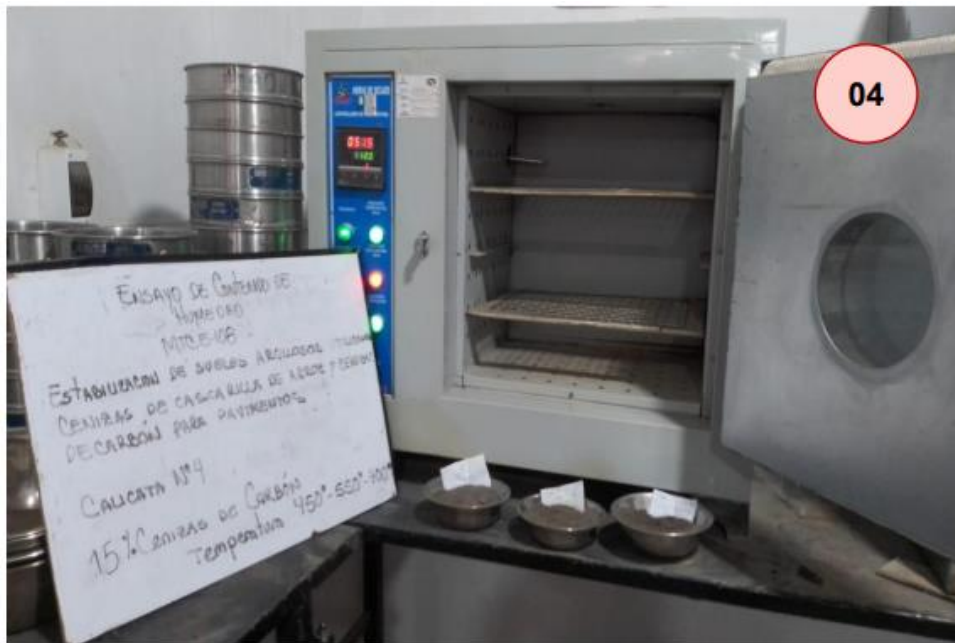
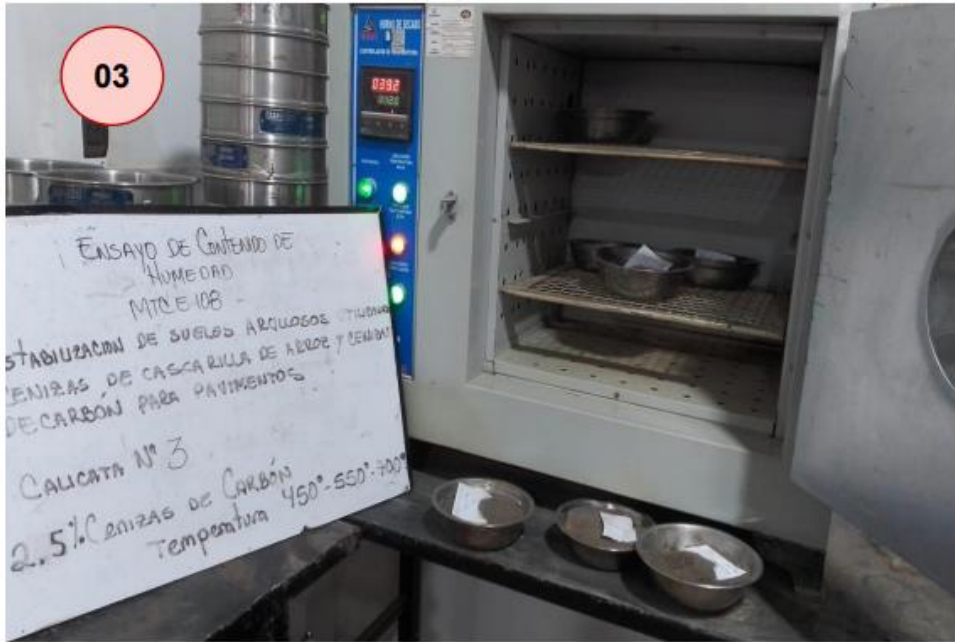
#### **8. Normativas y Estándares**

Es importante seguir normativas locales e internacionales para el uso de la ceniza de carbón en proyectos de estabilización de suelos. Asegúrese de revisar normas como ASTM, AASHTO, ISO, o estándares regionales aplicables a la estabilización de suelos y el manejo de subproductos industriales.

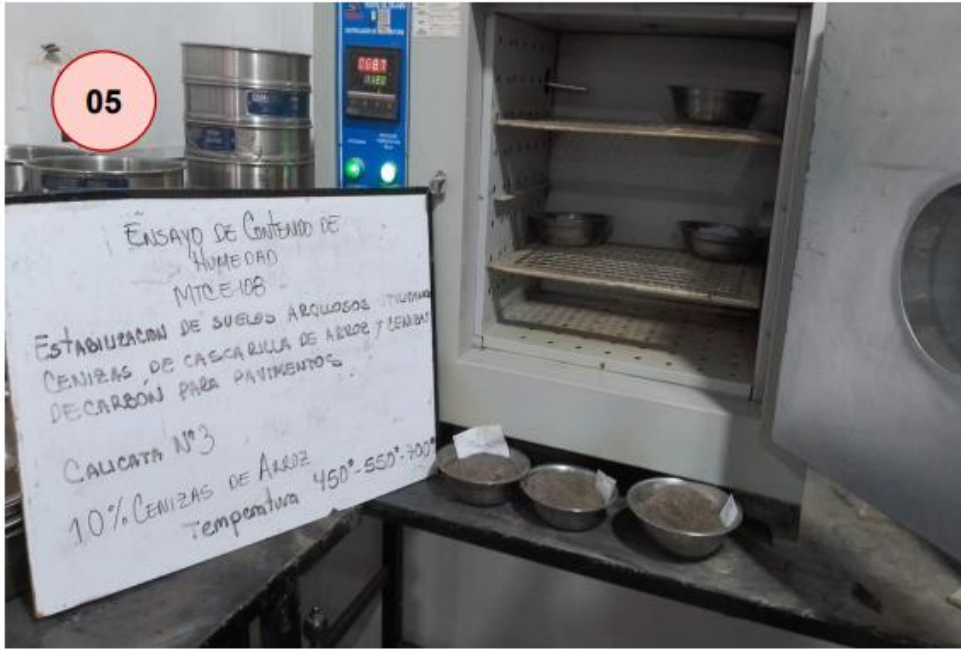
## Anexo IX. Panel Fotográfico

- Ensayo de contenido de humedad

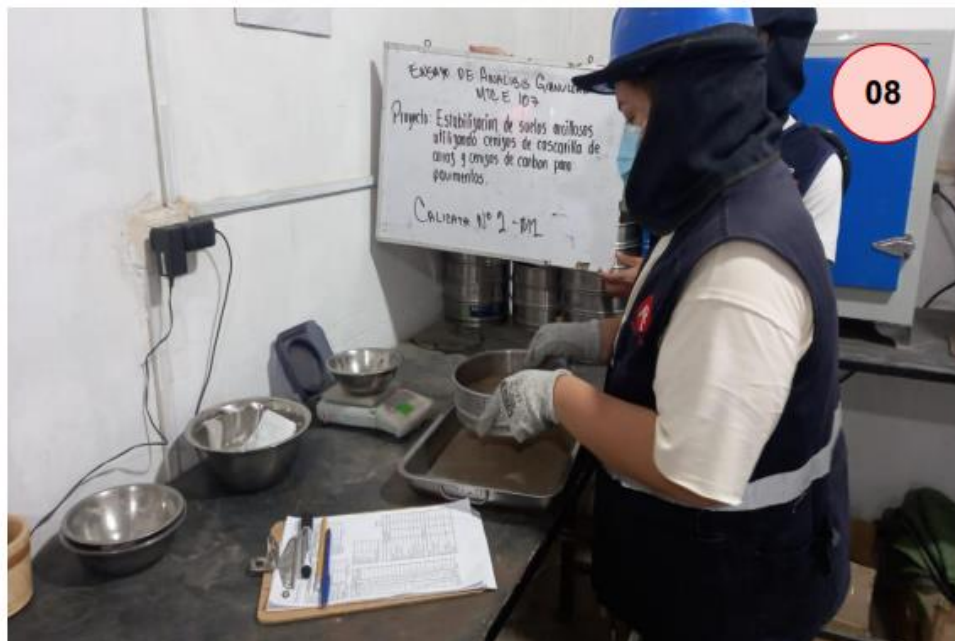








- Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado

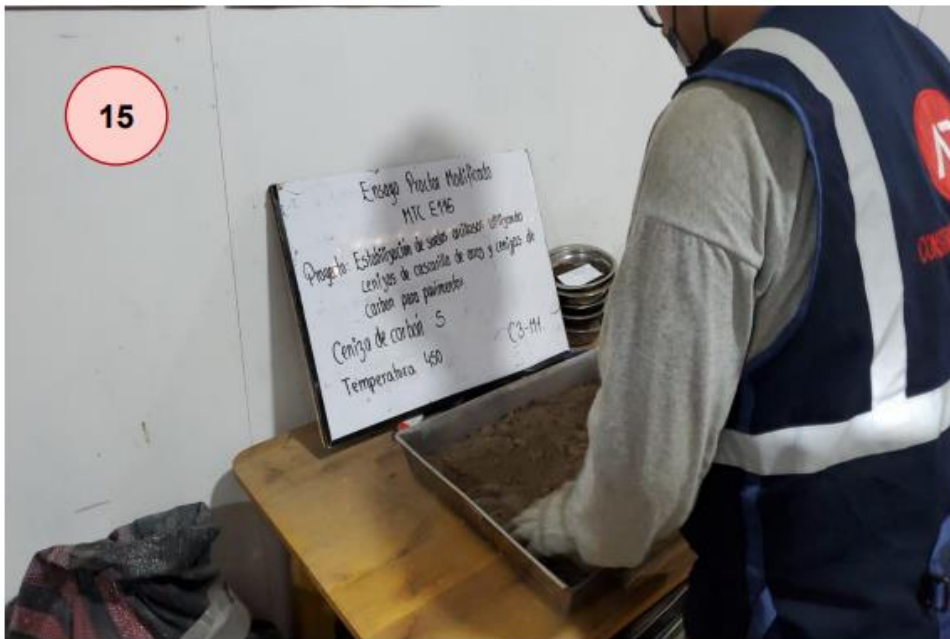




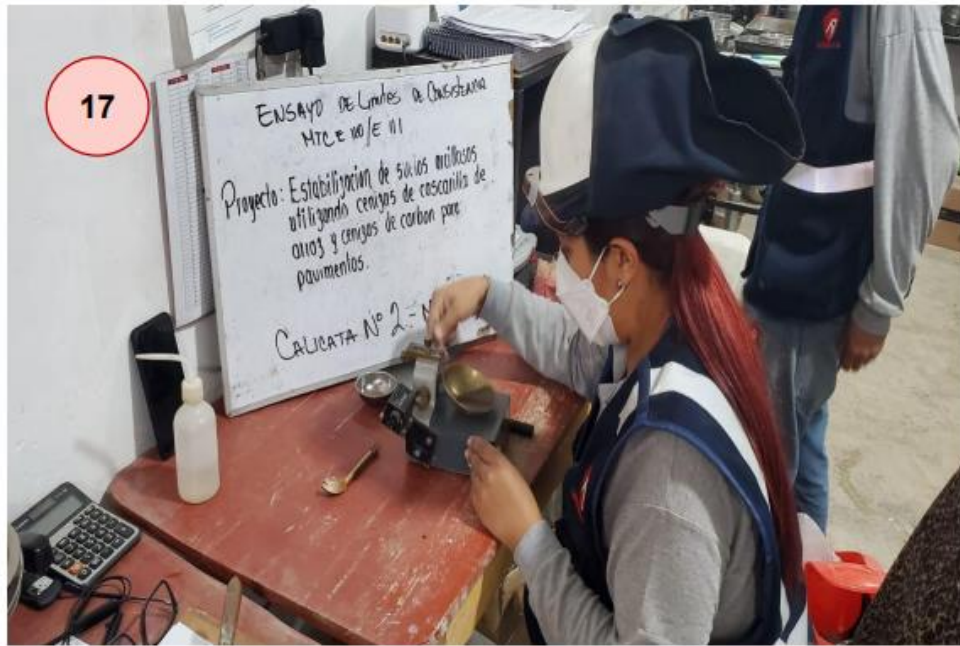


- Ensayo de Proctor Modificado





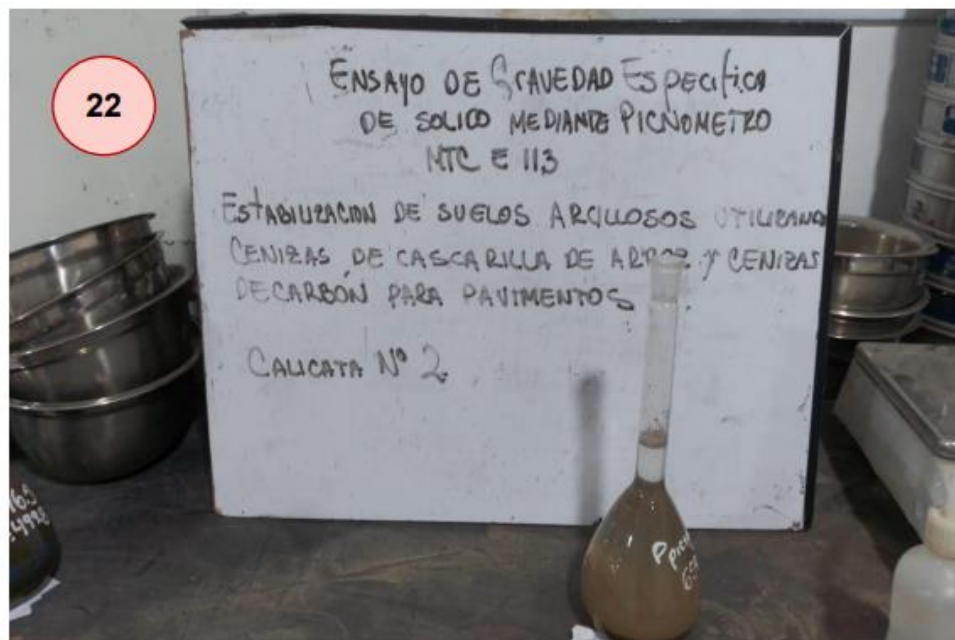
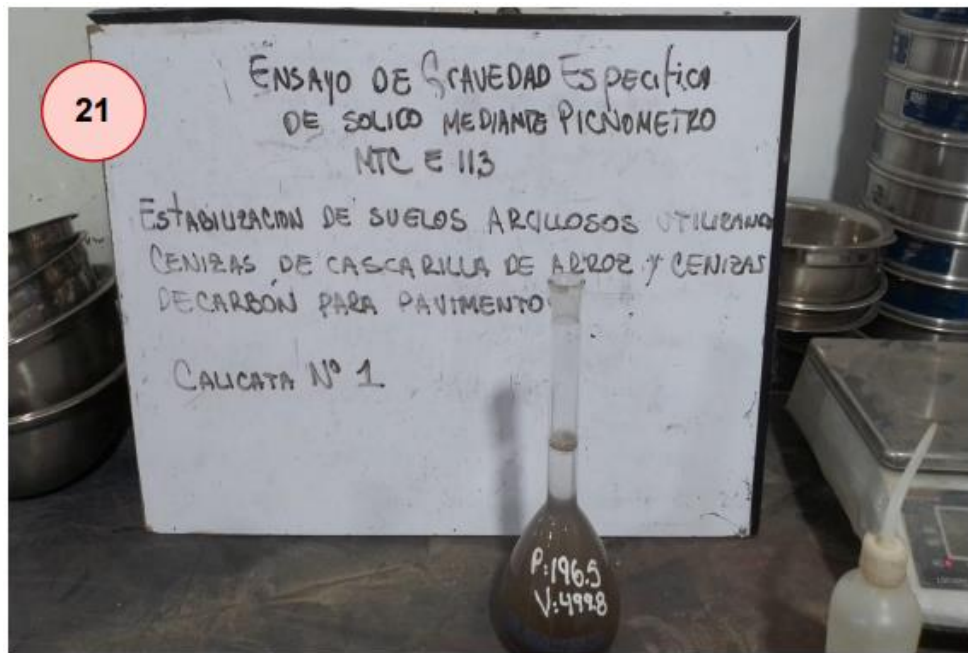
- Ensayo de Limites de Consistencia







- Ensayo de Gravedad Especifica



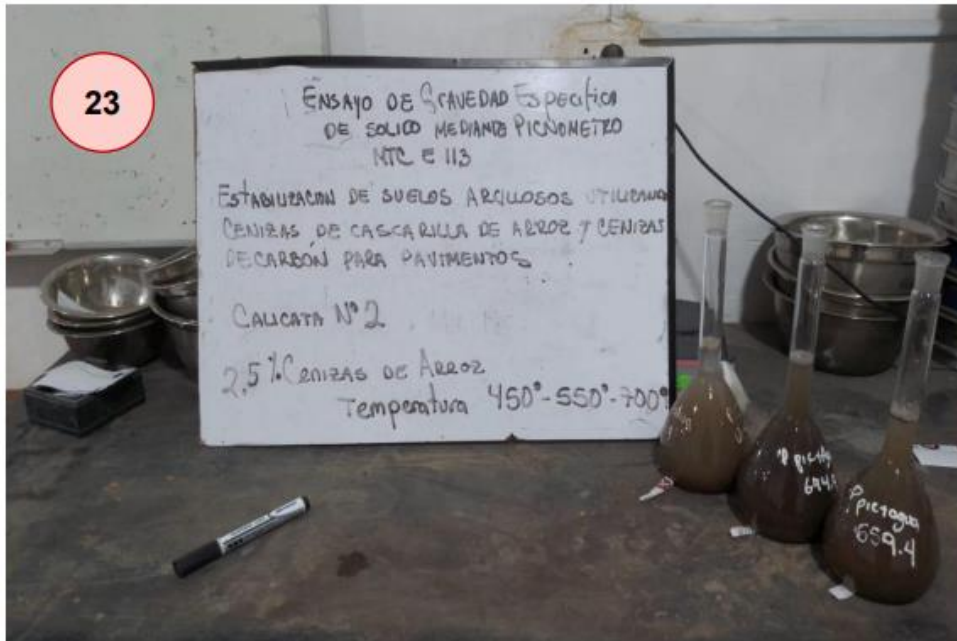
23

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA  
DE SÓLIDO MEDIANTE PÍCNOMETRO  
NTR E 113

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO  
CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS  
DE CARBÓN PARA PAVIMENTOS

CALICATA N° 2

2,5% CENIZAS DE ARROZ  
Temperatura 450°-550°-700°



24

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA  
DE SÓLIDO MEDIANTE PÍCNOMETRO  
NTR E 113

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS UTILIZANDO  
CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y CENIZAS  
DE CARBÓN PARA PAVIMENTOS

CALICATA N° 1

5% CENIZAS DE ARROZ  
Temperatura 450°-550°-700°





- Ensayo de CBR



## Anexo X. Análisis Económico del Suelo Natural y Suelo Modificado

**Tabla 1: Costos de Materiales**

Elemento	Control (Sin Estabilizar)	Ceniza de Cascarilla de Arroz	Ceniza de Carbón
Costo por tonelada	-	200 soles	150 soles
Cantidad por m <sup>3</sup>	-	0.2 toneladas	0.25 toneladas
Costo de material por m <sup>3</sup>	50 soles	40 soles	37.5 soles
Cantidad total (m <sup>3</sup> )	10,000 m <sup>3</sup>	10,000 m <sup>3</sup>	10,000 m <sup>3</sup>
<b>Costo total</b>	<b>500,000 soles</b>	<b>400,000 soles</b>	<b>375,000 soles</b>

**Tabla 2: Costos de Transporte**

Elemento	Control (Sin Estabilizar)	Ceniza de Cascarilla de Arroz	Ceniza de Carbón
Costo por tonelada	-	50 soles	40 soles
Cantidad total (toneladas)	-	2,000 toneladas	2,500 toneladas
Costo de transporte total	100,000 soles	100,000 soles	100,000 soles

**Tabla 3: Costos de Mano de Obra y Aplicación**

Elemento	Control (Sin Estabilizar)	Ceniza de Cascarilla de Arroz	Ceniza de Carbón
Costo por m <sup>3</sup>	30 soles	40 soles	35 soles
Cantidad total (m <sup>3</sup> )	10,000 m <sup>3</sup>	10,000 m <sup>3</sup>	10,000 m <sup>3</sup>
<b>Costo total</b>	<b>300,000 soles</b>	<b>400,000 soles</b>	<b>350,000 soles</b>

**Tabla 4: Costos de Pruebas y Control de Calidad**

Elemento	Control (Sin Estabilizar)	Ceniza de Cascarilla de Arroz	Ceniza de Carbón
Costo total	5,000 soles	8,000 soles	7,000 soles

**Tabla 5: Costos a Largo Plazo (Mantenimiento y Reparaciones)**

Elemento	Control (Sin Estabilizar)	Ceniza de Cascarilla de Arroz	Ceniza de Carbón
Costo total	50,000 soles	30,000 soles	35,000 soles

**Tabla 6: Análisis Comparativo del Costo Total**

Elemento	Control (Sin Estabilizar)	Ceniza de Cascarilla de Arroz	Ceniza de Carbón
Materiales	500,000 soles	400,000 soles	375,000 soles
Transporte	100,000 soles	100,000 soles	100,000 soles
Mano de obra	300,000 soles	400,000 soles	350,000 soles
Pruebas y control de calidad	5,000 soles	8,000 soles	7,000 soles
Mantenimiento	50,000 soles	30,000 soles	35,000 soles
<b>Costo total</b>	<b>955,000 soles</b>	<b>938,000 soles</b>	<b>867,000 soles</b>

COSTO TOTAL DE SUELO PARA PAVIMENTOS POR m3 (SOLES)			
ELEMENTO	SUELO NATURAL (SIN ESTABILIZAR)	ESTABILIZADO CON CENIZA DE CARBÓN (5%)	ESTABILIZADO CON CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ (15%)
COSTO TOTAL	S/ 955,000.00	S/ 954,150.00	S/ 1,037,300.00



## Anexo XI. Prueba de hipótesis en análisis estadístico - t student

1. Prueba de hipótesis para California Bearing Ratio (CBR - 95%) con cenizas de carbón (CB) al 2.5%; 5%; 10% y 15% y cenizas de cascarilla de arroz (CCA) al 2.5%; 5%; 10% y 15%.

		Media	N	Desv. estándar	Media de error estándar
Par 1	patrón	5.7200	3	1.79218	1.03471
	CB(2.5%)	12.8900	3	5.79047	3.34313
Par 2	patrón	5.7200	3	1.79218	1.03471
	CB(5%)	18.5333	3	4.05690	2.34225
Par 3	patrón	5.7200	3	1.79218	1.03471
	CB(10%)	16.5367	3	1.91252	1.10419
Par 4	patrón	5.7200	3	1.79218	1.03471
	CB(15%)	17.1767	3	3.71395	2.14425
Par 5	patrón	5.7200	3	1.79218	1.03471
	CCA(2.5%)	13.4467	3	.36350	.20987
Par 6	patrón	5.7200	3	1.79218	1.03471
	CCA(5%)	17.7433	3	.50521	.29168
Par 7	patrón	5.7200	3	1.79218	1.03471
	CCA(10%)	17.5967	3	1.05548	.60938
Par 8	patrón	5.7200	3	1.79218	1.03471
	CCA(15%)	19.9433	3	1.66136	.95919

		t	gl	Sig. (bilateral)
Par 1	patrón - CB(2.5%)	-2.435	2	.135
Par 2	patrón - CB(5%)	-5.823	2	.028
Par 3	patrón - CB(10%)	-5.745	2	.029
Par 4	patrón - CB(15%)	-3.670	2	.067
Par 5	patrón - CCA(2.5%)	-6.399	2	.024
Par 6	patrón - CCA(5%)	-10.325	2	.009
Par 7	patrón - CCA(10%)	-7.572	2	.017
Par 8	patrón - CCA(15%)	-12.760	2	.006

En la tabla, la mayoría de la prueba de hipótesis comparativa para diferencias de medias del patrón con CB al 2.5%; 5%; 10% y 15% y CCA al 2.5%; 5%; 10% y 15% para California Bearing Ratio (CBR – 95 %) son significativas ( $p < 0.05$ ) a excepción de la hipótesis del patrón con CB al 2.5% y al 15% ( $p > 0.05$ ).

Por otro lado, las hipótesis más significativas y óptimas para California Bearing Ratio (CBR - 95%) está dado al incorporar 5% de CB ( $t = -5.823$ ) y 15% de CCA ( $t = -12.760$ ) verificando que son los más óptimos con una confiabilidad del 95%.

2. Prueba de hipótesis para California Bearing Ratio (CBR - 100%) con cenizas de carbón (CB) al 2.5%; 5%; 10% y 15% y cenizas de cascarilla de arroz (CCA) al 2.5%; 5%; 10% y 15%.

		Media	N	Desv. estándar	Media de error estándar
Par 1	patrón	8.4500	3	2.17525	1.25588
	CB(2.5%)	22.4300	3	4.53744	2.61969
Par 2	patrón	8.4500	3	2.17525	1.25588
	CB(5%)	25.3933	3	4.07787	2.35436
Par 3	patrón	8.4500	3	2.17525	1.25588
	CB(10%)	23.8433	3	4.16094	2.40232
Par 4	patrón	8.4500	3	2.17525	1.25588
	CB(15%)	22.8800	3	5.61089	3.23945
Par 5	patrón	8.4500	3	2.17525	1.25588
	CCA(2.5%)	22.2100	3	.91110	.52602
Par 6	patrón	8.4500	3	2.17525	1.25588
	CCA(5%)	23.9533	3	.90908	.52486
Par 7	patrón	8.4500	3	2.17525	1.25588
	CCA(10%)	25.5433	3	.67323	.38869
Par 8	patrón	8.4500	3	2.17525	1.25588
	CCA(15%)	27.0900	3	3.01518	1.74081

		t	gl	Sig. (bilateral)
Par 1	patrón - CB(2.5%)	-5.331	2	.033
Par 2	patrón - CB(5%)	-6.769	2	.021
Par 3	patrón - CB(10%)	-4.496	2	.046
Par 4	patrón - CB(15%)	-3.293	2	.081
Par 5	patrón - CCA(2.5%)	-7.730	2	.016
Par 6	patrón - CCA(5%)	-9.149	2	.012
Par 7	patrón - CCA(10%)	-10.639	2	.009
Par 8	patrón - CCA(15%)	-11.259	2	.008

En la tabla, la mayoría de la prueba de hipótesis comparativa para diferencias de medias del patrón con CB al 2.5%; 5%; 10% y 15% y CCA al 2.5%; 5%; 10% y 15% para California Bearing Ratio (CBR – 100 %) son significativas ( $p < 0.05$ ) a excepción de la hipótesis del patrón con CB al 15% ( $p > 0.05$ ).

Por otro lado, las hipótesis más significativas y óptimas para California Bearing Ratio (CBR - 100%) está dado al incorporar 5% de CB ( $t = -6.769$ ) y 15% de CCA ( $t = -11.259$ ) verificando que son los más óptimos con una confiabilidad del 95%.

3. Prueba de hipótesis para Proctor Modificado (densidad) con cenizas de carbón (CB) al 2.5%; 5%; 10% y 15% y cenizas de cascarilla de arroz (CCA) al 2.5%; 5%; 10% y 15%.

		Media	N	Desv. estándar	Media de error estándar
Par 1	patrón	1.8233	3	.01155	.00667
	CB(2.5%)	1.9000	3	.04000	.02309
Par 2	patrón	1.8233	3	.01155	.00667
	CB(5%)	1.8500	3	.01000	.00577
Par 3	patrón	1.8233	3	.01155	.00667
	CB(10%)	1.8333	3	.00577	.00333
Par 4	patrón	1.8233	3	.01155	.00667
	CB(15%)	1.8233	3	.00577	.00333
Par 5	patrón	1.8233	3	.01155	.00667
	CCA(2.5%)	1.7933	3	.02082	.01202
Par 6	patrón	1.8233	3	.01155	.00667
	CCA(5%)	1.7867	3	.02309	.01333
Par 7	patrón	1.8233	3	.01155	.00667
	CCA(10%)	1.7600	3	.00000	.00000
Par 8	patrón	1.8233	3	.01155	.00667
	CCA(15%)	1.7100	3	.03606	.02082

		t	gl	Sig. (bilateral)
Par 1	patrón - CB(2.5%)	-2.219	2	.086
Par 2	patrón - CB(5%)	-3.190	2	.015
Par 3	patrón - CB(10%)	-1.000	2	.043
Par 4	patrón - CB(15%)	.000	2	1.000
Par 5	patrón - CCA(2.5%)	5.196	2	.035
Par 6	patrón - CCA(5%)	5.500	2	.032
Par 7	patrón - CCA(10%)	7.800	2	.011
Par 8	patrón - CCA(15%)	9.500	2	.016

En la tabla, la mayoría de la prueba de hipótesis comparativa para diferencias de medias del patrón con CB al 2.5%; 5%; 10% y 15% y CCA al 2.5%; 5%; 10% y 15% para Proctor Modificado (densidad) son significativas ( $p < 0.05$ ) a excepción de la hipótesis del patrón con CB al 2.5% y al 15% ( $p > 0.05$ ).

Por otro lado, las hipótesis más significativas y óptimas para Proctor Modificado (densidad) está dado al incorporar 5% de CB ( $t = -3.190$ ) y 15% de CCA ( $t = 9.500$ ) verificando que son los más óptimos con una confiabilidad del 95%.

4. Prueba de hipótesis para Proctor Modificado (contenido óptimo de humedad) con cenizas de carbón (CB) al 2.5%; 5%; 10% y 15% y cenizas de cascarilla de arroz (CCA) al 2.5%; 5%; 10% y 15%.

		Media	N	Desv. estándar	Media de error estándar
Par 1	patrón	13.4233	3	.91784	.52992
	CB(2.5%)	11.4233	3	.86962	.50207
Par 2	patrón	13.4233	3	.91784	.52992
	CB(5%)	12.6767	3	.54262	.31328
Par 3	patrón	13.4233	3	.91784	.52992
	CB(10%)	12.8733	3	.55627	.32116
Par 4	patrón	13.4233	3	.91784	.52992
	CB(15%)	13.2467	3	.58757	.33923
Par 5	patrón	13.4233	3	.91784	.52992
	CCA(2.5%)	12.4633	3	.29738	.17169
Par 6	patrón	13.4233	3	.91784	.52992
	CCA(5%)	13.1400	3	.82286	.47508
Par 7	patrón	13.4233	3	.91784	.52992
	CCA(10%)	13.9633	3	1.14054	.65849
Par 8	patrón	13.4233	3	.91784	.52992
	CCA(15%)	13.1400	3	1.24772	.72037

		t	gl	Sig. (bilateral)
Par 1	patrón - CB(2.5%)	1.128	2	.020
Par 2	patrón - CB(5%)	6.957	2	.037
Par 3	patrón - CB(10%)	.737	2	.038
Par 4	patrón - CB(15%)	.203	2	.858
Par 5	patrón - CCA(2.5%)	.227	2	.030
Par 6	patrón - CCA(5%)	.285	2	.802
Par 7	patrón - CCA(10%)	-.455	2	.045
Par 8	patrón - CCA(15%)	1.374	2	.028

En la tabla, la mayoría de la prueba de hipótesis comparativa para diferencias de medias del patrón con CB al 2.5%; 5%; 10% y 15% y CCA al 2.5%; 5%; 10% y 15% para Proctor Modificado (contenido óptimo de humedad) son significativas ( $p < 0.05$ ) a excepción de la hipótesis del patrón con CB al 15% y la hipótesis del patrón con CCA al 5% ( $p > 0.05$ ).

Por otro lado, las hipótesis más significativas y óptimas para Proctor Modificado (contenido óptimo de humedad) está dado al incorporar 5% de CB ( $t = 6.957$ ) y 15% de CCA ( $t = 1.374$ ) verificando que son los más óptimos con una confiabilidad del 95%.



**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**  
(Universidad del Perú, Decana de América)

**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS**  
**Laboratorio de Arqueometría**

**Informe N° 027 - LAQ/2024**

**"Análisis de una muestra de ceniza de carbón por FRXDE"**

**Introducción.**

Se analizó por fluorescencia de rayos-X dispersiva en energía (FRXDE) una muestra de ceniza de carbón a pedido de los Sres. **Delgado Carranza Wilder** y **Nureña Ascencio Anghella Mariel**, como parte de su trabajo de tesis para titulación a ser sustentada en la Universidad Señor de Sipán, sede Pimentel, Chiclayo, titulada:

**"Estabilización de suelos arcillosos utilizando cenizas de cascarilla de arroz y cenizas de carbón para pavimentos."**

La muestra fue preparada en ceniza que anteriormente fue calcinada a una temperatura de 450° C.

**Arreglo experimental.**

Se utilizó un espectrómetro de FRXDE marca Amptek con ánodo de oro que operó a un voltaje de 30 kV y una corriente de 15  $\mu$ A. El espectro se acumuló durante un intervalo de 500 s utilizando 2048 canales, con ángulos de incidencia y salida de alrededor de 45°; distancia muestra a fuente de rayos-X de 5cm y distancia de muestra a detector de 1.8 cm aprox. La tasa de conteo, la cual depende de la geometría del arreglo experimental y de la composición elemental de la muestra, fue de alrededor de 1150 cts/s. Se usó una tasa baja de conteo para reducir la intensidad de los picos suma.

Esta técnica de FRXDE permite detectar la presencia de elementos químicos de número atómico Z igual y mayor que 13 (aluminio) mediante la detección de los rayos-X característicos que emiten los átomos. Las energías de estos rayos-X característicos aumentan con el valor de Z y pueden ser detectados siempre y cuando posean suficiente energía para poder penetrar la ventana del detector. Por esta limitación los picos de los elementos más livianos que Mg (Z=12) no pueden ser registrados en el espectro.

La fuente de rayos-X utilizada emite rayos-X primarios en dos componentes: un espectro con una distribución continua de 0 a 30 keV, y la otra que contiene los rayos-X característicos del tipo L y M de oro que se producen por el bombardeo de su ánodo de oro por electrones energéticos. Como consecuencia de esto, los espectros de FRXDE poseen tres componentes





**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**  
(Universidad del Perú, Decana de América)

**FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS**  
**Laboratorio de Arqueometría**

principales: una componente continua que es consecuencia de la dispersión por la muestra de los rayos-X de la componente continua de la fuente, un espectro discreto producido por la dispersión en la muestra de los rayos-X característicos de oro de la fuente, y el espectro discreto de los rayos-X característicos emitidos por la muestra de acuerdo a los elementos que contiene.

La presencia en el espectro de los rayos-X primarios de oro dispersados por la muestra interfiere con la detección de los rayos-X característicos de elementos como germanio y selenio, a menos que se encuentren en altas concentraciones.

El análisis elemental de la muestra se hace primero de manera cualitativa para identificar la presencia de elementos en la muestra. Para el análisis cuantitativo se utiliza un programa que se basa en el método de parámetros fundamentales y simula todo el arreglo experimental incluyendo: composición elemental de la muestra, geometría experimental, distribución espectral de los rayos-X que emite la fuente y su interacción con la muestra y el proceso de detección. En esta etapa se puede identificar la presencia de picos de rayos-X característicos que pudieron haber pasado inadvertidos en la parte cualitativa por superponerse a picos más intensos. Este programa se calibra usando una muestra de referencia certificada denominada "Suelo de San Joaquín" adquirida de la NIST.

**Resultados.**

En la Figura 1 se muestra el espectro de FRXDE de esta muestra de ceniza de carbón, la línea roja representa el espectro experimental de la muestra y la curva azul representa el espectro calculado, cubre el rango de energías de 1 a 18 keV que es el rango de interés en este estudio.

La Tabla 1 muestra el resultado del análisis elemental cuantitativo de esta muestra. Las concentraciones están dadas en % de la masa total de la muestra bajo el supuesto que los elementos presentes forman los óxidos más estables en un proceso de calcinación u otros compuestos de elementos más livianos que Al que esta técnica no puede identificar. Este modelo da lugar a una suma de concentraciones de 16.57%. Se supone que el resto del

2



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS  
Laboratorio de Arqueometría

material esta constituido de elementos ligeros. La ceniza de carbón es un residuo obtenido de la calcinación del carbón.

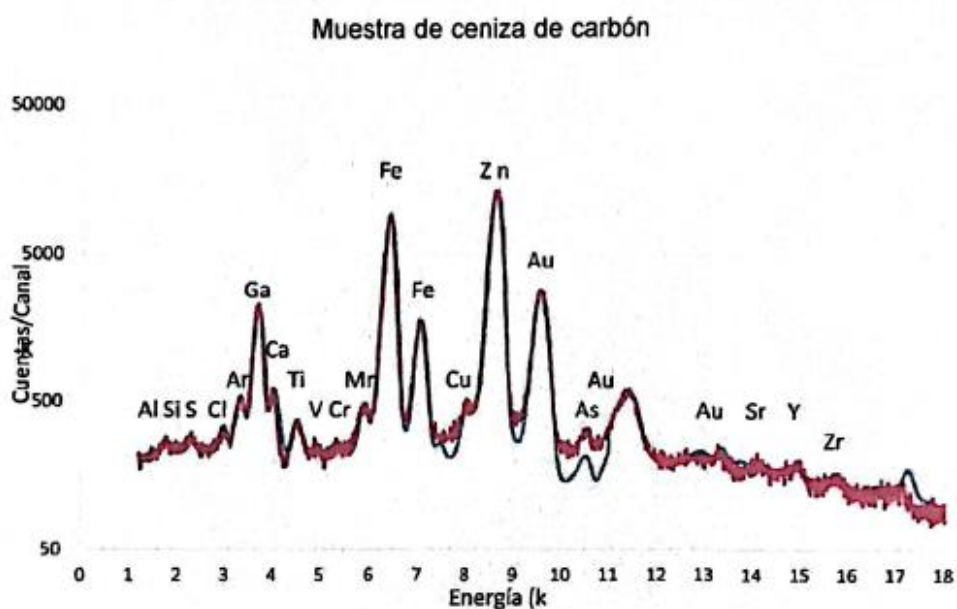


Figura 1. Espectro de FRXDE de ceniza de carbón en escala semi algoritmica. Incluye el pico de Ar del aire y los picos de los rayos-X primarios de Au dispersados por la muestra.





**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**  
(Universidad del Perú, Decana de América)

**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS**  
**Laboratorio de Arqueometría**

Tabla 1. Composición elemental de la ceniza de carbón en % de su masa total.

Óxido	Concentración % masa
Al	6.183
Si	3.900
S	0.528
Cl	0.041
K	0.493
Ca	1.941
Ti	0.084
V	0.008
Cr	0.004
Mn	0.055
Fe	1.722
Ni	0.011
Cu	0.029
Zn	1.534
As	0.013
Sr	0.009
Y	0.007
Zr	0.008
Total	16.570

Investigador Responsable:

Dr. Jorge A. Bravo Cabrejos.....  
Laboratorio de Arqueometría



Lima, 21 de octubre del 2024

4



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS  
Laboratorio de Arqueometría

Informe N° 024 - LAQ/2024

Análisis de una muestra de ceniza de cascarilla de arroz por FRXDE

**Introducción.**

Se analizó por fluorescencia de rayos-X dispersiva en energía (FRXDE) una muestra de ceniza de basalto a pedido de los Sres. Delgado Carranza Wilder y Nureña Ascencio Anghella Mariel como parte de su trabajo de tesis para titulación a ser sustentada en la Universidad Señor de Sipán, sede Pimentel, Chiclayo, titulada:

**“Estabilización de suelos arcillosos utilizando cenizas de cascarilla de arroz y cenizas de carbón para pavimentos”**

La muestra fue preparada en forma de ceniza que fue quemada anteriormente a una temperatura de 450° C.

**Arreglo experimental.**

Se utilizó un espectrómetro de FRXDE marca Amptek con ánodo de oro que operó a un voltaje de 30 kV y una corriente de 15 pA. El espectro se acumuló durante un intervalo de 500 s utilizando 2048 canales, con ángulos de incidencia y salida de alrededor de 45°; distancia muestra a fuente de rayos-X de 5 cm y distancia de muestra a detector de 1.8 cm aprox. La tasa de conteo, la cual depende de la geometría del arreglo experimental y de la composición elemental de la muestra, fue de alrededor de 1150 cts/s. Se usó una tasa baja de conteo para reducir la intensidad de los picos suma.

Esta técnica de FRXDE permite detectar la presencia de elementos químicos de número atómico  $Z$  igual y mayor que 13 (aluminio) mediante la detección de los rayos-X característicos que emiten los átomos. Las energías de estos rayos-X característicos aumentan con el valor de  $Z$  y pueden ser detectados siempre y cuando posean suficiente energía para poder penetrar la ventana del detector. Por esta limitación los picos de los elementos más livianos que Mg ( $Z=12$ ) no pueden ser registrados en el espectro.

La fuente de rayos-X utilizada emite rayos-X primarios en dos componentes: un espectro con una distribución continua de 0 a 30 keV, y la otra que contiene los rayos-X característicos del tipo L y M de oro que se producen por el bombardeo de su ánodo de oro por electrones



# UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, Decana de América)

## FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

### Laboratorio de Arqueometría

energéticos. Como consecuencia de esto, los espectros de FRXDE poseen tres componentes principales: una componente continua que es consecuencia de la dispersión por la muestra de los rayos-X de la componente continua de la fuente, un espectro discreto producido por la dispersión en la muestra de los rayos-X característicos de oro de la fuente, y el espectro discreto de los rayos-X característicos emitidos por la muestra de acuerdo a los elementos que contiene.

La presencia en el espectro de los rayos-X primarios de oro dispersados por la muestra interfiere con la detección de los rayos-X característicos de elementos como germanio y selenio, a menos que se encuentren en altas concentraciones.

El análisis elemental de la muestra se hace primero de manera cualitativa para identificar la presencia de elementos en la muestra. Para el análisis cuantitativo se utiliza un programa que se basa en el método de parámetros fundamentales y simula todo el arreglo experimental incluyendo: composición elemental de la muestra, geometría experimental, distribución espectral de los rayos-X que emite la fuente y su interacción con la muestra y el proceso de detección. En esta etapa se puede identificar la presencia de picos de rayos-X característicos que pudieron haber pasado inadvertidos en la parte cualitativa por superponerse a picos más intensos. Este programa se calibra usando una muestra de referencia certificada denominada "Suelo de San Joaquin" adquirida de la NIST.

#### Resultados.

En la Figura 1 se muestra el espectro de FRXDE de esta muestra de ceniza de cascarilla de arroz. La línea roja representa el espectro experimental de la muestra y la curva azul representa el espectro calculado. Cubre el rango de energías de 1 a 18 keV que es el rango de interés en este

2





Figura 1. Espectro de FRXDE de ceniza de cascarilla de arroz en escala semi logarítmica. Incluye el pico de Ar del aire y los picos de los rayos-X primarios de Au dispersados por la muestra.

La Tabla 1 muestra el resultado del análisis elemental cuantitativo de esta muestras. Las concentraciones están dadas en % de la masa total de la muestra bajo el supuesto que los elementos presentes forman los óxidos más estables en un proceso de calcinación u otros compuestos con elementos más livianos que Al. Este modelo da lugar a una suma de concentraciones de 30.11%. Se supone que el resto de la muestra está constituido en su mayor parte por O y otros elementos más livianos que Al que esta técnica no puede identificar..



**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**  
(Universidad del Perú, Decana de América)  
**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS**  
**Laboratorio de Arqueometría**

Tabla 1. Composición elemental de la ceniza de cascarilla de arroz en % de su masa total.

Óxido	Concentración % masa
Al	6.410
Si	13.673
Cl	0.047
K	1.234
Ca	2.805
Ti	0.377
V	0.009
Mn	0.091
Fe	5.409
Co	0.007
Cu	0.009
Zn	0.018
Sr	0.011
Zr	0.008
Nb	0.003
Total	30.111

Investigador Responsable:

Dr. Jorge A. Bravo Cabrejos.....  
Laboratorio de Arqueometría



Lima, 21 de octubre de 2024