

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, SISTEMAS Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**Estudio experimental en la estabilización de suelos de baja capacidad portante para caminos no pavimentados utilizando cal natural, ceniza de briquetas de combustión de ladrilleras artesanales y ceniza de cascarilla de arroz, Lambayeque 2024**

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

Línea de Investigación: Geotecnia y Suelos

**Autores:**

Bach. Castro Diaz, Edwin Fernando

Bach. Juarez Chuquista, Rafael

**Asesor:**

Mg. Ing. Borja Suárez, Manuel Alejandro

Lambayeque – Perú

2024

**Página del Jurado**

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, SISTEMAS Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**Estudio experimental en la estabilización de suelos de baja capacidad portante para caminos no pavimentados utilizando cal natural, ceniza de briquetas de combustión de ladrilleras artesanales y ceniza de cascarilla de arroz, Lambayeque 2024**

**MIEMBROS DEL JURADO:**

**Dr. Ing. Hamilton Vladimir Cueva Campos**  
**Presidente**

**Dra. Ing. Yrma Del Carmen Capuñay Capuñay**  
**Secretaria**

**Msc. Ing. Domingo Jorge Luis Davila Vidarte**  
**Vocal**

**Lambayeque – Perú**

**2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, SISTEMAS Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**Estudio experimental en la estabilización de suelos de baja capacidad portante para caminos no pavimentados utilizando cal natural, ceniza de briquetas de combustión de ladrilleras artesanales y ceniza de cascarilla de arroz, Lambayeque 2024**

**Autores:**

---

Bach. Castro Diaz, Edwin Fernando  
Autor

---

Bach. Juárez Chuquista, Rafael  
Autor

**Asesor:**

---

Msc. Ing. Borja Suárez, Manuel Alejandro  
Asesor

**Lambayeque – Perú**

**2024**

## **Dedicatoria**

### **Este estudio dedicado a:**

Dedicado a Dios todopoderoso, por permitirme lograr una meta propuesta, la de ser profesional.

A mis progenitores que me brindan su apoyo constante y valores, que propician en mí el ser un buen profesional.

A mis docentes, amigos y compañero de tesis por las vivencias y experiencias generadas en la Universidad Pedro Ruiz Gallo.

**Castro Diaz, Edwin Fernando.**

### **Este estudio dedicado a:**

Dedicado a mi Dios todo poderoso, por haber finalizado satisfactoriamente con éxito mi vida profesional.

A mis padres, hermanos y familia que me brindaron su apoyo desinteresado y leal.

**Juarez Chuquista, Rafael.**



## **Agradecimiento**

### **Este estudio va dedicado a:**

Un agradecimiento especial a nuestro señor Dios, por el cual ha permitido cumplir una de mis primeras metas como profesional.

A mis padres por aconsejarme y darme su apoyo constante.

**Castro Diaz, Edwin Fernando.**

### **Este estudio va dedicado a:**

Mis padres por ser el motivo de mis logros en mi vida personal

**Juarez Chuquista, Rafael.**

## **Resumen**

Los suelos arcillosos carecen de capacidades portantes elevadas y un buen drenaje de agua, lo cual es sinónimo de contraer una expansión del suelo natural, acrecentando su volumen y por consecuencia ser un suelo casi impermeable y eso dependerá de la clase de arcilla predominante en el estrato. En Lambayeque se producen elevadas cantidades de material residual como son las cenizas de briquetas de combustión de ladrilleras artesanales (CBL) y cenizas de cascarilla de arroz (CCA). Como una forma de reducir los índices de acumulación de estos materiales y mejorar las capacidades del suelo. Este estudio experimental tiene como objetivo analizar las propiedades físicas y mecánicas del suelo en la estabilización de suelos de baja capacidad portante para caminos no pavimentados utilizando cal natural, ceniza de briquetas de combustión de ladrilleras artesanales y ceniza de cascarillas de arroz, Lambayeque, 2024. Se preparó el suelo con cal en una dosis constante de 8% combinado con CBL en dosis en 5%, 10% y 15%, y otro grupo donde se utilizó CCA con distintas dosis en 7%, 14% y 21%, estas muestras fueron sometidas a ensayos de laboratorio para determinar las propiedades del suelo, mediante el Proctor Modificado y CBR. El resultado de la presente investigación muestra que el suelo tratado con la combinación de 8CAL+21CCA aumenta hasta 5.9 veces la capacidad de soporte del suelo respecto a las otras muestras experimentales como 8CAL+15CBL donde aumentó hasta 7.8 veces. La conclusión que se llega es que utilizar ambas cenizas mejoran la capacidad de soporte del suelo natural pasando de una calidad insuficiente (S1) a una calidad regular (S2) de la subrasante, se recomienda utilizar la CCA en estabilizaciones de subrasante en suelos arcillosos con cal.

**Palabras clave:** Baja capacidad portante, Cal, Camino no pavimentado, Cenizas de briquetas de combustión artesanales, Ceniza de cascarilla de arroz, Estabilización de suelos.

## **Abstract**

Clay soils lack high bearing capacities and good water drainage, which is synonymous of contracting an expansion of the natural soil, increasing its volume and consequently being an almost impermeable soil, and this will depend on the predominant type of clay in the stratum. In Lambayeque, high quantities of residual material are produced, such as ash from burning briquettes from artisanal brick kilns (CBL) and rice husk ash (CCA). As a way to reduce the accumulation rates of these materials and improve soil capabilities. The objective of this experimental study is to analyze the physical and mechanical properties of the soil with natural lime, ash from artisanal brick kilns and rice husk ash in the stabilization of low bearing capacity soils for unpaved roads, Lambayeque, 2024. The soil was prepared with lime at a constant dose of 8% combined with CBL at doses of 5%, 10% and 15%, and another group where CCA was used at different doses of 7%, 14% and 21%. These samples were subjected to laboratory tests to determine the soil properties, by means of the Modified Proctor and CBR. The result of the present investigation shows that the soil treated with the combination of 8CAL+21CCA increases up to 5.9 times the bearing capacity of the soil with respect to the other experimental samples such as 8CAL+15CBL where it increased up to 7.8 times. The conclusion reached is that using both ashes improves the bearing capacity of the natural soil from an insufficient quality (S1) to a regular quality (S2) of the subgrade, it is recommended to use the CCA in subgrade stabilization in clayey soils with lime.

**Key words:** Low bearing capacity, Lime, Unpaved road, Artisanal combustion briquette ash, Rice husk ash, Soil stabilization.

## Índice General

Página del Jurado.....	2
Dedicatoria.....	4
Agradecimiento .....	5
Resumen .....	6
Abstract.....	7
Índice General.....	8
Índice de Tablas.....	10
Índice de Figuras .....	11
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. SÍNTESIS DE LA SITUACIÓN DEL PROBLEMA.....	12
1.2. ANTECEDENTES DE ESTUDIO .....	13
1.3. FORMULACIÓN DE INVESTIGACIÓN.....	16
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO .....	17
1.5. HIPÓTESIS.....	17
1.6. OBJETIVOS .....	18
1.6.1. OBJETIVO GENERAL .....	18
1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. GENERALIDADES DE LOS SUELOS .....	19
2.2. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS .....	20
2.3. CLASE DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS .....	20
2.3. CAMINOS NO PAVIMENTADOS.....	25
2.4. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO .....	27
2.5. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.....	32
2.6. CAL.....	35
2.7. CENIZAS DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES .....	38
2.8. CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ .....	40
2.7. USO DE ADITIVOS COMBINADOS EN LA INGENIERÍA CIVIL .....	43
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....	47
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	47
3.2. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES .....	48
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	49
3.3.1. POBLACIÓN .....	49

3.3.2. MUESTRA .....	49
3.4. TÉCNICA, INSTRUMENTOS, EQUIPOS Y MATERIALES .....	54
3.4.1. TÉCNICAS .....	54
3.4.2. INSTRUMENTOS .....	54
3.4.3. EQUIPOS .....	55
3.4.4. MATERIALES.....	55
CAPÍTULO IV: INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	56
4.1. PROCEDIMIENTOS Y RECOPIACIÓN DE DATOS .....	56
4.2. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	57
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	65
5.1. CONCLUSIONES .....	65
5.2. RECOMENDACIONES .....	66
BIBLIOGRAFÍA .....	67
ANEXOS .....	76

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Tamaño de partículas y clasificación.....	27
<b>Tabla 2.</b> Índice de plasticidad y clasificación de plasticidad considerando a Burmister.....	29
<b>Tabla 3.</b> Clasificaciones de suelos naturales.....	31
<b>Tabla 4.</b> Parámetros normativos de la capacidad de soporte de California nacional .....	34
<b>Tabla 5.</b> Composición química del material Cal, CBL y CCA .....	41
<b>Tabla 6.</b> Operacionalización de la variable independiente y dependiente.....	48
<b>Tabla 7.</b> Descripción de muestras sin y con tratamientos respecto a sus dosificaciones.....	51
<b>Tabla 8.</b> Cuantía de muestras experimentales de investigación para cada ensayo .....	52
<b>Tabla 9.</b> Resultados de plasticidad de la muestra natural .....	57
<b>Tabla 10.</b> Resultados de plasticidad de las muestras de suelo estabilizado.....	58
<b>Tabla 11.</b> Resultados del ensayo de compactación de cada combinación y variaciones porcentuales .....	61

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Esquema del proceso de estabilización de suelos .....	19
<b>Figura 2.</b> Procedimiento de estabilización utilizando rodillo denominado pata de cabra .....	22
<b>Figura 3.</b> (A) Muestra alterada e inalterada (B) obtenida in situ .....	24
<b>Figura 4.</b> Gráfica de plasticidad.....	30
<b>Figura 5.</b> Dispositivo de prueba de límite de líquido y herramientas de ranurado.....	30
<b>Figura 6.</b> Curvas de compactación típicas .....	32
<b>Figura 7.</b> Instrumento para la prueba de CBR .....	35
<b>Figura 8.</b> Producto de cal viva (a); cal hidratada (b) .....	36
<b>Figura 9.</b> Muestra recolectada de ceniza .....	38
<b>Figura 10.</b> Diseño de briqueta en base a materias primas .....	39
<b>Figura 11.</b> Diagrama de flujo para la síntesis de cenizas de cáscara de arroz en la estabilización de suelos .....	40
<b>Figura 12.</b> Microestructura de la RHA natural. (a) partícula RHA a bajo aumento (200x); (b) Partícula RHA con aumento (4000x). .....	42
<b>Figura 13.</b> Materiales para la prueba a Suelo arcilloso con ceniza de cáscara de arroz .....	43
<b>Figura 14.</b> Ubicación de las calicatas en la zona de estudio.....	43
<b>Figura 15.</b> Ubicación de puntos para la elaboración de calicatas de la zona de estudio .....	50
<b>Figura 16.</b> Esquema de proceso de mezclado de aditivo más suelo .....	53
<b>Figura 17.</b> Esquema de descripción de procesos sobre la investigación a desarrollar. ....	56
<b>Figura 18.</b> Curva de compactación de las muestras naturales .....	59
<b>Figura 19.</b> Resultados de compactación respecto al OCH % del suelo natural.....	60
<b>Figura 20.</b> Resultados de compactación respecto al MDS gr/cm <sup>3</sup> del suelo natural .....	60
<b>Figura 21.</b> Curva de compactación con las muestras experimentales estabilizadas.....	61
<b>Figura 22.</b> Efecto de la combinación de CN, CBL y CN, CCA en el suelo natural respecto a la compactación .....	62
<b>Figura 23.</b> Resultados de la capacidad de soporte de california CBR (%) de la muestra natural de suelo .....	63
<b>Figura 24.</b> Efecto de la combinación de CN, CBL y CN, CCA en el suelo natural respecto al CBR .....	64

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1.1. SÍNTESIS DE LA SITUACIÓN DEL PROBLEMA**

El avance de las ciudades y urbanización, se ubican entre los problemas más relevantes que afectan hoy a los suelos. Lo que es causante de problemas que las personas con el afán de invertir en terrenos y sin contar con asesoramientos de profesionales o expertos construyan o edifiquen obras de ingeniería sobre suelos no aptos para la construcción, donde obras de mediana o alta envergadura puedan asentarse, colocando en riesgo la integridad de las personas y sus familias.

El potencial latente es que las carreteras o vías sin asfaltar usualmente están ubicados en suelos arcillosos, particularmente en estaciones semiáridas o áridas, es bastante probable hallar inconvenientes en relación con la inestabilidad volumétrica ante la ganancia o pérdida de agua.

Se considera que los suelos arcillosos carecen de capacidades portantes elevadas y un buen drenaje de agua, lo cual es sinónimo de contraer una expansión del suelo natural, acrecentando su volumen y por consecuencia ser un suelo casi impermeable y eso dependerá de la clase de arcilla predominante en el estrato. En el caso expuesto resultaría perjudicial para cualquier tipo de infraestructura vial, pues su presencia ocasionaría problemas básicos para el diseño de la composición estructural de la vía, vitalmente la subrasante, pues ésta última posee una capacidad portante muy disminuida.

Es así que los investigadores quieren investigar sobre la influencia de la cal natural en la estabilización del suelo natural de las vías urbanas ubicado en el Centro Poblado Capilla Santa Rosa, Caserío Sialupe Baca Sector I y Caserío Sialupe Baca Rio Hondo, Distrito Lambayeque, Provincia Lambayeque, Departamento Lambayeque. Asimismo, las combinaciones con cal natural más la ceniza de briquetas de ladrilleras artesanales y así también las combinaciones con cal natural más la ceniza de cascarilla de arroz en la estabilización del suelo para analizar la influencia del comportamiento de las propiedades físico-mecánicas. Siendo estas técnicas de estabilización con estos materiales muy positivas para conocimientos actuales de nuevas tecnologías.



Además, se incentivará a promover este residuo que es potencialmente accesible de obtener, ya que la región de Lambayeque produce 412.000 toneladas en la campaña agrícola del 2020-2021, según la (República, 2021) (Vega, 2021). Las ladrilleras artesanales, producen cantidades de 200 a 300 kilogramos semanales, que representa a 12 toneladas anuales aproximadamente en el sector de Lambayeque. En el Perú se establecen aproximadamente 15 grandes ladrilleras industriales y más de 2500 pequeñas ladrilleras artesanales.

Se hallan aproximadamente 45,000.00 ladrillera artesanales en América Latina y producen entre un 30% a 50% de producción equivalente de ladrillos, produciendo CO<sub>2</sub> (Dióxido de carbono) generando 850,000.00 toneladas de este gas anualmente (Febres Herrera, 2017).

De no realizarse esta investigación, no existiría un aporte de como influiría la cal natural en la estabilización del suelo natural, y las combinaciones con cal natural más la ceniza de briquetas de ladrilleras artesanales y así también las combinaciones con cal natural más la ceniza de cascarilla de arroz en la estabilización del suelo ni tampoco un aporte para la industria de carreteras o estabilizaciones de estas, además de su aporte a la mitigación del cuidado del medio ambiente.

## **1.2. ANTECEDENTES DE ESTUDIO**

### **A nivel internacional**

**Nadie et al.** (2023) en su investigación indexada titulada “The application of rice husk ash and lime as a stabilizer for constriction purposes”, tuvieron como objetivo mejorar las propiedades de ingeniería, resistencia y el valor de CBR de suelos arenosos de grano fino. Se tuvo como muestras suelos de Mirpur-12 Dhaka, Bangladesh. Los tratamientos se mezclaron con ceniza de cáscara de arroz en dosis variables de 4, 8, 12, 16, 20, 24 y 28% en peso, así como contenido de cal del 6, 8, 10, 12, 14 y 16%. Los aumentos de estabilizados incrementan directamente los límites líquidos, plásticos. No obstante, el índice de plasticidad reduce gradualmente. Se redujo la máxima densidad seca de 1.61 a 1.38 g/cm<sup>3</sup> y el aumento de contenido de humedad fue del 16

al 20.9% para la adición de 28% de ceniza. Se concluye que usar 8% de cal y 20% de ceniza de cáscara de arroz mejora la estabilización y aumentos de CBR y resistencia a la compresión libre.

**Yin, Lekalpure y Ndiema** (2022) en su investigación científica titulada “*Experimental Study of Black Cotton Soil Stabilization with Natural Lime and Pozzolans in Pavement Subgrade Construction*”, tuvo como objetivo principal explorar las características de ingeniería del suelo de algodón negro (BCS) estabilizado con cal natural y ceniza volcánica (VA) y sus combinaciones, en el país de Kenya. Tuvo como resultados que los límites de Atterberg cumplen con los requisitos mínimos de hinchamiento, plasticidad con la combinación de 3% cal natural + 20% VA, en cuanto al CBR al agregar 3% de cal con 20% de VA acrecentó los valores naturales en 10.76 veces respecto al suelo natural; disminuyó la plasticidad en un 29% y asimismo el porcentaje de hinchamiento en un 88%. Se concluyó que la cal natural influye significativamente en las características del suelo de baja capacidad portante.

**Kannan et al.** (2019) en su investigación científica titulada “Effects of rice husk ash lime on clay soil stabilization”, tuvo como objetivo estabilizar el suelo con cal en la proporción del 5, 15, y 25%, en una segunda fase estabilizar el óptimo de cal con ceniza de cáscara de arroz con 5, 15 y 25%. Como resultados se obtuvo que a partir de CBR se encontró que la proporción óptima de cal era el 10%; a partir de los resultados de la proporción óptima de cal y ceniza de cáscara de arroz condujo a un aumento en el índice de plasticidad y contribuyó al aumento del contenido de humedad y a una disminución de la densidad seca máxima. Se concluye que la combinación de suelo+10CAL+25% muestra ser la que generó un mejor comportamiento en sus propiedades mecánicas de resistencia del suelo arcilloso CL.

**Singh y Venkatesh** (2023) en su estudio científico titulado “Stabilizing clayey soil in subgrade with waste ash” tuvieron como objetivo central estabilizar el suelo arcilloso con proporciones variables de cenizas residuales de hornos de ladrillos (BKWA) en el suelo reemplazando el suelo en peso al 2.5, 5, 7.5, 10 y 15%. El estudio realizado muestra que los resultados de resistencia a

la compresión libre UCS y la relación de carga de California CBR el suelo arcilloso aumenta para una cantidad óptima de BKWA del 10%, el valor de UCS aumentó un 125.71%.

### **A nivel nacional**

**Esquivel y Gamez** (2019) en su tesis de pregrado titulada *“Cal y cenizas de cáscara de arroz para estabilizar la superficie de rodadura en la vía Santa Clemencia, Chachapoyas”*, tuvieron como propósito principal analizar un estudio experimental con la utilización de cal y cenizas de cáscaras de arroz como un método alternativo para la estabilización de suelos que tienen baja capacidad de soporte, ubicada en el sector comprendido entre Santa Clemencia a Chachapoyas. Se tuvo como metodología una población de 6.6 km de trocha, y de estas se extrajeron 07 calicatas, donde se realizaron ensayos físicos y mecánicos. Como resultados se tuvo las mezclas con cal en dosis de 2, 4 y 6% y cenizas de cáscara de arroz en dosis de 5, 10 y 20%, donde la combinación de S93-C2-CCA5 obtuvo el mejor resultado de CBR al 95%MDS con un valor del 24%, acrecentando un 2.6 veces respecto a la muestra natural del suelo. Se concluyó que se puede trabajar en combinación de cal y ceniza de cascara de arroz en la mejora de la capacidad de soporte del suelo arcilloso.

Este antecedente se seleccionó por ser un documento nacional actual, y tener datos relevantes a la variable independiente de la cal y ceniza de cáscara de arroz y la variable dependiente de estabilización de suelos, siendo pertinente incluirlo como fuente de discusión para más adelante.

**Arias y Ramos** (2020) tesis de pregrado titulada *“Aplicación de cenizas de carbón procedentes de ladrilleras artesanales, para el mejoramiento de la subrasante, AA.HH. Los Ángeles, Lurigancho-Chosica, 2020”*, de la ciudad de Lima, tuvo como propósito general determinar el mejoramiento de la subrasante del AA.HH Los Ángeles-Lurigancho, presentó una metodología con enfoque cuantitativo, una clase aplicada, diseño cuasi-experimental, se tuvo una población de 03 calicatas, lo cual se combinó con los suelos en dosis (5, 10 y 15%) de ceniza de carbón de ladrillera. Tuvo como resultados que los límites de consistencia se redujeron en 31.1, 71 y 100% respecto a las muestras iniciales de suelo natural, el ensayo de CBR mostró aumentos

significativos desde un 7.27% hasta un 141.18%, el óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca mostraron acrecentamientos mínimos de 0.81% y superior de 16.1% respecto a la muestra natural. Se concluyó la ceniza de carbón de ladrillera mejoró significativamente la resistencia de la subrasante logrando modificar su categoría a S3 (Subrasante buena).

El antecedente descrito anteriormente es propuesto por la importancia y la conectividad y semejanza de variables con el tema propuesto por los investigadores, otorgando resultados actuales sobre el tema de estudio.

### **A nivel local**

**Villanueva** (2023) en su estudio de pregrado titulado “Evaluación de la ceniza de carbón como aditivo estabilizador en suelos arcillosos con fines de pavimentación”, tuvo como propósito determinar la evaluación de ceniza de carbón provenientes de las ladrilleras de la Victoria con el fin de estabilizar suelos arcillosos con fines de pavimentación. Se recolectó la ceniza de 4 ladrilleras seleccionando solo la de mejor comportamiento químico puzolánico. La estabilización del suelo implicó utilizar 5, 10, 15 y 20% en peso seco. Los valores de Proctor y CBR indicaron cambios significativos en la densidad y resistencia, considerando que al 10% de ceniza se tuvo una mejor resistencia. Se concluye que el estudio contribuye a una nueva alternativa de aditivo en el ámbito de la estabilización de suelos.

### **1.3. FORMULACIÓN DE INVESTIGACIÓN**

¿De qué manera influye el estudio experimental en la estabilización de suelos de baja capacidad portante para caminos no pavimentados utilizando cal natural, ceniza de briquetas de combustión de ladrilleras artesanales y ceniza de cascarilla de arroz, Lambayeque, 2024?

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO**

La investigación se justifica dentro del aspecto tecnológico pues se considera que los residuos como las cenizas de briquetas de combustión de ladrilleras artesanales y cenizas de cascarilla de arroz con el apoyo de la cal brindan un comportamiento beneficioso en el comportamiento del suelo de baja capacidad portante, siendo de interés para futuros estudios respecto a la línea de investigación de Geotecnia y Suelos.

Por otra parte, la justificación social se aplica desde darle otro uso a estos residuos contaminantes (cenizas) y aplicarlo para un problema frecuente habitual en los centros poblados alejados de las ciudades como fue el caso del Centro Poblado Capilla Santa Rosa, Caserío Sialupe Baca Sector I y Caserío Sialupe Baca Rio Hondo, Distrito Lambayeque, Provincia Lambayeque, Departamento Lambayeque, respecto a las condiciones a nivel de subrasante que presentan sus vías sin pavimentar el que genera un malestar en la población al momento de transitar.

Y finalmente, la justificación ambiental pues la acumulación de estos residuos usualmente termina esparcidos a las afueras de los centros poblados el cual genera una contaminación ambiental debido a que son partículas finas que perjudican la salud, a su vez se buscó dar otra utilidad asociada con otro aditivo para mejorar las capacidades del suelo de la zona de estudio seleccionada.

#### **1.5. HIPÓTESIS**

La cal natural, ceniza de briquetas de combustión de ladrilleras artesanales y ceniza de cascarilla de arroz mejoran significativamente en la estabilización de suelos de baja capacidad portante con aplicación en caminos no pavimentados, Lambayeque, 2024.

#### **HIPÓTESIS NULA**

La cal natural, ceniza de briquetas de combustión de ladrilleras artesanales y ceniza de cascarilla de arroz no mejoran significativamente en la estabilización de suelos de baja capacidad portante con aplicación en caminos no pavimentados, Lambayeque, 2024.

## **1.6. OBJETIVOS**

### **1.6.1. OBJETIVO GENERAL**

Analizar las propiedades físicas y mecánicas del suelo en la estabilización de suelos de baja capacidad portante para caminos no pavimentados utilizando cal natural, ceniza de briquetas de combustión de ladrilleras artesanales y ceniza de cascarillas de arroz, Lambayeque, 2024.

### **1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar las propiedades físicas del suelo en su estado natural y suelo estabilizado con cal natural, ceniza de briquetas de combustión de ladrilleras artesanales y ceniza de cascarillas de arroz en la estabilización de suelos de baja capacidad portante para caminos no pavimentados.
- Evaluar las propiedades mecánicas del suelo en su estado natural y suelo estabilizado con cal natural, ceniza de briquetas de combustión de ladrilleras artesanales y ceniza de cascarillas de arroz en la estabilización de suelos de baja capacidad portante para caminos no pavimentados.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

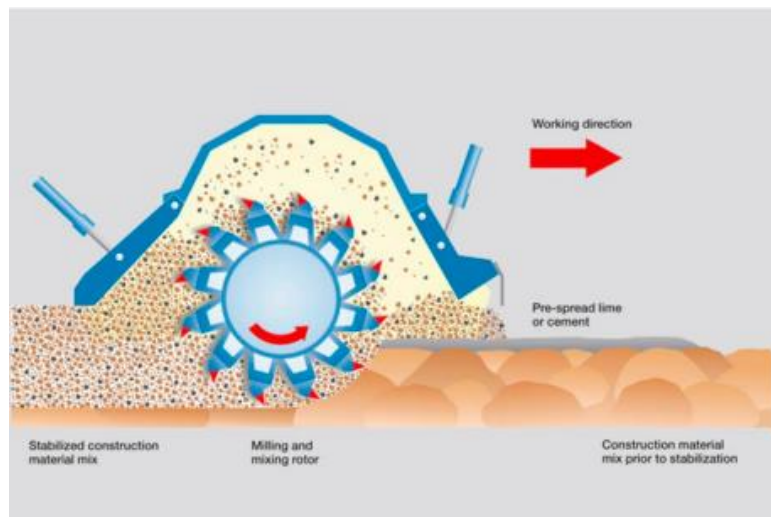
### 2.1. GENERALIDADES DE LOS SUELOS

Es el material más abundante de la construcción, ya que usa para viviendas, caminos, en el cual el ingeniero debe de seleccionar el tipo de suelo que sea adecuado según la estructura que requiera (Das & Sobhan, Principles of Geotechnical Engineering, 2018).

Son materiales naturales anisotrópicos y no homogéneos; algunos de ellos pueden tener propiedades que son adecuadas para la aplicación en los estudios geotécnicos (Yilmaz et al., 2019).

#### Figura 1.

*Esquema del proceso de estabilización de suelos*



Nota: Descripción gráfica del proceso de una estabilización de suelo, según (Amhadi & Assaf, 2018).

#### 2.1.1. Composición de los suelos

Está compuesto por sólido, líquido y gaseoso.

- **Sólidos:** Esencialmente compuesto por material inerte roca y sólidos orgánicos-minerales, en este caso un ejemplo sería el humus (Romero & Solar, 2020).

- **Líquidos:** Esencialmente compuesto por gran composición de agua, el transporte en las cavidades del interior del suelo se da por la capilaridad, dependiendo por tener esa capacidad que deje de pasar el agua siendo permeable (Romero & Solar, 2020).
- **Gaseosos:** Los suelos tienen gases atmosféricos en este caso el esencial que es el oxígeno o dióxidos de carbono, y se insiste que los suelos existente variedad de gases como el metano u óxido nitroso (Romero & Solar, 2020).

## 2.2. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

La estabilización del suelo significa esencialmente la unificación de sus partículas, lo que conduce a una modificación del tejido y la textura que le permite lograr una mayor resistencia y durabilidad

La estabilización de suelos según el MTC (2014), menciona que se puede incrementar las capacidades de un suelo con la estabilización de suelo, mejorando sus capacidades mecánicas como físicas a través de procedimientos o técnicas de estabilización como físicas, mecánicas, químicas.

Por lo general, las estabilizaciones son en sub-rasantes de baja pobreza resistente, requiriendo aditivos para poder incrementar estas falencias que tiene cada tipo de suelo, cualquier mecanismo que es seguido de un proceso de compactación (Pezo López, 2018).

## 2.3. CLASE DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

Las siguientes son algunas técnicas de estabilización confiables, como la estabilización mecánica, la estabilización física, la estabilización química, la estabilización térmica, la estabilización con geotextiles, etc (Mohd et al., 2020). La estabilización mecánica o física incluye compactación, prehumedecimiento, refuerzo y tratamiento electrocinético, mientras que la estabilización química se logra agregando materiales como cemento, cal, cenizas volantes (FA) y sales. El cemento, los FA y la cal se consideran aditivos tradicionales; Polvo de cemento



Portland, polvo de horno de cal (LKD) y escorias, como aditivos subproductos, junto con aceites sulfonados, polímeros, sales y enzimas, como aditivos no tradicionales. En el caso de la estabilización física, el rendimiento del suelo mejora sin alterar la química, mientras que, en el caso de la estabilización química, se producen reacciones en la matriz del suelo que conducen a una mejor unión y estabilidad.

### **Estabilización física**

Este tipo de estabilización se emplea para el suelo originando variaciones físicas en el mismo, existiendo diversos métodos sugiriendo estas:

- Mezclas de suelos, esta clase de estabilidad es de amplia utilidad en su uso, sin embargo, por sí sola no puede lograr efectos significativos, valiéndose siempre de por lo menos la compactación como un complemento fijo (Nik et al., 2019).

La representación de un suelo de grano grueso, como las gravas y arenas, se caracteriza por tener una fricción interna significativa, lo que le permite resistir fuerzas de fricción considerables. A pesar de esta propiedad, este tipo de suelo no es adecuado para ser utilizado como base en la construcción de carreteras, ya que su falta de cohesión permite que las partículas se desplacen libremente. Con el paso de los vehículos, estas partículas pueden separarse e incluso salirse del camino, lo que afecta la estabilidad de la carretera (Araya Díaz, 2010, pág. 12).

En contraste, las arcillas presentan una notable cohesión, pero baja fricción, siendo en cierto sentido la contraparte de los suelos de grano grueso. Sin embargo, su estabilidad se ve comprometida en condiciones de elevada humedad. La combinación adecuada de estas dos categorías de suelos puede resultar en un material estable, aprovechando tanto la fricción interna como la cohesión de cada tipo de suelo para mantener las partículas en una disposición estable (Araya Díaz, 2010, pág. 12). Algunos ejemplos incluyen:

- Geotextiles

- Vibroflotación
- Consolidación previa

### **Estabilización mecánica**

Esta clase de estabilización es considerada como con la que mejor se logra mejorar sustancialmente un suelo sin que se origine reacciones químicas de gran relevancia (Amhadi & Assaf, 2018). Como ejemplo se tiene:

- Compactación, este mejoramiento usualmente se realiza en la sub-base, base y en las carpetas asfálticas, respectivamente.
- Este proceso se realiza directamente en la zona de trabajo con el uso de maquinaria mediante procesos de amasado, presión, compactación, impacto u vibraciones.

### **Figura 2.**

*Procedimiento de estabilización utilizando rodillo denominado pata de cabra*



Nota: Se observa el proceso de estabilización mediante el método de compactación con uso de maquinaria, según (Pachecom Moya, 2023).

### **Estabilización química**

Esta clase de estabilización utiliza este nombre debido a que principalmente emplea sustancia química que son sustancias patentizadas, cuyo proceso incorpora la sustitución de iones metálicos y modificaciones en la constitución de los suelos que se encuentran involucrados en el proceso (Fondjo et al., 2021). Como materiales químicos empleados actualmente son considerados los siguientes:

- Cal, reduce la plasticidad del material terroso (arcillas), y es una solución factible por su costo relativo bajo (Sipani & Sharma, 2023).
- Cemento Portland, acrecienta la fortaleza del material terroso y es empleado originalmente en arenas o gravas finas por su cohesión cementante (Sipani & Sharma, 2023).
- Productos asfálticos, son considerados como fluidos impermeabilizantes y reducen los polvos en el suelo, principalmente utilizado en limos y arcillas (Sipani & Sharma, 2023).
- Cloruro de sodio, reduce los polvos en el suelo y también impermeabiliza, utilizado para limos y arcillas (Sipani & Sharma, 2023).
- Cloruro de calcio, reduce los polvos en el suelo y también impermeabiliza, utilizado para limos y arcillas (Sipani & Sharma, 2023).
- Cloruro de magnesio hexahidratado, reduce los polvos en el suelo y también impermeabiliza, utilizado para limos y arcillas (Sipani & Sharma, 2023).
- Escorias de función, material empleado para carpetas asfálticas para incrementar la fortaleza, y alargar la vida útil (Sipani & Sharma, 2023).
- Polímeros, se emplean comúnmente en carpetas asfálticas para incrementar su fortaleza y alargar su vida útil (Sipani & Sharma, 2023).
- Hule de neumáticos, se emplean comúnmente en carpetas asfálticas para incrementar su fortaleza y alargar su vida útil (Sipani & Sharma, 2023).

### **Extracción y elaboración de muestras**

Para diversos estudios las muestras inalteradas, se tienen que cubrir, asimismo se deben cuidar las muestras, el contenido de humedad y la estructura para representar lo más real las condiciones de campo, las muestras inalteradas fueron prioritarias para pruebas de CBR. Las muestras inalteradas se obtuvieron con los moldes de CBR y un accesorio para poder recortar el estrato de suelo. Se protegerá y trasladará al laboratorio para su inmediata prueba de CBR así calculado, está asociada la densidad seca y la humedad natural óptima (R.D. N°10-2014-MTC/2014, 2014).

### **Figura 3.**

*(A) Muestra alterada e inalterada (B) obtenida in situ*



Nota: En Figura 3(A) se observa la recopilación de suelo natural; y en la Figura 3(B) la recopilación de muestra con el uso de parafina para la realización de ensayo en laboratorio, (Palacios & Reyes, 2023).

Mayormente las muestras alteradas son extraídas mediante excavaciones con instrumentos manuales en cantidades suficientes para poder realizar las pruebas previstas. Las muestras así

adquiridas serán acondicionadas y llevadas al laboratorio en depósitos adecuados herméticos, evitando la contaminación del material (R.D. N°10-2014-MTC/2014, 2014).

### **Tipología de muestras de suelo**

En el ámbito de la mecánica de suelos, el término "muestra remodelada o alterada" se refiere a una muestra de suelo que ha experimentado un proceso de recompactación o deterioro luego de su extracción inicial del terreno. Este procedimiento implica modificar la estructura original del suelo, lo que podría influir en sus propiedades mecánicas y su comportamiento, en comparación con su estado natural en el lugar de origen (Cobos & Baque, 2019).

En contraste, las "muestras inalteradas" se definen como aquellas obtenidas de suelos finos, conservando tanto su estructura como su contenido de humedad tal como se presenta en el suelo. Este tipo de material suele obtenerse de las paredes o el piso de la excavación, y se seleccionan dimensiones que no alteren las operaciones de labrado (Cobos & Baque, 2019).

## **2.3. CAMINOS NO PAVIMENTADOS**

La investigación desarrollo su estudio en un tramo de carretera la cual está catalogada como una carretera vecinal no pavimentada de bajo volumen de tránsito, una de sus características es que se encuentra a nivel de subrasante, bajo los criterios del reglamento MTC-2014, esto se desprende de un estudio de tráfico anterior.

### **Tráfico Vehicular**

La investigación de tráfico diario, también conocida como estudio de tráfico o conteo de tráfico, constituye una investigación diseñada para recabar datos sobre la cantidad de vehículos que transitan por una vía específica durante un periodo determinado, generalmente abarcando un día completo. Este tipo de estudio desempeña un papel crucial para comprender el flujo vehicular en carreteras, calles, intersecciones y otras infraestructuras de transporte (Cepeda, 2019).

El objetivo principal de llevar a cabo un estudio de tráfico diario es obtener información detallada sobre la intensidad del tráfico y los patrones de movilidad de los vehículos en una ubicación específica. Los datos recolectados típicamente abarcan:

- Volumen de tráfico: Número total de vehículos que pasan por el punto de estudio durante el período de observación (Cepeda, 2019).
- Distribución horaria: Información sobre cómo varía el tráfico a lo largo del día, generalmente representada en forma de gráficos o tablas (Cepeda, 2019).
- Tipos de vehículos: Clasificación de los vehículos según su tamaño o categoría, como automóviles, camiones, motocicletas, etc (Cepeda, 2019).
- Velocidades de tráfico: Datos sobre las velocidades promedio de los vehículos en la ubicación estudiada (Cepeda, 2019).
- Patrones de flujo: Cómo se comporta el tráfico en términos de aceleraciones, frenada y congestiones (Cepeda, 2019).
- Conteos direccionales: Información sobre el flujo de tráfico en diferentes direcciones, útil para el diseño y planificación de intersecciones y carreteras (Cepeda, 2019).

La información recabada en el análisis de tráfico diario juega un papel fundamental en el diseño y la planificación de infraestructuras de transporte, la administración del tráfico, la evaluación de la capacidad de las carreteras, y la toma de decisiones en proyectos orientados a mejorar la movilidad urbana. Estos estudios no solo resultan útiles para entender el impacto del tráfico en el entorno, sino que también contribuyen al desarrollo de estrategias de transporte más eficientes y seguras (Cepeda, 2019).

## 2.4. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

### Granulometría – MTC E107

Según Romero y Solar (2020), se debe realizar un procedimiento en la que se incluye las partículas del suelo, por la que se divide según su tamaño. Dicha relación se le llama gama de los suelos. Según su escala se distinguen en diferentes conceptos geológicos, en donde se mencionan algunos procesos como el vulcanismo, erosión, tectonismo, sedimentación.

**Tabla 1.**

*Tamaño de partículas y clasificación*

TIPO DE SUELO	SUELO FINO				SUELO GRUESO						SUELO MUY GRUESO	
	ARCILA	LIMO			ARENA			GRAVA			PIEDRA	BLOQUES DE PIEDRA
		FINO	MEDIO	GRUESO	FINO	MEDIO	GRUESO	FINO	MEDIO	GRUESO		
TAMAÑO DE LOS GRANOS (MM) escala log	0,002	0,006	0,02	0,06	0,2	0,6	2	6	20	60	200	

Nota: Obtenida de (Vallejos-Castro, 2004)

### Límites de Atterberg, Límites Líquido y plástico – MTC E110 y MTC E111

Se refiere a la facultad de tener porción de un grupo integrado, así como la coherencia y estabilidad; con lo que respecta a suelo, solo se presentara en suelos finos, según su humedad. Para determinar la consistencia se desarrolló un método con suelos finos en diferentes porcentajes de agua, donde se expresa que hay minerales de arcilla que son remodelados con la presencia de agua. Cuando un suelo presenta muy baja humedad actúa como un sólido, mientras que su contenido de agua es alto; este emana como un líquido (Das, 2018).

- a) *Limite líquido:* (Crespo, 2004), lo define como el contenido de agua del peso de la muestra seca que se expresa en porcentajes; y se comporta como un componente plástico. Por lo

que Atteberg determina que este límite presenta un ligero soporte al esfuerzo de corte que es de  $25\text{g/cm}^2$ .

b) *Límite plástico:* (Crespo, 2004), se entiende como la humedad más baja; el cual se va formando al mezclar la muestra sobrante del límite líquido con agua para que esta sea más favorable al moldear, se utiliza la palma de la mano y un espacio liso para darle el molde correcto quedando así una figura cilíndrica (pp.76-77).

c) *Índice plástico:* (Crespo, 2004), es la desigualdad entre los límites líquido y plástico; en el que se indica un rango de humedades que los suelos presenta un comportamiento plástico. Por lo tanto, estos límites dependen del tipo de suelo arcilloso y la cantidad que se encuentra (p.78).

La plasticidad nos indica cuan susceptible es el comportamiento de un suelo en relación al contenido de humedad, definiéndose los límites a tres estados de consistencia según su humedad, también llamados límites de Atterberg que son: el límite líquido (L.L., según ensayo MTC EM 110), el límite plástico (L.P., según ensayo MTC EM 111) y el límite de contracción (LC, según ensayo MTC EM 112).

El Límite Líquido (L.L.), es cuando el suelo pasa del estado semilíquido a un estado plástico y puede ser moldeable.

El Límite Plástico (L.P.), es cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido llegando a la ruptura. Con ello Burmister consideró una clasificación de suelos respecto a su índice plástico tal como se muestra a continuación:



**Tabla 2.**

*Índice de plasticidad y clasificación de plasticidad considerando a Burmister*

<i><b>Índice de Plasticidad</b></i>	<i><b>Descripción</b></i>
0	No plástico
1-5	Ligeramente plástico
5-10	Baja plasticidad
10-20	Plasticidad media
20-40	Alta Plasticidad
>40	Muy alta plasticidad

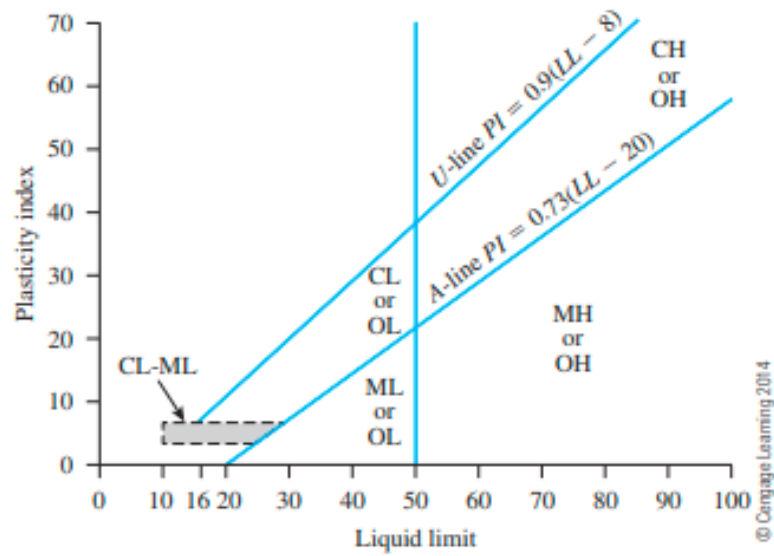
Nota: Obtenida de (Zhuang, 2011).

El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bastante bien un suelo. Un I.P. grande corresponde a un suelo muy arcilloso; por el contrario, un I.P. pequeño es característico de un suelo poco arcilloso. (Casimiro & Melgarejo, 2022).

La clasificación SUCS es una herramienta fundamental para clasificar los suelos en partículas tanto gruesas como finas, y esto depende de los sólidos retenido en un tamiz en especial que es la N°200 al culminar el cribado, considerando que si se retiene mayor al 50% en el tamiz N°200 se denomina suelos gruesos, y si pasa más del 50% por la abertura se denomina suelos finos. Para cada suelo tiene una nomenclatura: G (grava), S (arena), W (bien graduado) y P (mal graduado). No obstante, en suelos fino se tiene M (limo), C (arcilla), H (alta plasticidad), L (baja compresibilidad) y Pt (turba) para suelos orgánicos (Palacios & Reyes, 2023).

**Figura 4.**

*Gráfica de plasticidad*



Nota: Obtenida de (Das, Braja M.; Sobhan, Khaled, 2014b)

**Figura 5.**

*Dispositivo de prueba de límite de líquido y herramientas de ranurado*



Nota: Obtenida de (Das, Braja M.; Sobhan, Khaled, 2014b)

Respecto a la clasificación AASTHO, sus siglas en ingles corresponden al American Association of State Highway and Transportation Officials, bajo las consideraciones ASTM D3282. Es muy usado en las obras viales y de diseño de pavimentos, cauterizando el suelo en grupos A1, A2, A3 siendo materiales granulares que pasan por el tamiz N°200 menos del 35%. Y los suelos que superan el 35% se clasifican en material fino siendo A4, A5, A6, A7 siendo estos limo y material arcilloso. (Palacios & Reyes, 2023).

**Tabla 3.**

*Clasificaciones de suelos naturales*

Soil group in Unified system	Comparable soil groups in AASHTO system		
	Most probable	Possible	Possible but improbable
GW	A-1-a	—	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
GP	A-1-a	A-1-b	A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
GM	A-1-b, A-2-4, A-2-5, A-2-7	A-2-6	A-4, A-5, A-6, A-7-5, A-7-6, A-1-a
GC	A-2-6, A-2-7	A-2-4	A-4, A-6, A-7-6, A-7-5
SW	A-1-b	A-1-a	A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
SP	A-3, A-1-b	A-1-a	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
SM	A-1-b, A-2-4, A-2-5, A-2-7	A-2-6, A-4	A-5, A-6, A-7-5, A-7-6, A-1-a
SC	A-2-6, A-2-7	A-2-4, A-6, A-4, A-7-6	A-7-5
ML	A-4, A-5	A-6, A-7-5, A-7-6	—
CL	A-6, A-7-6	A-4	—
OL	A-4, A-5	A-6, A-7-5, A-7-6	—
MH	A-7-5, A-5	—	A-7-6
CH	A-7-6	A-7-5	—
OH	A-7-5, A-5	—	A-7-6
Pt	—	—	—

Nota: Obtenida de (Das, Braja M.; Sobhan, Khaled, 2014b)

## Contenido de humedad

Estudios mencionan que un contenido de humedad bajo la normativa ASTM D2216, suficiente para la estabilización del suelo, tanto para el proceso de hidratación como para una compactación efectiva. Por ejemplo, el cemento cuando está completamente hidratado, puede absorber aproximadamente el 20% de su peso en agua de su entorno. Esto contrasta con la cal viva (CaO) que puede absorber aproximadamente el 32% de su peso en agua de su entorno. Cuando falta humedad, los aglutinantes químicos competirán con los suelos circundantes por la humedad. Donde los suelos tienen una gran afinidad por la humedad, por ejemplo, suelos orgánicos, turba

y arcilla, la hidratación del agente estabilizador puede verse restringida y esto puede tener un impacto negativo en la resistencia final de la estabilización del suelo (Amhadi & Assaf, 2018).

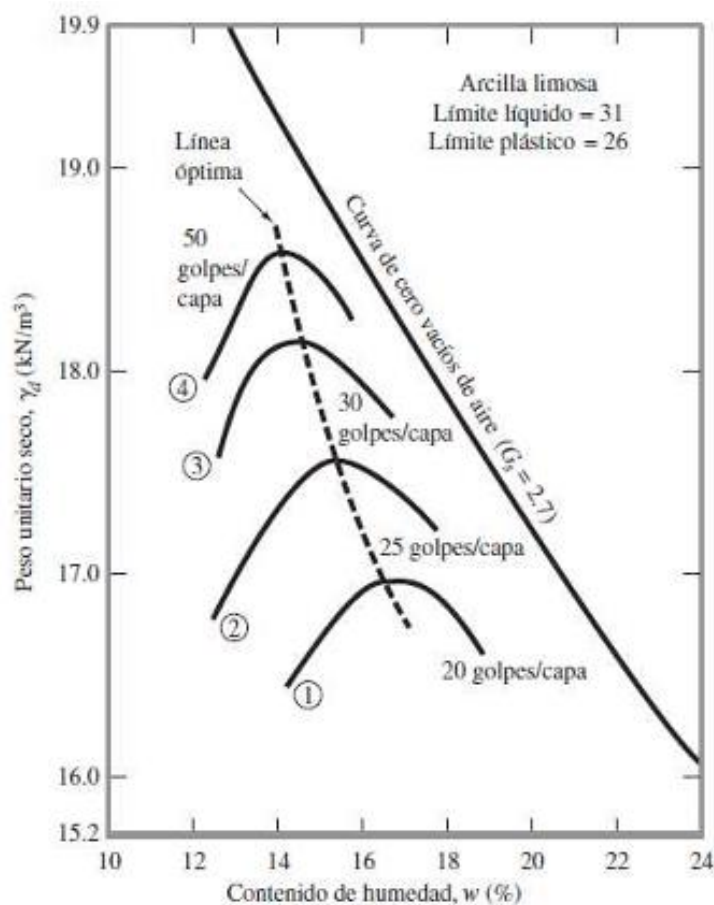
## 2.5. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS

### Ensayo de compactación de suelos (Proctor modificado) – MTC E 115

Es una característica importante en suelos; especialmente en finos, que es donde se asocia la densidad con la humedad. Es la mínima humedad que se necesita para compactar el suelo hasta alcanzar un peso máximo seco (Crespo, 2004).

**Figura 6.**

*Curvas de compactación típicas*



Nota: Las curvas obtenidas por el libro según (Das, 2014)

La densidad del suelo natural se obtuvo mediante el ensayo Proctor modificado, y realizado por la normativa peruana NTP 339.141. En sí tiene la finalidad de determinar la relación densidad –

humedad de un suelo compactado en un molde normalizado mediante un pistón de masa normalizada, y en caída libre y con una energía específica de compactación. Se debe tener en cuenta que procedimiento seguir dado que las partículas del suelo natural si pasan el tamiz N°4 debe elegirse el procedimiento A.

Debido a que en el campo se desarrolla la compactación con rodillos pesados, la prueba de Proctor estándar fue modificada para poder tener un resultado más cercano a la realidad. Para el ensayo de Proctor estándar se utiliza la Norma ASTM D-698 y para el ensayo de Proctor modificado la ASTM D-1557.

### **Capacidad de soporte de California**

Según (Das & Sobhan, Principles of Geotechnical Engineering, 2018) es un proceso artificial por el cual sus granos están más en contacto; así mejora sus propiedades mecánicas, a través de este procedimiento puede lograrse una elevada resistencia y baja su capacidad de soporte.

Es la capacidad de soporte es la propiedad más importante del suelo, se obtiene mediante el método de prueba estándar para razón soporte de California de suelos compactados en el laboratorio, y es conocido como CBR, referenciado por la normativa peruana NTP 339.145.

El ensayo de penetración tiene por objetivo determinar la capacidad portante del suelo, con un parecido al SPT (Estándar Penetration Test) empleado en geotecnia, basándose en la presión ejercida mediante una prensa acoplado por un pistón. El índice CBR se define como la relación entre la presión necesaria para que el pistón penetre en el suelo una determinada profundidad y la necesaria para obtener esa misma penetración en una muestra patrón de grava machada, expresada en porcentaje (Das & Sobhan, 2018).

Este resultado se expresa de la siguiente manera:

$$CBR: \frac{\text{Resistencia a la penetración (psi) requerida para penetrar 0.1 pulg}}{1000 \text{ lb/pulg}^2} \times 100$$

#### **Ecuación 1. Cálculo de CBR**

El CBR para muestras inalteradas, son recomendadas para sub-rasante con características de suelos finos, son muestras in situ que son extraídas en bolsas plásticas para proteger su humedad natural. Realizándose en el laboratorio la prueba de penetración en su condición natural, prosiguiendo el mismo de fases que en muestras remoldeadas. (Pezo López, 2018).

#### **Tabla 4.**

*Parámetros normativos de la capacidad de soporte de California nacional*

CATEGORÍAS DE SUBRASANTE	CBR
S0: Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S1: Subrasante Insuficiente	CBR ≥ 3% a ≤ 6%
S2: Subrasante Regular	CBR ≥ 6% a ≤ 10%
S3: Subrasante Buena	CBR ≥ 10% a ≤ 20%
S4: Subrasante Muy buena	CBR ≥ 20% a ≤ 30%
S5: Subrasante Excelente	CBR ≥ 30%

Nota: obtenida del manual según (R.D. N°10-2014-MTC/2014, 2014).

Las muestras para CBR remoldeadas, son recomendadas para sub-rasantes con características granulares, materiales para bases, materiales para sub-base y para materiales como afirmado. Estos especímenes se realizaron en su condición saturada, posterior de un periodo de inmersión en líquido acuoso, considerando también la condición más desfavorable como la condición saturada. (Pezo López, 2018).

**Figura 7.**

*Instrumento para la prueba de CBR*



Nota: autoría propia

**NORMATIVIDAD APLICADO EN LABORATORIO**

Normatividad para realización de ensayo de laboratorio según el reglamento norteamericano de la American Society and Terminology and Materials - ASTM.

- Ensayo de granulometría por tamizados – ASTM D422
- Clasificación de suelos SUCS – ASTM D2487
- Clasificación de suelo AASHTO – AASHTO M145
- Ensayo de contenido de humedad – ASTM D2216
- Ensayo de Proctor Modificado – ASTM D1557
- Ensayo de California Bearing Ratio – ASTM D1883

**2.6. CAL**

La cal hidratada es un material que aporta una estabilización en el suelo, el calcio es utilizable en diversas formas, incorporando cal viva (óxido de calcio), la cal hidratada (hidróxido de calcio)

y lechada de cal. Es de relevancia indicar que, la cal hidratada logra reaccionar con las arcillas, formando un vínculo cementante ideal para incrementar la resistencia del suelo.

### Proceso de obtención de la cal

Primeramente, se obtiene de la roca caliza, desde la obtención de la cantera, pasando por un proceso en el cual se pone una atención en lograr controlar la composición química, distribución granulométrica, el cual es la caliza (Arbieto, 2022).

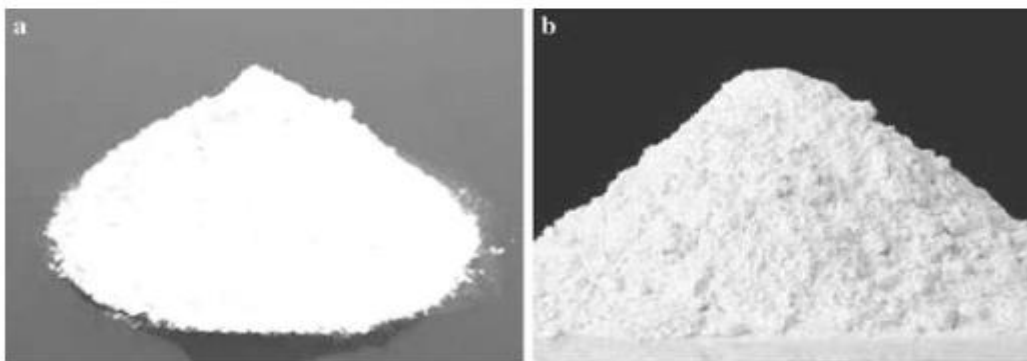
Segundo es la preparación de esta roca pasando por un proceso de tamizados para su posterior calcinación con un diámetro requerido (Arbieto, 2022).

Consiguientemente la calcinación es un proceso donde se aplica calor constante para la descomposición por reacción térmica de la caliza. La descarbonatación es un proceso de la pérdida de dióxido de carbono de la caliza, y es cuando esta piedra caliza se transforma en cal viva ( $\text{CaO}$ ) (Arbieto, 2022).

Seguidamente con el proceso viene a dar paso la hidratación donde es cuando la cal viva o óxido de calcio es llevada a una hidratadora, en donde se incluye agua al producto. Este proceso hace que la cal viva se convierta en cal hidratada siendo una textura de polvo fino de color blanco (Arbieto, 2022).

### Figura 8.

*Producto de cal viva (a); cal hidratada (b)*



Nota: Obtenida de (Amadi & Okeiyi, 2018).



El último proceso es de separación, envasado, apilado y comercialización del material para los requerimientos de los usuarios (Arbieto, 2022).

### **Influencia de la cal en el suelo**

La cal otorga ciertas propiedades mejoradas al suelo cuando se estabiliza con este material:

Logra modificar el enlace entre la partícula de suelo y la cal, cambiando la plasticidad del suelo pues tiene un efecto para  $LP < 15\%$  la cal logra incidir en el aumento del LL; en tanto, para suelo con  $IP > 15\%$  incide en la disminución, pero aumenta el LP. La cal incide en la reducción del grado de compactación, pero esto no logra ocurrir con la capacidad de resistencia del suelo (Arbieto, 2022).

La tecnología de estabilización con cal es una técnica de estabilización atractiva que se utiliza más ampliamente en aplicaciones geotécnicas y geoambientales cuando el proyecto requiere una mejora del suelo local. De estos dos tipos de cal, las investigaciones han demostrado que se produce un mayor desarrollo de resistencia en las mezclas de suelo y cal viva que en la cal hidratada. Además, se ha logrado una estabilización muy rápida de sitios anegados o materiales muy húmedos con el uso de cal viva. La cal hidratada, por otro lado, se usa ampliamente para la estabilización de suelos con alto contenido de arcilla, donde su principal ventaja es elevar el límite plástico del suelo arcilloso. Más allá de estos, también se ha informado que el efecto estabilizador relativo se correlaciona bien con el contenido de óxido de calcio (CaO) de varias cales (Amadi & Okeiyi, 2018).

### **Normatividad peruana en el uso de la cal**

Existe normatividad peruana la cual menciona que la dosificación dependerá de la clase de arcilla, la cual se agregará entre 2% hasta 8% en peso seco del suelo, ello está sujeto a parámetros (CE.020, 2016).

- Se considera el contenido de cal en función al pH

- Se elabora especímenes de suelo para el ensayo UCS a la humedad óptima y máxima densidad seca.
- Se determina la fortaleza del suelo estabilizado con cal
- Si el aumento de fortaleza con el porcentaje de cal seleccionado es mayor de  $3.5 \text{ kg/cm}^2$  se determina la variación con el porcentaje de cal elegido para especímenes con un más 2% cal.
- Elaborar la relación entre fortaleza versus dosis de cal.

## **2.7. CENIZAS DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES**

El carbón se puede densificar mediante briquetas y su densidad, energía de salida y tiempo de combustión se pueden aumentar mediante aditivos. Las briquetas de carbón se utilizan a menudo como combustible para asar no solo porque son más baratas que los trozos de carbón, sino que además tienen una serie de características que las hacen superiores a los trozos: son más fáciles de almacenar y manipular, mantienen una temperatura constante durante un período de tiempo más largo, y tienen un menor contenido de azufre y una mayor relación carbono-ceniza (Jelonek et al., 2020).

### **Figura 9.**

*Muestra recolectada de ceniza*



Nota: Fotografía obtenida de (Villanueva, 2023)

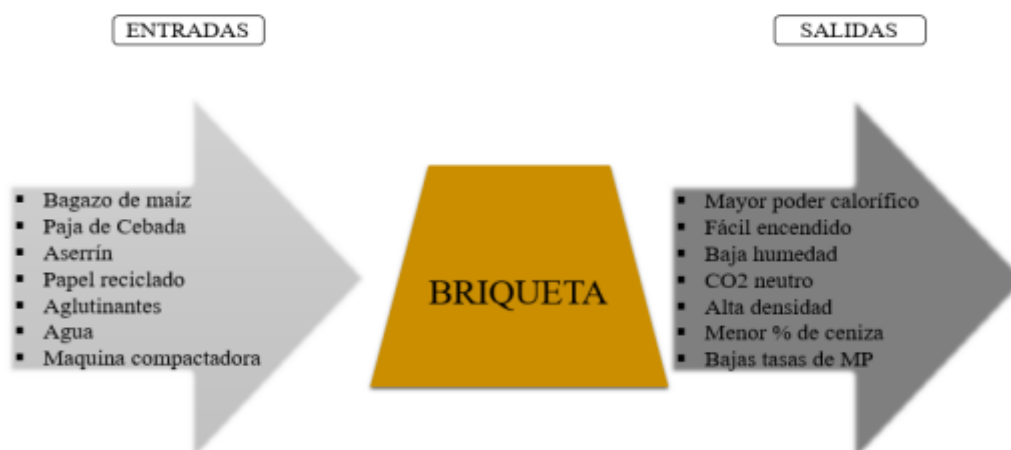
Las briquetas modernas se pueden fabricar utilizando una variedad de tecnologías diferentes y a partir de una amplia gama de ingredientes que incluyen no solo carbón de leña, finos de carbón y carbón mineral, carbón y biomasa, pero también una amplia gama de otros componentes (Jelonek et al., 2020).

### Composición de la CBL

El CBL es un producto cuya composición es altamente puzolánica siendo un residuo con utilidad ideal para mejoramiento de suelos mediante la técnica de estabilización física. Este residuo tiene un tamaño de 75  $\mu\text{m}$  (Bello & Castillo, 2023). Dentro de investigaciones la ceniza volante logra tener un 85% de óxido de silicio en una composición química.

### Figura 10.

*Diseño de briqueta en base a materias primas*



Nota: Obtenida de (Huaman Ramos et al., 2021)

En las briquetas se utilizan aceleradores como aserrín, nitrato de sodio y cera para acelerar la ignición. Los aglutinantes, normalmente almidón, pero también melaza, alquitrán, caolín, arcilla plástica y goma arábiga, ayudan a que la briqueta mantenga su forma. Se añaden rellenos (sílice, arcilla o tierra) a las briquetas para aumentar su peso y prolongar su tiempo de combustión. A menudo, del 2 al 3% de la briqueta consiste en merlán, cal, piedra caliza o calcio para crear una ceniza blanca y reducir la velocidad de combustión. Se agrega bórax o borato de sodio para

ayudar a liberar las briquetas de la prensa de fabricación y, en algunos casos, se agregan sustancias inflamables para que las briquetas puedan encenderse sin necesidad de líquido para encendedores (Jelonek et al., 2020).

## 2.8. CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ

Se calcula que de cada tonelada de arroz cosechada se obtienen 0,2 toneladas de cáscara y entre un 18% y un 22% de cenizas, aunque esto depende de las condiciones meteorológicas y de las características geográficas. También se calcula que la combustión de una tonelada de RHA produce 220 kilogramos de cenizas, de los cuales unos 94 kilogramos están constituidos por sílice (Moayedi et al., 2019).

**Figura 11.**

*Diagrama de flujo para la síntesis de cenizas de cáscara de arroz en la estabilización de suelos*



Nota: Obtenido de (Moayedi et al., 2019)

### Preparación de la obtención de ceniza de cáscara de arroz

La molienda de cenizas de cáscara de arroz se llevó a cabo en el molino de bolas planetario vertical XQM-20 fabricado por Tianchuang Powder. Después de una consideración exhaustiva, el tiempo de molienda fue de 5 minutos. Después de la molienda, la muestra se llenó inmediatamente en una bolsa sellada y se almacenó. La microestructura del RHA molido se muestra en la Figura 10. Se puede encontrar que las partículas de RHA molidas después de la molienda son muy pequeñas y la mayoría de ellas tienen menos de 10  $\mu\text{m}$  (Liu et al., 2019).

Las partículas de CCA molidas tras la trituration son muy pequeñas, y la mayoría de ellas son inferiores a 10  $\mu\text{m}$ , el análisis de la superficie específica y del tamaño de las partículas del área superficial específica y el análisis granulométrico de las cenizas se comprobaron con un analizador granulométrico laser, con un valor de 5910  $\text{cm}^2/\text{g}$ . (Liu et al., 2019).

### Composición de la CCA

Su principal componente es el  $\text{SiO}_2$ , al igual como la mayoría de los demás CCA, sin embargo, el contenido de silicio es inferior al de los demás. Acotando que la pérdida por ignición es de hasta 15.21 lo que denota que la cáscara de arroz no se quema completamente y que el contenido de carbono es relativamente alto (Liu et al., 2019).

**Tabla 5.**

*Composición química del material Cal, CBL y CCA*

Componentes	$\text{MgCO}_3$	$\text{CaCO}_3$	$\text{MgO}$	$\text{CaO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	L.O.I.
(Abbas et al., 2023)*	1.13	89.5	1.38	44.4	3.3	4.2	11.89	35.6
(Balakrishna et al., 2023)**	---	---	0.1	4.77	4.31	21.16	56.44	3.1

(Liu et al., ---	1.54	0.98	1.54	1.21	4.43	72.34	15.21
------------------	------	------	------	------	------	-------	-------

2019)\*\*\*

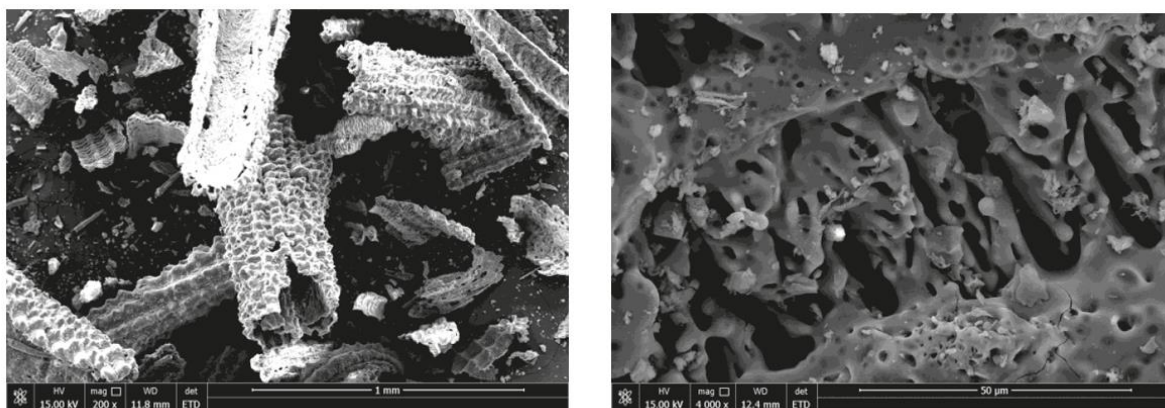
Nota: Se ha colocado la composición química en base a estudios científicos indizados teniendo en cuenta que para cal\*, CBL\*\*, CCA\*\*\*.

### Estructura interna de ceniza de cáscara de arroz

Las cenizas de residuo de cáscara de arroz conocido por sus siglas en ingles RHA y en español CCA es de color negro grisáceo, lo que implica que el carbono de este RHA no se quema por completo. La estructura de la superficie y la morfología de la RHA natural se muestran en la Figura 10 con SEM. La superficie exterior de RHA es ligeramente gruesa y la superficie interior es delgada. Hay un sándwich entre las superficies interior y exterior. La capa intermedia está compuesta de placas entrecruzadas y la dirección de disposición es básicamente similar. Muestra una estructura de panal suelta. Una mayor ampliación de la hoja reveló que la hoja contenía una gran cantidad de agujeros. Estos agujeros que se denominan agujeros de panal tienen una escala de entre 5 y 10  $\mu\text{m}$ . Por esta razón, la ceniza de cáscara de arroz es un material poroso típico y tiene una gran superficie (Liu et al., 2019).

### Figura 12.

*Microestructura de la RHA natural. (a) partícula RHA a bajo aumento (200x); (b) Partícula RHA con aumento (4000x).*



Nota: Obtenida de (Liu et al., 2019).

**Figura 13.**

*Materiales para la prueba a Suelo arcilloso con ceniza de cáscara de arroz*



Nota: Obtenido de (Pushpakumara & Mendis, 2022)

## **2.7. USO DE ADITIVOS COMBINADOS EN LA INGENIERÍA CIVIL**

Diversos especialistas enfocan su preocupación principal en controlar la inestabilidad volumétrica de los suelos arcillosos, además sólo se puede utilizar cal (hasta un 10%); sin embargo, si se requiere mejorar tanto la resistencia como la estabilidad del volumen, se recomienda utilizar una combinación de cal y cemento en proporción 1:1, hasta un 10% en masa. En caso de suelos con insuficiencia de puzolanas, se pueden utilizar cenizas volantes (FA) o escorias junto con cal, cemento o una combinación de ambos. En comparación con el efecto individual, el efecto combinado de los aditivos puede ser más eficaz para mejorar suelos débiles y hacerlos aptos para construcciones de ingeniería (Barman & Dash, 2022).

En comparación con la cal, la arcilla tratada con cemento presenta una mayor resistencia a la compresión, lo que se atribuye a la formación de compuestos cementosos adicionales, mientras que la cal proporciona una mejor trabajabilidad. Así, el cemento es adecuado para suelos granulares y poco plásticos, mientras que la cal es ideal para suelos muy plásticos como los arcillosos expansivos. Debido a su contenido de calcio relativamente bajo, el FA generalmente no produce un orden de resistencia o trabajabilidad similar al de la cal y el cemento (Barman & Dash, 2022).

El uso de residuo calcáreo de concha de abanico y ceniza volante en la dosis de 3RCA+6CV

logró tener una resistencia de CBR del 33% AL 95% MDS, siendo útil la ceniza logrando mejorar los suelos cohesivos (Bello & Castillo, 2023).

### **Los métodos de aprovechamiento de los residuos de CBL y CCA juntamente con la CAL**

Diversos estudios como (Arulanantham, 2023) indican que la estabilización del suelo mediante aditivos se considera una de las técnicas alternativas sostenibles para hacer frente a la grave escasez de materiales. Los hallazgos indican que los estabilizadores a base de cal requieren una temperatura y un pH adecuado para desarrollar la resistencia.

Los distintos porcentajes de CCA en el estudio de (Tangri, 2020) fueron de 6, 12, 18 y los de cal 3, 5, 7%, la investigación muestra que el contenido ideal de CCA es del 12% en todos los casos, el máximo valor de CBR logrado es del 12% CCA con 7% CAL.

Otros estudios abordan que la combinación de ceniza de fondo 15%, cal al 6% y hexametáfosfato de sodio al 4.5% revela una reducción de costos en el espesor del pavimento para diferentes volúmenes de tráfico de vehículos comerciales (1000, 2000 y 5000), esta tecnología no solo mejora las características geotécnicas del suelo de subrasante, sino que también es rentable y aborda el problema de la eliminación de cenizas de fondo. En general, esta investigación propone un método novedoso para desarrollar un material compuesto de subrasante de suelo para pavimento flexible según lo comentaron (Rana & Singh, 2023).

El RHA tenía un contenido de sílice del 90% que proporcionaba un buen factor puzolánico. Señaló que el UCS aumentaba de 660 a 1300 kPa y el valor del coeficiente portante de California (CBR) aumentaba del 1,5% al 10% añadiendo de 0 a 12% de RHA. Sin embargo, un mayor contenido de RHA disminuía el UCS. El valor óptimo se obtuvo con una mezcla de 12% de RHA. El contenido óptimo El contenido óptimo de cenizas de carbón fue del 25%, y mayores cantidades de cenizas de carbón disminuyeron el UCS (Moayedi et al., 2019).



### **Definición de términos y conceptos**

- **Baja capacidad portante:** Capacidad del suelo para poder soportar esfuerzos ejercidos, en ciertos suelos sus características son muy precarias por lo que no pueden sostener una buena capacidad de soporte (Angulo Roldan & Zavaleta Papa, 2020).
- **Cal natural:** Es producto de la calcinación de las piedras calizas, como resultado de esto se puede tener variedad de composiciones de la roca de partida como variedad de serie de cales (Delgado Rivera & Mormontoy Peñalba, 2021)
- **Estabilidad volumétrica:** Capacidad del suelo a expandirse considerando el grado de humedad y la clase de suelo, es relevante que su volumen se considere estable y no varíe relativamente (Aguilar Paravicino & Bravo Gutierrez, 2020)
- **California Bearing Ratio:** Es considerado un ensayo para determinar la calidad de un estrato en énfasis a su resistencia, medido a través de la prueba de placa a escala (Das & Sobhan, Principles of Geotechnical Engineering, 2018)
- **Ceniza de briquetas de combustión de ladrilleras artesanales:** Es un producto de combustión elaborado de la mezcla de carbón y melaza conformando briquetas de mayor duración a la cocción (Aguilar Paravicino & Bravo Gutierrez, 2020)
- **Ceniza de cascarillas de arroz:** Producto obtenido de la calcinación a un determinado calor de exposición de la cascarilla de arroz, obteniéndose un polvo color grisáceo con alto contenido de sílice (Esquivel Saavedra & Gamez Velásquez, 2019)
- **Estabilización de suelos:** La estabilización tiene la finalidad de mejorar el material del suelo in situ sin cambiar la estructura y material básico que es compuesto por el mismo (Mamani García & Ramírez Rondán, 2020)
- **Límites de Atterberg:** Establecen básicamente la sensibilidad del comportamiento del estrato en relación con su contenido de humedad (Referencia al agua), predisponiendo de los límites a los tres estados de consistencia, líquido, plástico y contracción (Das & Sobhan, Principles of Geotechnical Engineering, 2018)

- **Próctor modificado:** El ensayo se enfoca a determinar la compactación utilizada en laboratorio, para adquirir la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco de los suelos, mediante una curva de compactación (Das & Sobhan, Principles of Geotechnical Engineering, 2018)
- **Resistencia mecánica:** La resistencia del estrato, considerando ciertas excepciones, es usualmente más reducida cuando su contenido de humedad es mucho mayor (Delgado Rivera & Mormontoy Peñalba, 2021)
- **Subrasante:** Se considera a la superficie terminada de la carretera que se encuentra a nivel de movimiento de tierra (Corte y relleno), es el asiento directo de la estructura del pavimento, es en esta donde se dispondrá el paquete del pavimento o afirmado correspondiente (Delgado Rivera & Mormontoy Peñalba, 2021)
- **Suelos arcillosos:** La conformación del suelo arcilloso se origina de la descomposición química y mineralógica de las rocas, limita la infiltración de agua (Angulo Roldan & Zavaleta Papa, 2020)

### CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

*Cuantitativa o cualitativa:* Según (Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, Metodología de la Investigación: Las rutas cuantitativas, cualitativa y mixta, 2018) mencionan que un enfoque cuantitativo empela la recopilación de valores para probar una hipótesis con base en la medición numérica y estadística para probar teorías.

El estudio presente aplica un enfoque de clase **cuantitativo**, siendo considerado por contener la variable independiente (cal natural, ceniza de briquetas de ladrilleras artesanales y ceniza de cascarilla de arroz) y la variable dependiente (estabilización de suelos de baja capacidad portante para caminos no pavimentados), manteniendo un carácter cuantitativo.

*Experimental o no experimental:* Según (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018) mencionan que un diseño experimental propicia modificaciones intencionales en las variables analizadas como las cantidades de materiales, como consecuencia provoca una causa y efecto en la variable a determinar.

El estudio muestra según sus variables un **diseño cuasi experimental**, porque contiene una manipulación de la variable independiente (dosificaciones aleatorias), considerando dosificaciones como dosis únicas a la cal natural, y cuatro combinaciones de ceniza de briquetas de ladrilleras artesanales y cenizas de cascarillas de arroz sobre el suelo natural.

*Alcance de la investigación (exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo):* Según (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018) mencionan que los estudios correlacionales tienen como enfoque relacionar o asociar dos o más variables para un contexto particular.

A lo anterior, la investigación se ha considerado que es de **nivel correlacional-explicativa**, porque explica el comportamiento que brindan los estabilizantes al suelo natural en combinación, que como consecuencia origina un efecto en el comportamiento en las capacidades mecánicas y físicas en las vías de la subrasante siendo una causa y efecto de los estabilizantes y el suelo natural.

**Básica o aplicada:** El propósito del estudio propone de **tipo aplicada**, porque para este tipo de estudio se basa en estudios previos actuales donde se analizan los comportamientos de los estabilizantes a las propiedades del suelo natural, considerando sus diversas combinaciones (estabilizantes) en base a antecedentes previos, aplicando conocimiento previo, con la razón de adquirir nuevo conocimiento vigente y presentar la viabilidad del estudio en la vida real.

### 3.2. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

Se muestra en la presente Tabla 6, el esquema del cuadro de operacionalización de la variable independiente y la variable dependiente, del tema propuesto.

**Tabla 6.**

*Operacionalización de la variable independiente y dependiente*

	VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	METODOLOGIA
V A R I A B L E  I N D E P E N D I E N T E	Cal Natural	Material inerte de uso en el ámbito ingenieril para la viabilidad de mejorar estratos de baja capacidad portante en vías no pavimentadas (Calderón y Velosa, 2017)	El empleo de materiales en diversas combinaciones (S: 5+8%CAL; 5+8%CA+5%CB; 5+8%CA+10%CB; 5+8%CA+15%CB; 5+8%CA+7%CCA; 5+8%CA+14%CCA; 5+8%CA+21%CCA) con el fin de mejorar el estrato de la vía no pavimentada.	DOSEIFICACIÓN EN FUNCIÓN AL PESO DEL SUELO	8%	Razón	<b>Método:</b> Científico <b>Tipo de Investigación:</b> Tipo Analítico <b>Nivel de Investigación:</b> Correlacional-Explicativa (Causa Efecto) <b>Diseño de Investigación:</b> Experimental (Cuasi) <b>Enfoque:</b> Cuantitativo <b>Publicación:</b> Las vías de los caminos no pavimentados Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserio Sialupe Baca, Distrito Lambayeque, Provincia Lambayeque, Departamento Lambayeque.
	Ceniza de briquetas de combustión de ladrilleras artesanales	Es un producto de combustión elaborado de la mezcla de carbón y melaza conformando briquetas de mayor duración a la cocción (Aguilar y Bravo, 2020).	El empleo de materiales en diversas combinaciones (S: 5+8%CAL; 5+8%CA+5%CB; 5+8%CA+10%CB; 5+8%CA+15%CB; 5+8%CA+7%CCA; 5+8%CA+14%CCA; 5+8%CA+21%CCA) con el fin de mejorar el estrato de la vía no pavimentada.	DOSEIFICACIÓN EN FUNCIÓN AL PESO DEL SUELO  COMPOSICIÓN QUÍMICA	5% 10% 15%  Componentes	Razón	
	Ceniza de cascarilla de arroz	Producto obtenido de la calcinación a un determinado calor de exposición de la cascarilla de arroz, obteniéndose un polvo color grisáceo con alto contenido de sílice (Esquivel y Gámez, 2019).	El empleo de materiales en diversas combinaciones (S: 5+8%CAL; 5+8%CA+5%CB; 5+8%CA+10%CB; 5+8%CA+15%CB; 5+8%CA+7%CCA; 5+8%CA+14%CCA; 5+8%CA+21%CCA) con el fin de mejorar el estrato de la vía no pavimentada.	DOSEIFICACIÓN EN FUNCIÓN AL PESO DEL SUELO  COMPOSICIÓN QUÍMICA	7% 14% 21%  Componentes	Razón	
V A R I A B L E  D E P E N D I E N T E	Estabilización de suelos de baja capacidad portante	Las características del suelo en su estado natural comprenden gran compresibilidad, y/o permeabilidad, y son manipuladas para presentar mejores características en proyectos de ingeniería (Razali & Malek, 2019).	Los diseños se muestran con cal, cenizas de briquetas de ladrilleras artesanales y ceniza de cascarilla de arroz, serán adicionadas en función al peso seco del suelo para mejorar las características físicas-mecánicas en los suelos a nivel de subrasante, de la vía de estudio empleando ensayos de laboratorio como límites de Atterberg, CBR, Proctor Modificado y resistencia no confinada, para los cuatro (04) diseños estipulados (S: 5+8%CAL; 5+8%CA+5%CB; 5+8%CA+10%CB; 5+8%CA+15%CB; 5+8%CA+7%CCA; 5+8%CA+14%CCA; 5+8%CA+21%CCA) con el fin de mejorar el estrato de la vía no pavimentada. Finalmente los resultados obtenidos se procesan en formatos y fichas técnicas según la NTP y el ASTM.	PROPIEDADES FÍSICAS	Índice de plasticidad	Razón	<b>Muestra:</b> Según NTP - ASTM D4318 72 Muestras Límites de consistencia Según NTP - ASTM D1557 72 Muestras Óptimo contenido de humedad Según NTP - ASTM D1557 72 Muestras Densidad máxima seca Según NTP - ASTM D1557 72 Muestras C.B.R. Según NTP - ASTM D2166 72 Muestras Resistencia no confinada
				PROPIEDADES MECÁNICAS	Óptimo contenido de humedad	Razón	
					Densidad máxima seca	Razón	
					Capacidad de soporte	Razón	
					Resistencia no confinada	Razón	

Nota: autoría propia

### **3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.3.1. POBLACIÓN**

Según (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018) mencionan que la población es una comunidad o conjunto de todos los elementos que pertenecen a un ámbito espacial a elaborar.

La población es representada como el conjunto o comunidad de interés de la investigación, siendo la población de estudio las vías urbanas a nivel de subrasante del departamento de Lambayeque.

#### **3.3.2. MUESTRA**

Según (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018) mencionan que es el elemento o conjunto de componentes que se observan y se seleccionan de una población con características particulares que representan al subconjunto de dicha población.

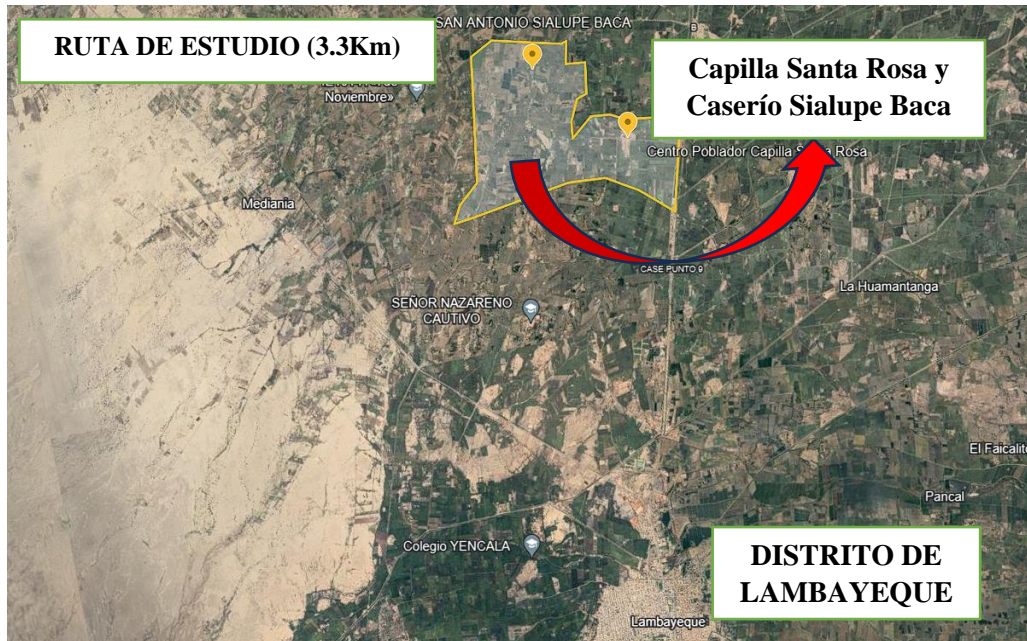
El estudio investigativo se realizó en el Centro Poblado Capilla Santa Rosa, Caserío Sialupe Baca Sector I y Caserío Sialupe Baca Rio Hondo, Distrito Lambayeque, Provincia Lambayeque, Departamento Lambayeque.

Siguiendo la normativa actual establecida en el Manual de Carreteras del MTC (2014), específicamente en su capítulo IV, se indica la necesidad de realizar calicatas por cada kilómetro de estudio, según la categoría de la carretera en cuestión. En nuestro caso, la zona de estudio se clasifica como una trocha carrozable, que corresponde a un camino sin pavimentar, por lo que para este estudio se realizaron 03 calicatas. Cada calicata, designada como C-01, C-02 y C-03, implica la toma de muestras inalteradas de suelo natural en el lugar, con dimensiones de 1 metro por 1 metro y una profundidad de 1.50 metros. Estas muestras se extraen para su análisis en el laboratorio.

La cantidad de ensayos a realizar está detallada según cada calicata, involucrando combinaciones mediante la sustitución del suelo natural con dosificaciones de cal natural (CN), ceniza de briquetas de ladrilleras (CBL) y ceniza de cascarilla de arroz (CCA). Las etiquetas, descripciones y la cantidad de ensayos se encuentran detalladas en las Tablas 7 y 8.

**Figura 14.**

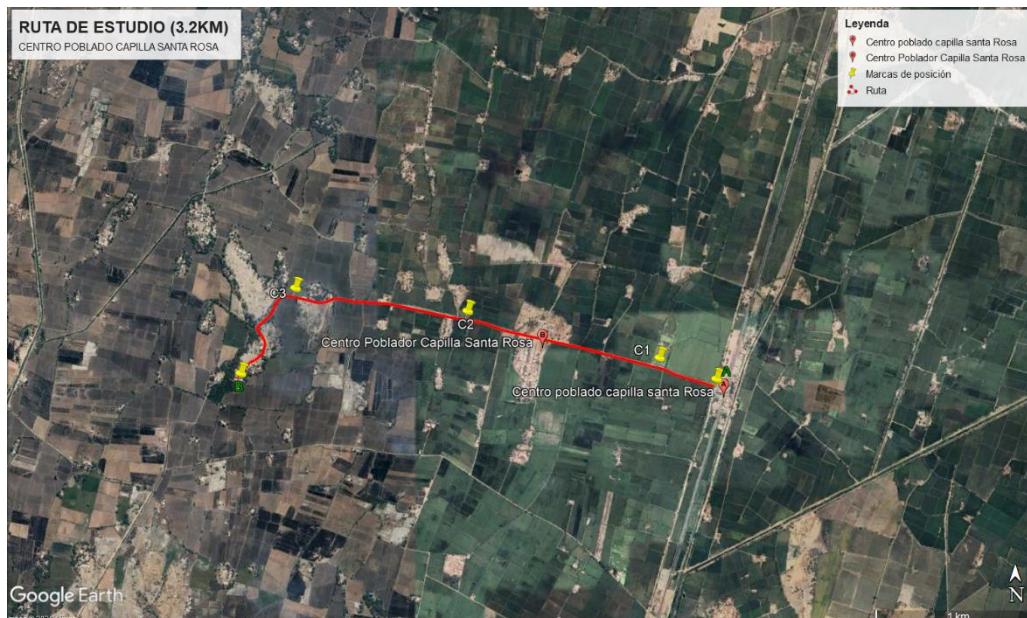
*Ubicación de las calicatas en la zona de estudio*



Nota: Obtenida de Google Earth (2024)

**Figura 15.**

*Ubicación de puntos para la elaboración de calicatas de la zona de estudio*



Nota: Obtenida de Google Earth (2024)



En la presente Tabla 7, se muestra la descripción de las muestras experimentales y sin tratamiento respecto a cada dosificación de las mezclas.

**Tabla 7.**

*Descripción de muestras sin y con tratamientos respecto a sus dosificaciones*

ETIQUETA	SUELO NATURAL	ESTABILIZANTES			DESCRIPCIÓN
		CN	CBL	CCA	
Suelo natural (S)	100%	-	-	-	Control
S+8CN	92%	8%	-	-	Con tratamiento
S+8CN+5CBL	87%	8%	5%	-	Con tratamiento
S+8CN+10CBL	82%	8%	10%	-	Con tratamiento
S+8CN+15CBL	77%	8%	15%	-	Con tratamiento
S+8CN+7CCA	85%	8%	-	7%	Con tratamiento
S+8CN+14CCA	78%	8%	-	14%	Con tratamiento
S+8CN+21CCA	71%	8%	-	21%	Con tratamiento

Nota: Proporciones propuestas para cada aditivo cal natural (CN), (CBL) y ceniza cáscara de arroz (CCA) en reemplazo del suelo natural

Dentro del marco establecido por la normativa MTC en su capítulo IV, denominado Manual de Carreteras (2014), se contempla la realización de un total de tres calicatas. Cada una de estas calicatas está destinada a cubrir un tramo de un kilómetro correspondiente a caminos no pavimentados o trochas de bajo tránsito, caracterizados por un flujo vehicular de 166 vehículos por día, según el estudio IMDA en el Anexo 06. Dichas calicatas proporcionan muestras alteradas con dimensiones de 0.80 x 0.80 metros y una profundidad de 1.50 metros. Posteriormente, se lleva a cabo la cuantificación correspondiente, tal como se detalla en la Tabla 8.

**Tabla 8.**

*Cuántía de muestras experimentales de investigación para cada ensayo*

ETIQUETA	Plasticidad	Compactación	CBR	Total
Suelo natural (S)	1	1	1	3
S+8CN	1	1	1	3
S+8CN+5CBL	1	1	1	3
S+8CN+10CBL	1	1	1	3
S+8CN+15CBL	1	1	1	3
S+8CN+7CCA	1	1	1	3
S+8CN+14CCA	1	1	1	3
S+8CN+21CCA	1	1	1	3
SUB TOTAL	8	8	8	24
N° CALICATAS	3	3	3	3
TOTAL	24	24	24	72

Nota: Se muestran las cantidades de muestra a considerar para cada ensayo en función de la etiqueta del tratamiento que le corresponde.

### **Residuos de CCA**

La justificación de emplear las dosis estipuladas fue toma según los autores, (Esquivel Saavedra & Gamez Velásquez, 2019) recalando que obtuvieron mejores resultados al 5% de CCA, mejorando así sus características mecánicas del suelo tratado.

Con dicho contexto, los investigadores consideraron sus porcentajes variables (5%, 10% y 15% en reemplazo del peso seco del suelo natural) utilizando el material pasante de la malla No100 el cual fue aplicado en los suelos de las vías a nivel de subrasante en la zona de estudio del Centro Poblado Capilla Santa Rosa, Caserío Sialupe Baca Sector I y Caserío Sialupe Baca Rio Hondo, Distrito Lambayeque, Provincia Lambayeque, Departamento Lambayeque.



## Residuos de CBL

La justificación de emplear las dosis estipuladas fue tomada según los autores (Arias Manrique & Ramos Javier, 2020), recalcando que obtuvieron mejores resultados al 15% de CBL, mejorando así sus características mecánicas del suelo tratado.

Con dicho contexto, los investigadores decidieron proponer sus porcentajes variables (7%, 14% y 21% en reemplazo del peso seco del suelo) utilizando el material pasante de la malla No100 el cual fue aplicado en los suelos de las vías a nivel de subrasante en la zona de estudio del Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca, Distrito Lambayeque, Provincia Lambayeque, Departamento Lambayeque.

### Figura 16.

*Esquema de proceso de mezclado de aditivo más suelo*



Nota: autoría propia

En el proceso de muestreo de esta investigación, los investigadores optaron por una metodología no probabilística basada en la conveniencia. En consecuencia, las combinaciones, la selección de porcentajes y la ubicación del proyecto de investigación fueron decididas por los investigadores según su propio criterio. En la elección de las dosificaciones, se tuvo en cuenta la revisión de antecedentes actuales para respaldar los rangos de dosis seleccionados y el procedimiento de integración en el suelo natural.

### **3.4. TÉCNICA, INSTRUMENTOS, EQUIPOS Y MATERIALES**

#### **3.4.1. TÉCNICAS**

Este estudio adoptó la observación directa como la técnica principal para recopilar información. Esta metodología implica llevar a cabo la observación en el lugar mismo de la investigación y en la supervisión de ensayos o prácticas investigativas. A través de esta labor, se obtienen datos pertinentes relacionados con el desarrollo y la conducta de la investigación, lo que contribuye a respaldar la hipótesis formulada inicialmente. Además, se hará uso de normativas y reglamentos reconocidos a nivel internacional como parte integral del proceso.

- Ensayo de clasificación de suelos ASTM D422
- Ensayo de límites de consistencia ASTM D4318
- Ensayo de Contenido de humedad ASTM D2216
- Ensayo de Próctor modificado ASTM D1557
- Ensayo de capacidad de soporte ASTM D1883

#### **3.4.2. INSTRUMENTOS**

La utilización de instrumentación juega un papel crucial en la generación de resultados, ya que se basa en el registro de datos observados, los cuales son luego corroborados por un profesional técnico calificado. No obstante, es esencial que la obtención de información resultante cumpla con requisitos fundamentales, tales como la confiabilidad y la validez, ambos cruciales para el estudio en cuestión.

En este sentido, el proceso de investigación implica la elaboración de informes correspondientes a cada ensayo propuesto, con el propósito de recopilar la información necesaria. Con este fin, se sigue el siguiente protocolo:

- Visualización
- Formatos de recolección de datos

Ficha Técnica: Clasificación de suelos– (Anexo N°3).

Ficha Técnica: Límites de consistencia– (Anexo N°3).

Ficha Técnica: Contenido de humedad– (Anexo N°3).

Ficha Técnica: Próctor modificado– (Anexo N°3).

Ficha Técnica: Capacidad de soporte– (Anexo N°3).

### **3.4.3. EQUIPOS**

Los equipos utilizados son los que predominan y han sido utilizados en el presente estudio investigativos:

Equipos:

- Tamices
- Taras y balanzas
- Horno eléctrico 110 °C +/- 5°C
- Depósitos de vidrio
- Cucharon
- Copa de Casagrande
- Máquina de CBR
- Moldes cilíndrico metálico de 4"
- Prensa de ensayo

### **3.4.4. MATERIALES**

Los materiales utilizados en esta investigación son los que se presentan a continuación:

- Material terroso (Suelo natural)
- Parafina
- Sacos
- Residuos de cenizas de briquetas de combustión de ladrilleras artesanales
- Cal viva
- Residuos de ceniza de cáscara de arroz

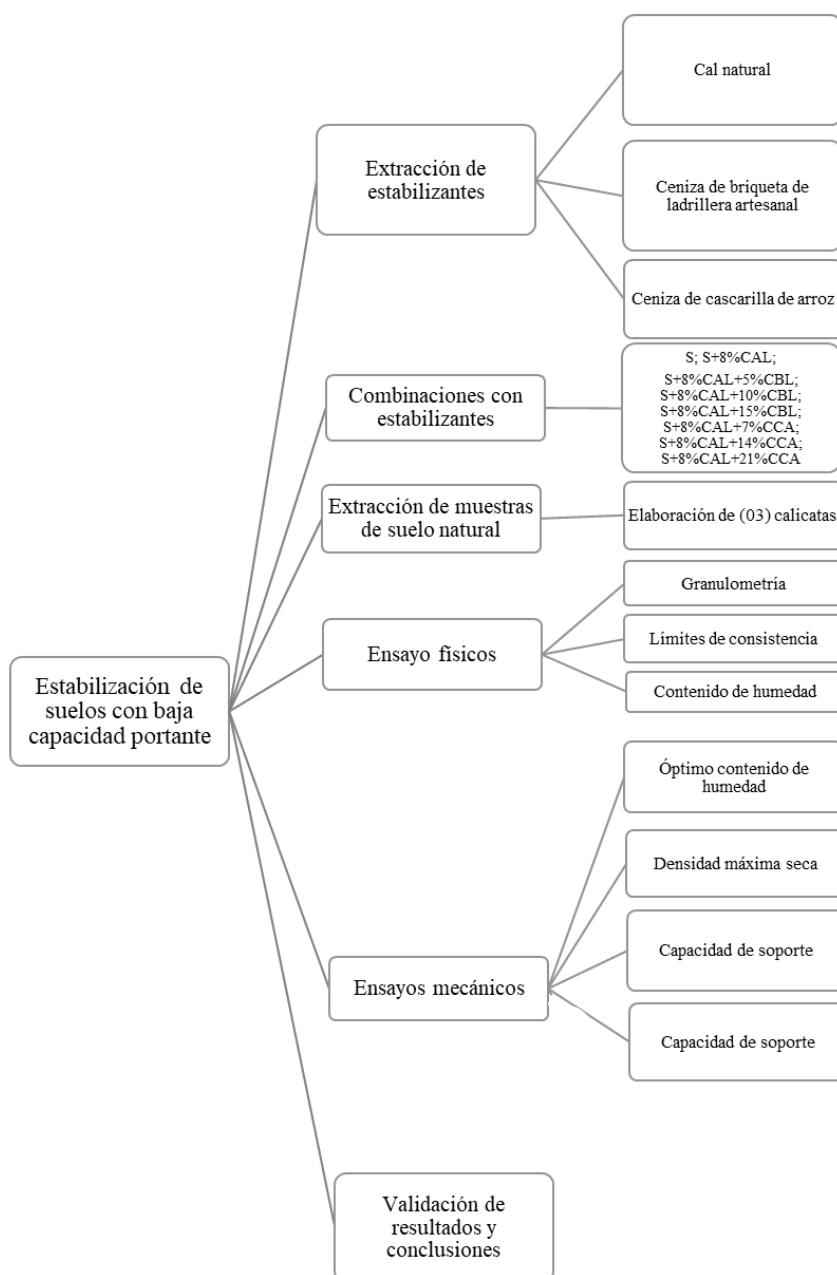
## CAPÍTULO IV: INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1. PROCEDIMIENTOS Y RECOPIACIÓN DE DATOS

Cada proceso o etapa que comprende desde inicio a fin es esencial para un proceso adecuado, comprenderá desde la obtención del material (ceniza de briqueta de ladrilleras artesanales y ceniza de cascarilla de arroz).

**Figura 17.**

*Esquema de descripción de procesos sobre la investigación a desarrollar.*



Nota: autoría propia.

## 4.2. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este apartado se muestran los resultados correspondientes a los objetivos planteados en esta investigación, para responder al objetivo general de analizar el uso de residuos de CBL y CCA en la estabilización de suelos de baja capacidad portante para caminos no pavimentados caminos del Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca, Distrito Lambayeque, Provincia Lambayeque, Departamento Lambayeque.

**Evaluar las propiedades físicas del suelo en su estado natural y suelo estabilizado con cal natural, ceniza de briquetas de combustión de ladrilleras artesanales y ceniza de cascarillas de arroz en la estabilización de suelos de baja capacidad portante para caminos no pavimentados.**

En la investigación se realizaron ensayos correspondientes al ensayo de límites de Atterberg, entre los que se desprenden el límite líquido, plástico e índice de plasticidad, realizado bajo parámetros normativos internacionales y nacionales, los resultados obtenidos en laboratorio se muestran en la siguiente Tabla 9.

**Tabla 9.**

*Resultados de plasticidad de la muestra natural*

Etiqueta	Denominación de la Calicata	Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	Contenido de humedad (%)	L.L. (%)	L.P. (%)	I.P. (%)
Suelo natural (S)	C1 – M1	2.60	15.22	30.14	16.53	13.61
Suelo natural (S)	C2 – M1	2.66	10.16	15.95	12.71	3.24
Suelo natural (S)	C3 – M1	2.67	8.08	16.23	14.25	1.98

Nota: Proporciones propuestas para cada muestra de suelo natural (S), LL: Límite líquido, LP: límite plástico, IP: índice de plasticidad.

Como se muestra en la Tabla 9, los resultados de la plasticidad del suelo natural (muestra tipo alterada) respecto a la calicata C1 obtenida de la muestra M1 se observó que muestra mayor plasticidad clasificándose como un suelo de plasticidad media el  $IP \leq 20$  /  $IP > 7$  por el reglamento MTC (2014, p.32), a comparación de sus otras muestras C2 y C3, respectivamente siendo menos plásticas. La clasificación del tipo de suelo de cada calicata pertenece mayormente a suelos arcillosos según la SUCS se consideró un CL arcilla inorgánica de baja plasticidad para la calicata etiquetada como C1, y para las calicatas C2 y C3 se obtuvo una SM arena limosa; según la AASTHO tuvo una clasificación A-6, A-6 y A-2-4 para las calicatas C1, C2 y C3. Las muestras de suelo natural tuvieron un contenido de humedad de 15.22, 10.16 y 8.08% bajo la normativa ASTM D2216.

**Tabla 10.**

*Resultados de plasticidad de las muestras de suelo estabilizado*

Etiqueta	Calicata	Clasificación SUCS	Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	L.L. (%)	L.P. (%)	I.P. (%)	Variación (%)
S+8CN	C1- M1	SM-SC	2.60	19.93	15.05	4.89	-64.07
S+8CN+5CBL	C1- M1	SM-SC	2.53	28	21.38	6.63	-51.29
S+8CN+10CBL	C1- M1	SM-SC	2.55	27.68	22.35	5.34	-60.76
S+8CN+15CBL	C1- M1	SM	2.54	26.06	22.79	3.27	-75.97
S+8CN+7CCA	C1- M1	SC	2.49	31.10	23.74	7.36	-45.92
S+8CN+14CCA	C1- M1	SC	2.44	38.25	29.85	8.40	-38.28
S+8CN+21CCA	C1- M1	SC	2.36	38.35	28.90	9.45	-30.57

Nota: Proporciones propuestas para cada aditivo cal natural (CN), (CBL) y ceniza cáscara de arroz (CCA) en reemplazo del suelo natural

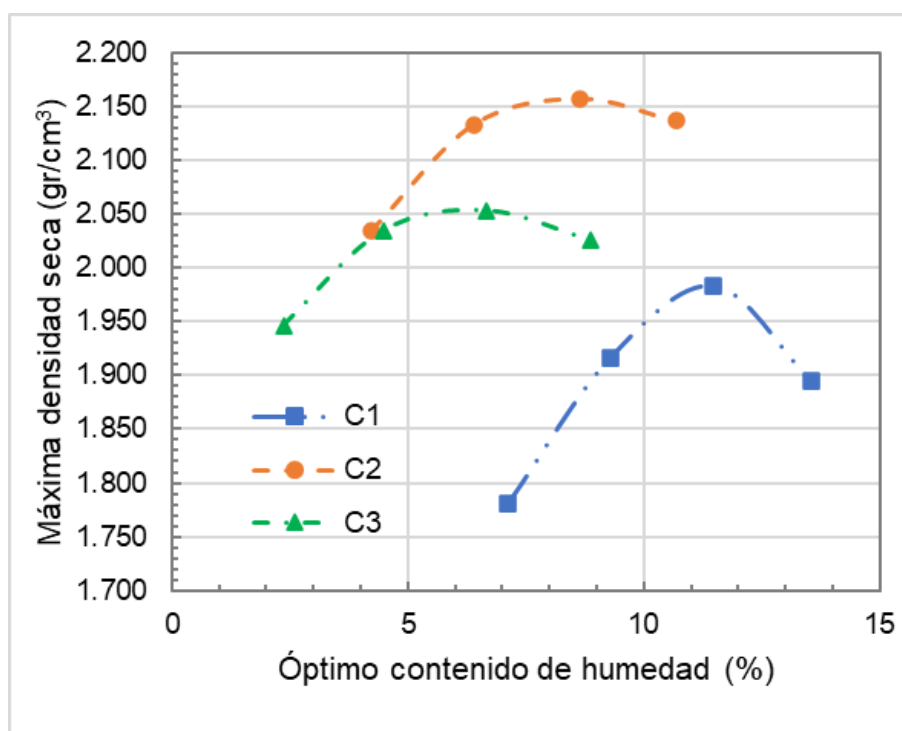
Conforme a los datos presentados en la Tabla 10, se evidencia que los resultados de plasticidad del suelo tratado con los aditivos residuales tienen un impacto directo en su estructura interna, según las consideraciones establecidas por la normativa internacional ASTM D4318. A diferencia de la muestra natural, se observa una disminución en la plasticidad al utilizar las

combinaciones S+8CN en -64.07%, S+8CN+15CBL en -75.97%, y C+8CN+7CCA en -45.92%, respectivamente. Esta reducción se atribuye al reemplazo del suelo natural por cada aditivo, lo que contribuye a disminuir la plasticidad del suelo. Este efecto beneficioso se logra tanto al emplear únicamente la cal como al combinarla con la CBL y la CCA por separado.

**Evaluar las propiedades mecánicas del suelo en su estado natural y suelo estabilizado con cal natural, ceniza de briquetas de combustión de ladrilleras artesanales y ceniza de cascarillas de arroz en la estabilización de suelos de baja capacidad portante para caminos no pavimentados.** Los resultados pertenecientes al siguiente objetivo específico se desarrollaron en laboratorio bajo supervisión y coordinación del responsable a cargo. En las siguiente Figuras se muestran los resultados obtenidos de muestras de suelo natural y suelo estabilizado.

**Figura 18.**

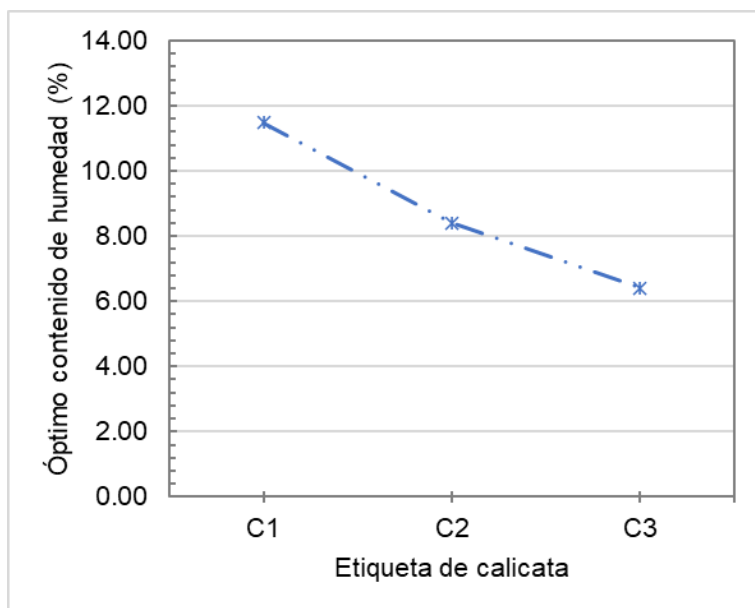
*Curva de compactación de las muestras naturales*



Nota: autoría propia

**Figura 19.**

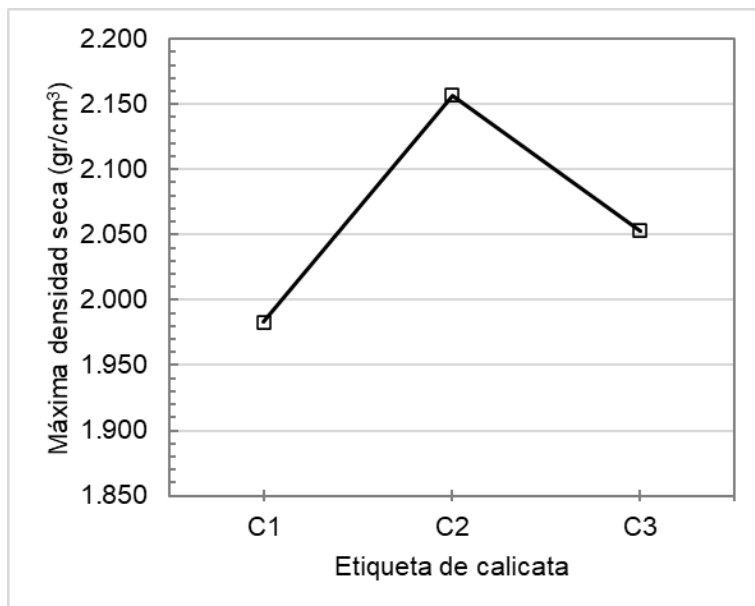
*Resultados de compactación respecto al OCH % del suelo natural*



Nota: autoría propia

**Figura 20.**

*Resultados de compactación respecto al MDS gr/cm<sup>3</sup> del suelo natural*



Nota: autoría propia

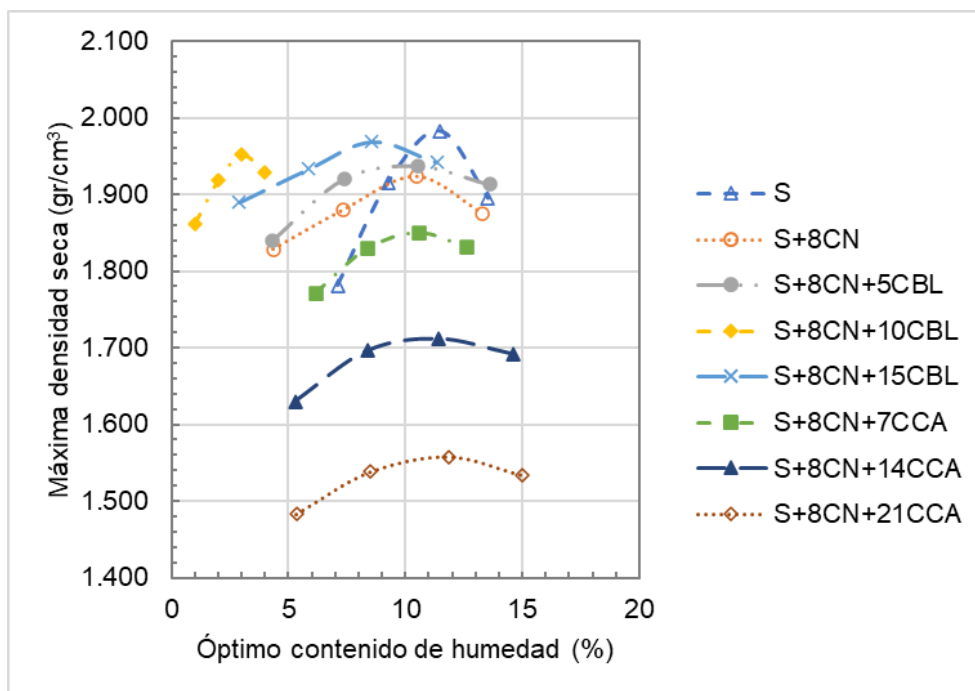
Como se observa en la Figura 18, las curvas de compactación que corresponden al ensayo de Proctor modificado bajo los criterios de la normativa ASTM D1557 se obtuvo resultados



variables para las calicatas C1, C2 y C3 pues su máxima densidad seca fue de 1.983, 2.157 y 2.053 gr/cm<sup>3</sup> y su óptimo contenido de humedad con valores de 11.48, 8.40 y 6.40%, respectivamente tal como se observan por separado en las Figuras 19 y Figura 20.

**Figura 21.**

*Curva de compactación con las muestras experimentales estabilizadas*



Nota: autoría propia

**Tabla 11.**

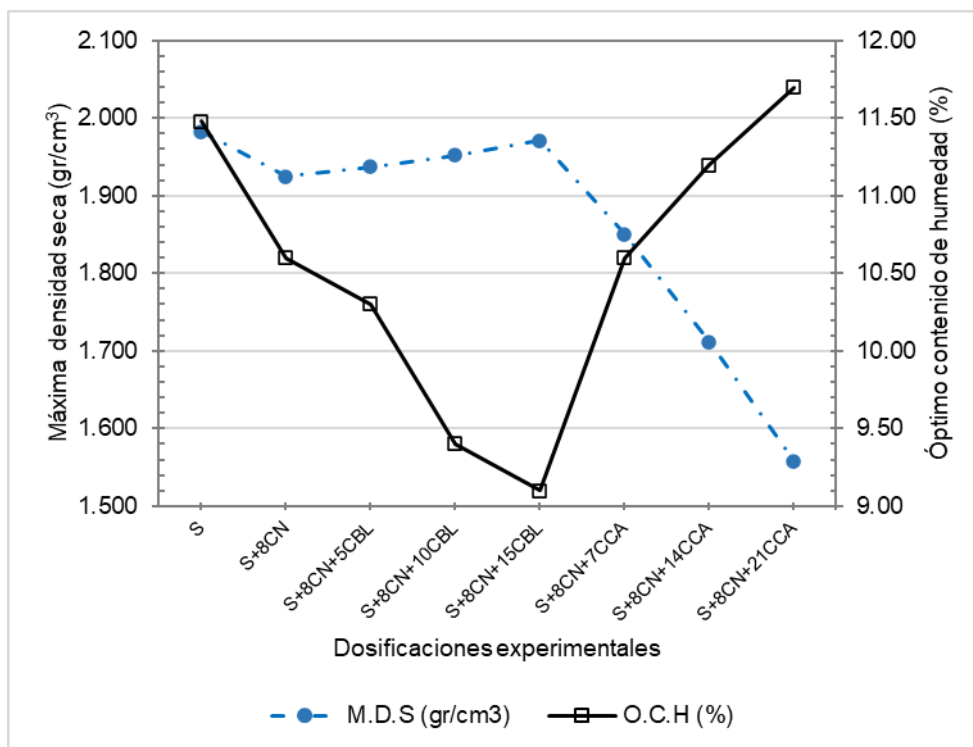
*Resultados del ensayo de compactación de cada combinación y variaciones porcentuales*

Cali	Ensayos	S	S+8 CN	S+8CN+ 5CBL	S+8CN+ 10CBL	S+8CN+ 15CBL	S+8CN+ 7CCA	S+8CN+ 14CCA	S+8CN+ 21CCA
cata									
C1	O.C.H	11.	10.6	10.30	9.40	9.10	10.60	11.20	11.70
	(%)	48	0						
<b>Variación %</b>		---	-	-10.28	-10.12	-20.73	-7.67	-2.44	<b>1.92</b>
			7.67						
C1	M.D.S	1.9	1.92	1.937	1.952	1.971	1.850	1.712	1.558
	(gr/cm <sup>3</sup> )	83	5						
<b>Variación %</b>		---	-	-2.32	-1.56	-0.61	-6.71	-13.67	-21.43
			2.92						

Nota: En la tabla se muestra valores porcentuales de aumento y reducción en función a la muestra control

**Figura 22.**

*Efecto de la combinación de CN, CBL y CN, CCA en el suelo natural respecto a la compactación*

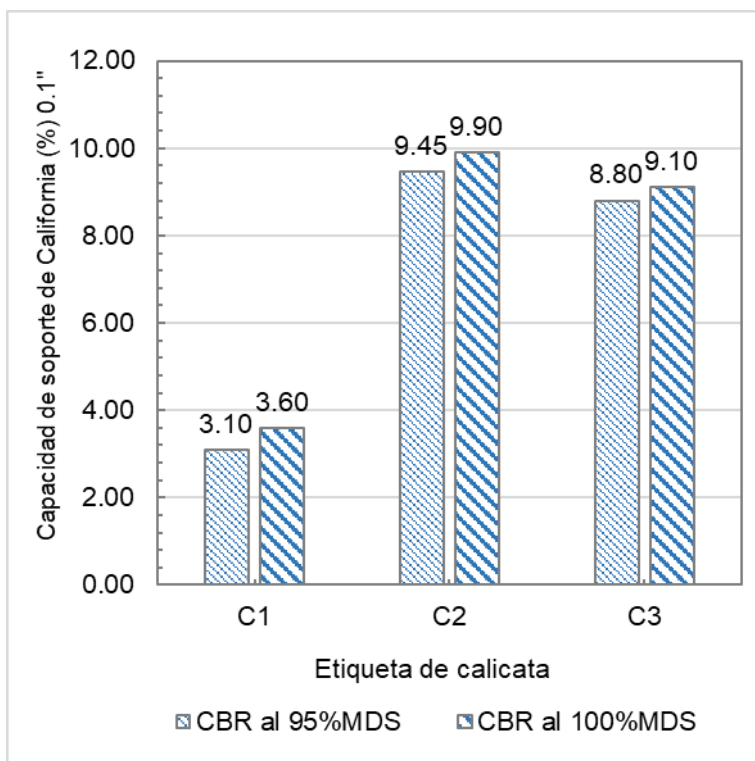


Nota: autoría propia

Según las Figuras 21 y 22, en conformidad con los criterios establecidos por la normativa ASTM D1557, se obtuvieron resultados diversos al aplicar CN, CN+CBL y CN+CCA al suelo natural. En la Tabla 11 Se evidenció que la MDS experimentó una disminución que osciló entre -1.92% y -21.43%, siendo más pronunciada en las combinaciones que involucran la muestra C+8CN y C+8CN+21CCA. Este comportamiento se atribuye a la influencia del peso específico de cada combinación, en contraste con el suelo natural cuyo peso específico es de  $2.60 \text{ gr/cm}^3$ , lo que tiende a reducirse y, como consecuencia, disminuye su máxima densidad seca. No obstante, se observa poca dificultad en la determinación precisa del contenido de humedad óptimo, ya que existe una tendencia a no requerir una mayor cantidad de agua para lograr una estabilización adecuada con el uso de CN+CBL, pero si con el uso de CN+CCA.

**Figura 23.**

*Resultados de la capacidad de soporte de california CBR (%) de la muestra natural de suelo*

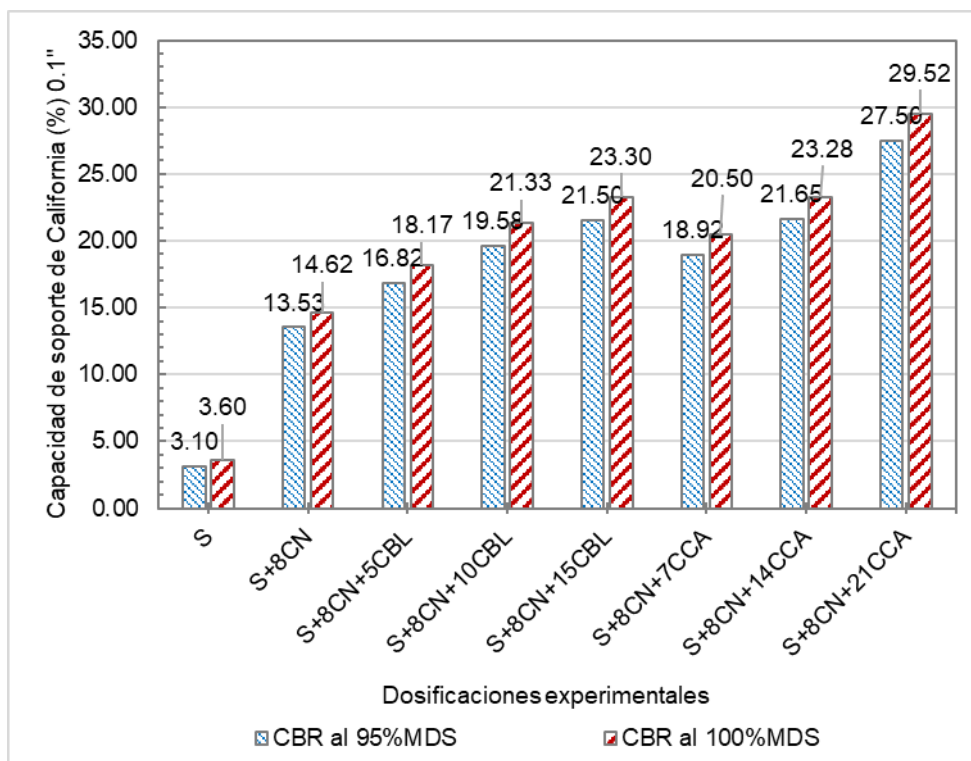


Nota: autoría propia

La Figura 23 revela, según los criterios establecidos por el reglamento internacional ASTM D1883 y la clasificación del tipo de subrasante según el MTC (2014, pág. 35), que la calicata C1 ha sido designada como una subrasante de calidad insuficiente, con un rango de  $CBR < 3\%$  a  $CBR \leq 6\%$  (C1). Asimismo, se ha catalogado como subrasante regular, con valores de  $CBR \geq 6\%$  a  $CBR \leq 10\%$ , correspondientes a las calicatas C2 y C3, respectivamente. Por consiguiente, se eligió la calicata C1, que presentaba la menor resistencia, como el punto de extracción de muestras de suelo natural para el estudio del programa experimental, dada su calidad menos favorable con fines de investigación.

**Figura 24.**

*Efecto de la combinación de CN, CBL y CN, CCA en el suelo natural respecto al CBR*



Nota: autoría propia

La Figura 24 muestra la clasificación del tipo de subrasante según el reglamento internacional ASTM D1883. En relación con la calicata C1, se evidencia una notable y significativa mejora en la calidad del soporte del suelo, según la categorización del MTC (2014, pág. 35). Para la muestra C+8CN, se registró un aumento de hasta 336.45%, mientras que con S+8CN+15CBL alcanzó hasta 593.55%, y con S+8CN+21CCA alcanzó hasta 787.10%. Esto representa un incremento de 3.4, 5.9 y 7.8 veces, respectivamente, en comparación con la muestra natural de suelo correspondiente a la calicata C1. La mejora se atribuye a la composición puzolánica única obtenida de los residuos de cenizas de ladrilleras artesanales y cascarilla de arroz de la región de Lambayeque, en contraste con el uso de cal. Este proceso ha permitido elevar la calidad de la subrasante de insuficiente a excelente, con un  $CBR \geq 30\%$ , según las normativas del MTC 2014.

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. CONCLUSIONES**

La investigación proporciona nueva información actualizada sobre el empleo de la cal natural, la ceniza de briquetas provenientes de la combustión de ladrilleras artesanales y la ceniza de cascarilla de arroz. Este estudio demuestra mejoras significativas en la estabilización de suelos con baja capacidad portante, específicamente en los caminos no pavimentados de Lambayeque. En relación con la hipótesis de investigación, se confirma que estas variables tienen una influencia considerable en la mejora de la estabilización de los suelos para caminos no pavimentados, transformando la categoría de CBR de inadecuada a buena y muy buena según la MTC-14. Además, se presentan las siguientes conclusiones:

1. Los resultados respecto a las propiedades físicas del suelo natural se clasificó como CL, con una plasticidad media de 13.61%. La plasticidad del suelo con cada tratamiento redujo hasta -64.07%, -75.97% y -45.92%, respectivamente correspondiente a las muestras 8CN, 8CN+15CBL y 8CN+21CCA, clasificando al suelo como SM-SC, SM y SC, respetivamente.
2. Los resultados respecto a las propiedades mecánicas mostraron un mejor comportamiento con las muestras S+8CN, S+8CN+15CBL y S+8CN+21CCA incrementando el CBR hasta 3.4, 5.9 y 7.8 veces respecto a la muestra natural de suelo. Siendo un residuo altamente beneficioso y sustentable para la estabilización de suelos a nivel de subrasante.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

Al analizar el desempeño de la aplicación de CN, CBL y CCA en el suelo tratado y su impacto en la estabilización de los caminos no pavimentados del Centro Poblado Capilla Santa Rosa, Caserío Sialupe Baca Sector I y Caserío Sialupe Baca Rio Hondo, Distrito Lambayeque, Provincia Lambayeque, Departamento Lambayeque, los investigadores formularon las siguientes sugerencias, considerando las limitaciones y conocimientos adquiridos durante la investigación:

1. Se sugiere realizar estudios de durabilidad al suelo natural como también análisis químicos para considerar ampliar más la gama de ensayos y analizar como repercute con las consideraciones mínimas normativas según el tipo de suelo encontrado in situ. Además, se sugiere analizar estos ensayos en cada combinación experimental con otra variedad de suelos para abalizar la influencia que podría generar.
2. Se recomienda utilizar las combinaciones S+8CN, S+8CN+15CBL y S+8CN+21CCA en la aplicación de estabilización de suelo arcillosos de baja plasticidad a nivel de subrasante, siendo el de mayor relevancia la combinación S+8CN+21CCA. Asimismo, se sugiere realizar estudios microestructurales al suelo de estudio, como microscopia de barrido electrónico SEM, DRX y FRX a las muestras de cenizas para analizar sus componentes químicos. Además, se sugiere combinar los tres aditivos óptimos para analizar en cuanto mejora esta combinación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abbas, A., Hussein, S., & Haider, H. (2023). Improving of the Subgrade Soil using Chemical Additives. *Basrah Journal for Engineering Sciences*, 23(1), 7-13.  
<https://doi.org/10.33971/bjes.23.1.2>
- Aguilar Paravicino, H. O., & Bravo Gutierréz, J. C. (2020). *Evaluación de la ceniza de fondo para la estabilización de suelos arcillosos provenientes de la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo - Cusco*. Cusco: [Tesis de pregrado] Universidad Andina del Cusco.  
[https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/3605/Hugo\\_Juan\\_Tesis\\_bachiller\\_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/3605/Hugo_Juan_Tesis_bachiller_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Alvarez, B. N., & Gutierrez, G. J. (2020). *Estudio experimental del efecto en el comportamiento mecánico al adicionar caucho triturado en un suelo arcilloso de baja plasticidad proveniente del caserío de Callampampa - Llama-Cajamarca*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Amadi, A., & Okeiyi, A. (2018). Use of quick and hydrated lime in stabilization of lateritic soil: comparative analysis of laboratory data. *International Journal of Geo-Engineering*, 8(3).  
<https://doi.org/10.1186/s40703-017-0041-3>
- Amhadi, T. S., & Assaf, G. J. (2018). Overview of Soil Stabilization Methods in Road Construction. *2nd GeoMEast International Congress and Exhibition on Sustainable Civil Infrastructures, Egypt 2018 - The official international congress of the Soil-Structure Interaction Group in Egypt, SSIGE 2018*. Cairo: Sustainable Civil Infrastructures.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-030-01911-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-01911-2_3)
- Angulo Roldan, M., & Zavaleta Papa, C. N. (2020). *Estabilización de suelos arcillosos con cal para el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas como capa de rodadura en la prolongación Navarro Cauper, Distrito San Juan-Maynas-iquitos, 2019*. San Juan Bautista - Maynas: [Tesis de pregrado] Universidad Científica del Perú - UCP.

<http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/1220/ANGULO%20ROLDAN%20>

[MARISELVA%20Y%20ZAVALETA%20PAPA%20CINTIA%20NICOL%20-](#)

[%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](#)

Araya Díaz, M. L. (2010). *Análisis comparativo para ejecución de estabilización de suelos, entre procesos tradicionales y el estabilizador de suelos soiltac*. Universidad Austral de Chile.

Arbieto, V. R. (2022). *Estabilización de subrasantes blandas con adición de lutita y cal, carretera Tamburco-Karkatera, Apurimac 2022*. [Tesis de pregrado, Universidad Continental].

Arias Manrique, G. T., & Ramos Javier, R. J. (2020). *Aplicación de cenizas de carbón procedentes de ladrilleras artesanales, para el mejoramiento de la subrasante, AA.HH. Los Ángeles, Lurigancho-Chosica, 2020*. Lima: [Tesis de pregrado] Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/55883>

Arulanantham, A. (2023). The engineering behind soil stabilization with additives: A state-of-the-art review. *Geotechnical and geolical engineering*.

Balakrishna, H., Kiran, K., Amith, S., & Darshan, D. (2023). Flexural behavior of RC beam by partial replacement of fine-aggregate with coal based brick-kiln-ash. *International Journal of Advances in Engineering and Management (IJAEM)*, 5(8), 357-362. <https://doi.org/10.35629/5252-0508357362>

Barman, D., & Dash, S. K. (2022). Stabilization of expansive soils using chemical additives: A review. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 14(4), 1319-1342. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2022.02.011>

Bello, D. R., & Castillo, L. V. (2023). *Efecto de cantidad y tamaño de partículas ceniza volante activada alcalinamente para estabilización para estabilización de la carretera Ticmar -*



*Molino del KM 0+000 al KM 05 + 90.00, Chocope, 2022.* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte].

Casimiro, C. V., & Melgarejo, S. K. (2022). *Suelo Cohesivo estabilizado con Caucho Granulado para mejorar las propiedades físico-mecánicas de una subrasante en zonas rurales.* Universidad Ricardo Palma.

CE.020. (2016). *Estabilización de suelos y taludes.* DS N°017-2012.

Cepeda, C. C. (2019). *Diseño vial a nivel de subrasante para la construcción de la vía de longitud de 6.0 km, que va desde la av. Chone hasta la av. Quevedo ubicada en el cantón Santon domingo de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana].

Cobos, L. D., & Baque, P. G. (2019). *Caracterización físico - mecánicas del suelo para cimentación en edificaciones de categoría baja, sector By Pass – John F. Kennedy, ciudad Jipijapa.* [Tesis de pregrado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí].  
<https://repositorio.unesum.edu.ec/browse?type=author&value=Baque+Parrales%2C+Galo+Arturo>

Crespo, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones.* México: Limusa Noriega Editores.

Das, B. M. (2014). *Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica.* Cengage Learning.

Das, Braja M.; Sobhan, Khaled. (2014b). *Principles of Geotechnical Engineering.* Nelson Education Ltd.

Das, Braja M.; Sobhan, Khaled. (2018). *Principles of Geotechnical Engineering* (9 ed.). RPL Editorial Services, Inc.

Delgado Rivera, C. A., & Mormontoy Peñalba, V. D. (2021). *Estabilización de suelos arcillosos*

*con adición de ceniza de mazorca de maíz y cal*. Cusco: [Tesis de pregrado] Universidad

Andina del Cusco. <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/4587>

Díaz Suárez, K. J., & Torres Frias, R. A. (2019). *Incorporación de partículas de caucho de*

*neumáticos para mejorar las propiedades mecánicas en suelos arcillosos*. Jaén:

Universidad Nacional de Jaén. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/236>

Esquivel Saavedra, G. E., & Gamez Velásquez, M. L. (2019). *Cal y cenizas de cáscara de arroz*

*para estabilizar la superficie de rodadura en la vía Santa Clemencia*. Chachapoyas.

Nuevo Chimbote: [Tesis de pregrado] Universidad Nacional del Santa.

<http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3501>

Febres Herrera, T. (2017). *Alternativa de solución a la problemática ambiental producida por*

*las ladrilleras artesanales en Arequipa*. Arequipa: [Tesis de maestría] Universidad

Nacional de San Agustín. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2840>

Fondjo, A., Theron, E., & Ray, R. (2021). Stabilization of expansive soils using mechanical and

chemical methods: A comprehensive review. *Civil engineering and architecture*, 9(5),

1289-1294.

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la Investigación: Las*

*rutas cuantitativas, cualitativa y mixta* (6 ed.). Ciudad de México: MCGRAW-HILL /

INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. [https://www.esup.edu.pe/wp-](https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf)

[content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-](https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf)

[Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf](https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf)

Hernández-Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. (2018). *Metodología*

*de la Investigación: Las rutas cuantitativas, cualitativa y mixta*. Ciudad de Mexico:

MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

<https://www.esup.edu.pe/wp->

[content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-](https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-)

[Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf](https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf)

Huaman Ramos, H., Ramirez Sucño, M. M., & Surichaqui Unchupaico, R. J. (2021). *Diseño y elaboración de briquetas ecológicas para la obtención de energía calorífica con residuos agrícolas generados en Masma Chicche, Jauja - 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Continental].

Jelonek, Z., Drobnik, A., Mastalerz, M., & Jelonek, I. (2020). Environmental implications of the quality of charcoal briquettes and lump charcoal used for grilling. *Science of The Total Environment*, 141267. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141267>

Kannan, V., Banu, S., & Jahana, A. (2019). Effects of rice husk ash lime on clay soil stabilization. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 67(6).

Liu, Y., Su, Y., Namdar, A., Zhou, G., She, Y., & Yang, Q. (2019). Utilization of cementitious material from residual rice husk ash and lime in stabilization. *Advances in civil engineering*(5205276), 1-17. <https://doi.org/10.1155/2019/5205276>

Macedo, M. C., Fucile, S., & Ferreira, S. R. (2016). Geomechanical behavior of soil mixtures with tire residues and construction and demolition waste. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 21, 6393 - 6410. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84992522128&origin=resultslist&sort=r-f&src=s&sid=73a0ad6eb9f6c97c4b22c5d0dc7e1a9e&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-KEY%28tire+residues+in+soils%29&sl=37&sessionSearchId=73a0ad6eb9f6c97c4b22c5d0dc7e1a9e>

- Mamani García, J., & Ramírez Rondán, M. B. (2020). *Análisis y evaluación de la estabilización de suelos arcillosos en la APV. Pícol Orcompugio mediante la adición de cal al 10% y puzolana volcánica de la cantera de Raqchi al 15,25 y 30% para subrasante de vías pavimentadas*. Cusco: [Tesis de pregrado] Universidad Andina del Cusco.  
[https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/3549/Jherson\\_Mario\\_Tesis\\_bachiller\\_2019\\_Part.1.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/3549/Jherson_Mario_Tesis_bachiller_2019_Part.1.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Martínez Becerra, R. A. (2020). *Estabilización de la subrasante incorporando caucho y cal, en la Av.Chimpu Ocllo, Carabayllo, 2020*. Lima: Universidad César Vallejo.  
[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/69294/Mart%c3%adnez\\_BRA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/69294/Mart%c3%adnez_BRA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Moayedi, H., Aghel, B., Abdullahi, M. M., Nguyen, H., & Safuan A Rashid, A. (2019). Applications of Rice Husk Ash as Green and Sustainable Biomass. *Journal of Cleaner Production*, 117851. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117851>
- Mohd, M., Halina, A., Raha, A., Abdullah, W., Mohammad, M., & Norashinkin, A.-H. (2020). Appraisal on different sustainable road stabilization techniques for different road condition and materials. *7th Asia Conferance on Mechanical and Materials Engineering, ACMME 2019*, 975, pp. 208-213. Tokyo.
- Nadie, A., Ratón, M., & Rahman, K. (2023). The application of rice husk ash and lime as a stabilizer for constriction purposes. *Geotechnical Engineering*, 54(1), 41-45.
- Nik, N., Jilil, F., Celik, S., & Albayrak, Z. (2019). The important aspects of subgrade stabilization for road construction. Selangor.
- Nurhan, E., Hadi, V., & Mustafa, K. (2021). Sand-granulated rubber mixture to prevent liquefaction-induced uplift of buried pipes: a shaking table study . *Bulletin of Earthquake Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s10518-021-01091-3>

Pachecom Moya, Y. L. (2023). *Aceite sulfonado con cemento para estabilización de suelos cohesivos en subrasante*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Los Andes].

Palacios, G. E., & Reyes, V. C. (2023). *Análisis comparativo de los parámetros de resistencia al corte de muestras alteradas e inalteradas en suelos de la zona norte del cantón Santa Elena para establecer rangos de variación de los resultados*. Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Peláez Arroyave, G. J., Velásquez Restrep, S. M., & Giraldo Vásquez, D. H. (2017). Aplicaciones de caucho reciclado: una revisión de la literatura. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 27(2). <https://doi.org/10.18359/rcin.2143>

Pezo López, F. G. (2018). *Mejoramiento y rehabilitación de la carretera vecinal Juan guerra-bello horizonte con estabilización de suelo cemento del terreno de fundación y capa de afirmado, distrito de Juan Guerra, provincia de San Martín, region San Martín*. Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto.

Pushpakumara, B. H., & Mendis, W. S. (2022). Suitability of Rice Husk Ash (RHA) with lime as a soil stabilizer in geotechnical applications. *International Journal of Geo-Engineering* , 13(4). <https://doi.org/10.1186/s40703-021-00169-w>

R.D. N°10-2014-MTC/2014. (2014). Manual de carreteras Suelos Geología, Geotecnia y pavimentos Sección Suelos y Pavimentos. El Peruano.

Rana, S., & Singh, S. (2023). Utilizing bottom ash, lime and sodium hexametaphosphate in expansive soil for flexible pavement subgrade design. *Multiscale and Multidisciplinary Modeling, Experiments and Design*.

Romero, V. M., & Solar, H. R. (2020). *Influencia del porcentaje de ceniza de cáscaras de arroz y residuos de conchas de abanico sobre el índice de CBR en la estabilización de un suelo arcilloso, en el distrito de San Pedro de Lloc*. Trujillo: Facultad de Ingeniería Civil -

Universidad Privada del Norte.

<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/24322/Solar%20Zegarra%20Henry%20Rub%c3%a9n%20-%20Romero%20Ferrer%20Vaganner%20Manuel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Satyanarayana, C., Tabitha, G., Srikanth, S., & Chandranna, K. (2022). Effect of Addition of Scrap Tire Chips in Stabilization of Clayey Sand. *Indian Geotechnical Conference, IGC 2020*. 152, pp. 399 - 408. India: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-1831-4\\_37](https://doi.org/10.1007/978-981-16-1831-4_37)

Singh, S., & Venkatesh, K. (2023). Stabilizing clayey soil in subgrade with waste ash. *National Academy Science Letters*, 47, 45-49. <https://doi.org/10.1007/s40009-023-01298-9>

Sipani, N., & Sharma, S. (2023). A review on comparative study of stabilization of black cotton soil by different chemical stabilizers. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 279-284, 297.

Snodi, L. N., & Hussein, I. S. (2019). Tire Rubber Waste for Improving Gypseous Soil. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 584, 012043. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/584/1/012043>

Tangri, A. (2020). Effect of lime and RHA on clayey soil - A review. *Materials today: Proceedings*.

Vallejos-Castro, J. (2004). *Dilatancia y ángulo de fricción efectivo de la arena eólica de Piura con el ensayo de corte directo*. Universidad De Piura.

Vega, Y. (10 de julio de 2021). Lambayeque: agricultores cosecharán 412.000 toneladas de arroz en 2021. *La República*. <https://larepublica.pe/sociedad/2021/07/10/lambayeque-agricultores-cosecharan-412000-toneladas-de-arroz-en-2021-lrnd/>

Villanueva, M. C. (2023). *Evaluación de la ceniza de carbón como aditivo estabilizador en suelos arcillosos con fines de pavimentación*. [Tesis de pregrado, Universidad Señor de Sipán].

Yilmaz, Y., Coban, H., Cetin, B., & Edil, T. (2019). Use of standard and off-spec fly ashes for soil stabilization. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(2), 1-11.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002599](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002599)

Yin, Z., Lekalpore, R. L., & Ndiema, K. M. (2022). Experimental Study of Black Cotton Soil Stabilization with Natural Lime and Pozzolans in Pavement Subgrade Construction. *coatings*, 12(103). <https://doi.org/10.3390/coatings12010103>

Zhuang, Y. (19 de Junio de 2011). *Conference: Geotechnical Engineering*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29068.46722>

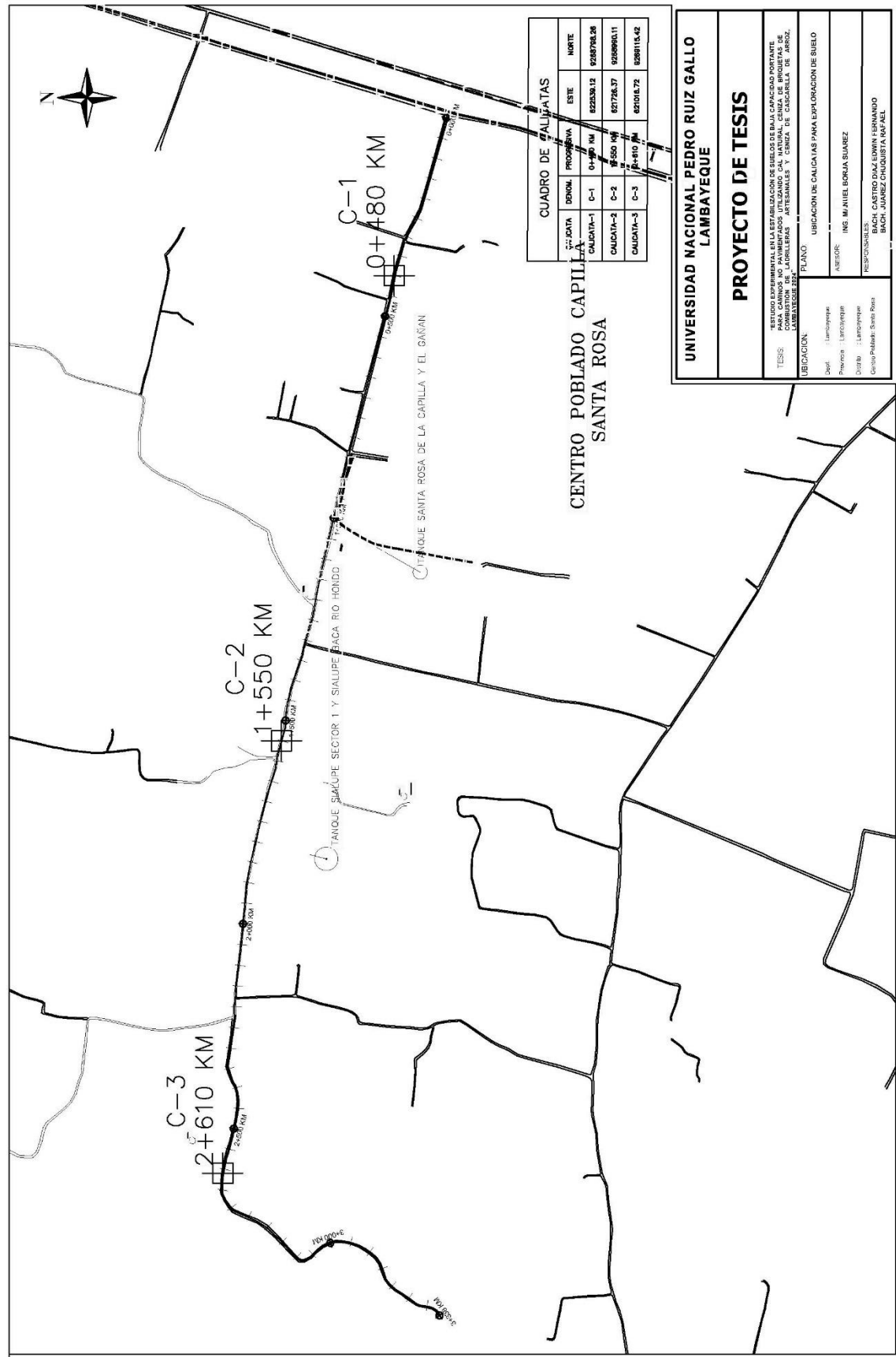
ANEXOS

Anexos 01: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
<b>P. General</b>	<b>O. General</b>	<b>H. General</b>	<b>INDEPENDIENTE</b>			
¿De qué manera influye el estudio experimental con cal natural, ceniza de briquetas de combustión de ladrilleras artesanales y ceniza de cascarilla de arroz en la estabilización de suelos de baja capacidad portante para caminos no pavimentados, Lambayeque, 2022?	Analizar las propiedades físicas y mecánicas del suelo con cal natural, ceniza de briquetas de combustión de ladrilleras artesanales y ceniza de cascarillas de arroz en la estabilización de suelos de baja capacidad portante para caminos no pavimentados, Lambayeque, 2022.	La cal natural, ceniza de briquetas de combustión de ladrilleras artesanales y ceniza de cascarilla de arroz mejoraran significativamente en la estabilización de suelos de baja capacidad portante para caminos no pavimentados, Lambayeque, 2022.	Cal Natural	DOSIFICACIÓN EN FUNCIÓN AL PESO DEL SUELO	8%	Ficha Recolección de Datos Anexo 1-A
			Ceniza de briquetas de combustión de ladrilleras artesanales	DOSIFICACIÓN EN FUNCIÓN AL PESO DEL SUELO	5% 10% 15%	Ficha Recolección de Datos Anexo 1-A
				COMPOSICIÓN QUÍMICA	%	
			Ceniza de cascarilla de arroz	DOSIFICACIÓN EN FUNCIÓN AL PESO DEL SUELO	7% 14% 21%	Ficha Recolección de Datos Anexo 1-A
				COMPOSICIÓN QUÍMICA	%	
<b>P. Especifico</b>	<b>O. Especifico</b>	<b>H. Especifico</b>	<b>DEPENDIENTE</b>			
	•Evaluar las propiedades físicas del suelo en su estado natural y suelo estabilizado con cal natural, ceniza de briquetas de combustión de ladrilleras artesanales y ceniza de cascarillas de arroz en la estabilización de suelos de baja capacidad portante para caminos no pavimentados		Estabilización de suelos	PROPIEDADES FÍSICAS	Índice de plasticidad	Ficha Recolección de Datos ASTM D4318 Anexo 2-A
				PROPIEDADES MECÁNICAS	Óptimo contenido de humedad	Ficha Recolección de Datos ASTM D1557 Anexo 2-B
					Densidad máxima seca	Ficha Recolección de Datos ASTM D1557 Anexo 2-C
					Capacidad de soporte	Ficha Recolección de Datos ASTM D1883 Anexo 2-D
					Resistencia no confinada	Ficha Recolección de Datos ASTM D2166 Anexo 2-E



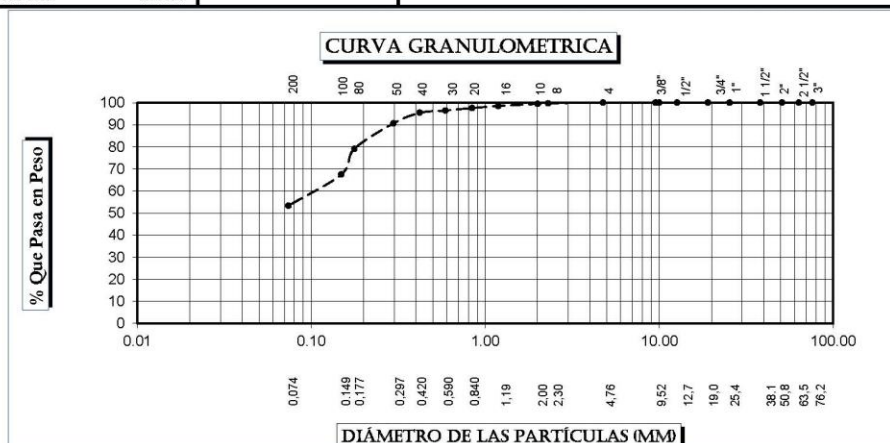
Anexos 02: Plano de ubicación de calicatas de excavación de la zona de estudio



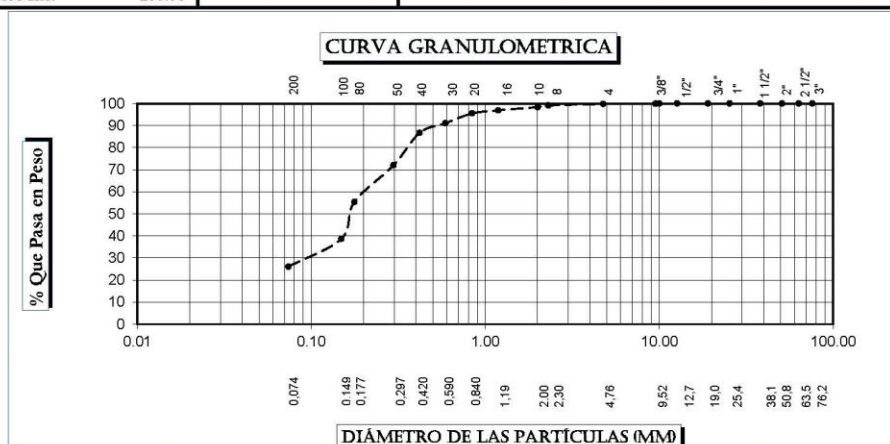
### Anexos 03: Informe de laboratorio

#### Anexo 03.1. Granulometría de los suelos naturales

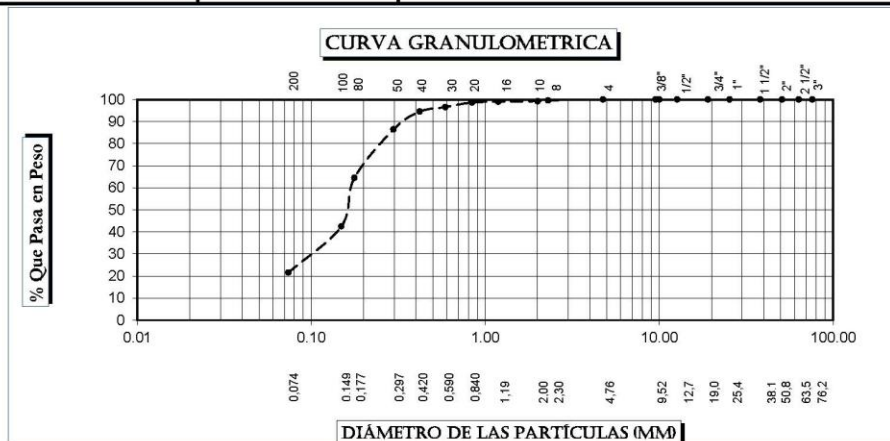
 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO</b> ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						
<b>ANÁLISIS MECÁNICO POR TAMIZADO</b>						
<b>TESISTAS :</b> Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael						
<b>PROYECTO DE TESIS :</b> "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"						
<b>LUGAR :</b> Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca - Lambayeque <b>FECHA :</b> May-24 <span style="float: right;"><b>CALICATA N° 1</b> <b>MUESTRA N° 1</b></span>						
Tamices ASTM	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Que Pasa	Especificaciones	<u>DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA</u>	
3"					CL, arcillas inorgánicas con débil o mediana plasticidad.	
2 1/2"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"					L.L. : 30.14	L.P. : 16.53
1/2"					L.P. : 13.61	L.G. :
3/8"					CLASIF. AASHTO: <b>A - 6 0</b>	
1/4"					<u>OBSERVACIONES</u>  _____ _____ _____ <b>PROFUNDIDAD: 0.10 - 0.45 m</b> _____ _____ _____	
N° 04			100.00			
N° 08						
N° 10	1.13	0.57	99.44			
N° 16						
N° 20	3.72	1.86	97.58			
N° 30						
N° 40	4.39	2.20	95.38			
N° 50	9.49	4.75	90.64			
N° 80						
N° 100	46.22	23.11	67.53			
N° 200	28.37	14.19	53.34			
< N° 200	106.68	53.34	0.00			
Peso Inc.	200.00					



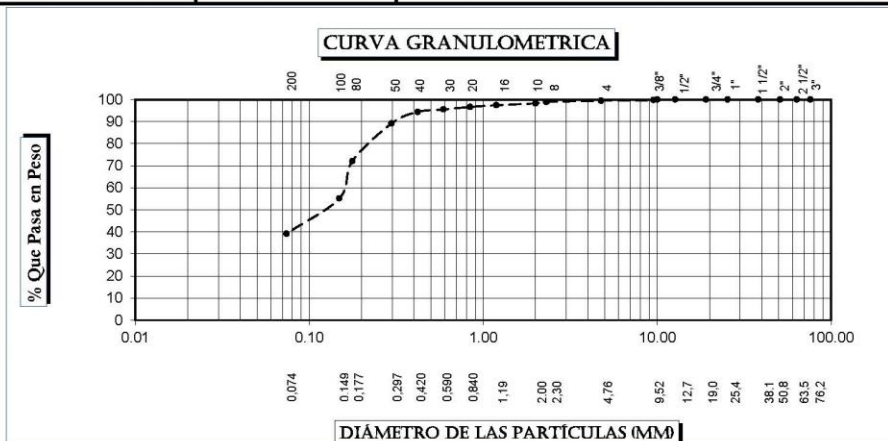
	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO</b> ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS				
<b>ANÁLISIS MECÁNICO POR TAMIZADO</b>					
<b>TESISTAS :</b> Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael					
<b>PROYECTO :</b> "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"					
<b>LUGAR :</b> Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca - Lambayeque					
<b>FECHA :</b> May-24 <span style="float: right;"><b>CALICATA N° 2</b> <b>MUESTRA N° 1</b></span>					
Tamices	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Que Pasa	Especificaciones	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA</b>            SM, arenas limosas, mezclas de arena y limo.         </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>L.L. : 15.95</span> <span>L.P. : 12.71</span> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>I.P. : 3.24</span> <span>L.G. :</span> </div> <div style="margin-top: 5px;">           CLASIF. AASHTO: <b>A - 2 - 4 0</b> </div>
3"					<b>OBSERVACIONES</b>  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <b>PROFUNDIDAD: 0.10 - 0.45 m</b> </div>
2 1/2"					
2"					
1 1/2"					
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"			100.00		
1/4"					
N° 04	0.39	0.20	99.81		
N° 08					
N° 10	2.84	1.42	98.39		
N° 16					
N° 20	5.80	2.90	95.49		
N° 30					
N° 40	17.61	8.81	86.68		
N° 50	29.29	14.65	72.04		
N° 80					
N° 100	66.61	33.31	38.73		
N° 200	25.28	12.64	26.09		
< N° 200	52.18	26.09	0.00		
Peso Inc.	200.00				



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO</b> ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS				
<b>ANÁLISIS MECÁNICO POR TAMIZADO</b>					
<b>TESISTAS</b> : Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin 0 Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael					
<b>PROYECTO DE TESIS</b> : "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"					
<b>LUGAR</b> : Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserio Sialupe Baca - Lambayeque <b>FECHA</b> : May-24 <span style="float: right;"><b>CALICATA N° 3</b> <b>MUESTRA N° 1</b></span>					
Tamices ASTM	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Que Pasa	Especificaciones	<b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA</b>  SM, arenas limosas, mezclas de arena y limo.
3"					L.L. : 16.23    L.P. : 14.25 I.P. : 1.98    L.G. :
2 1/2"					
2"					CLASIF. AASHTO: <b>A - 2 - 4    0</b>
1 1/2"					
1"					<b>OBSERVACIONES</b>  PROFUNDIDAD: <b>0.10 - 0.45 m</b>
3/4"					
1/2"					
3/8"					
1/4"					
N° 04			100.00		
N° 08					
N° 10	1.50	0.75	99.25		
N° 16					
N° 20	1.15	0.58	98.68		
N° 30					
N° 40	8.40	4.20	94.48		
N° 50	16.05	8.03	86.45		
N° 80					
N° 100	87.81	43.91	42.55		
N° 200	41.91	20.96	21.59		
< N° 200	43.18	21.59	0.00		
Peso Inc.	200.00				

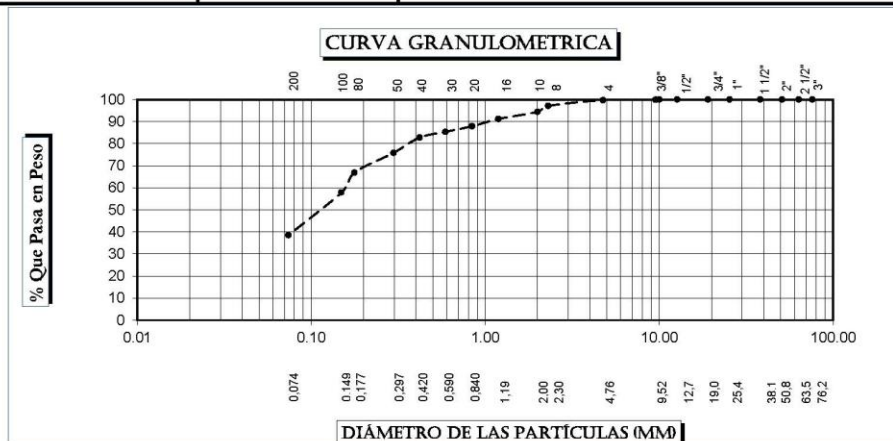


	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO</b> ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS				
<b>ANÁLISIS MECÁNICO POR TAMIZADO</b>					
<b>TESISTAS :</b> Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael					
<b>PROYECTO DE TESIS :</b> "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"					
<b>LUGAR :</b> Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserio Sialupe Baca - Lambayeque					
<b>FECHA :</b> May-24 <span style="float: right;">C-1 +8% CAL</span>					
Tamices ASTM	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Que Pasa	Especificaciones	<b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA</b> SM-SC, arenas limoarcillosas, mezcla de arena, limo y arcilla.
3"					L.L. : 19.93    L.P. : 15.05 I.P. : 4.88    L.G. :
2 1/2"					
2"					CLASIF. AASHTO:    A - 4    0
1 1/2"					
1"					<b>OBSERVACIONES</b>     PROFUNDIDAD: 0.10 - 0.45 m
3/4"					
1/2"					
3/8"					
1/4"			100.00		
Nº 04	1.01	0.51	99.50		
Nº 08					
Nº 10	2.48	1.24	98.26		
Nº 16					
Nº 20	3.24	1.62	96.64		
Nº 30					
Nº 40	4.53	2.27	94.37		
Nº 50	10.48	5.24	89.13		
Nº 80					
Nº 100	67.82	33.91	55.22		
Nº 200	31.99	16.00	39.23		
< Nº 200	78.45	39.23	0.00		
Peso Inc.	200.00				

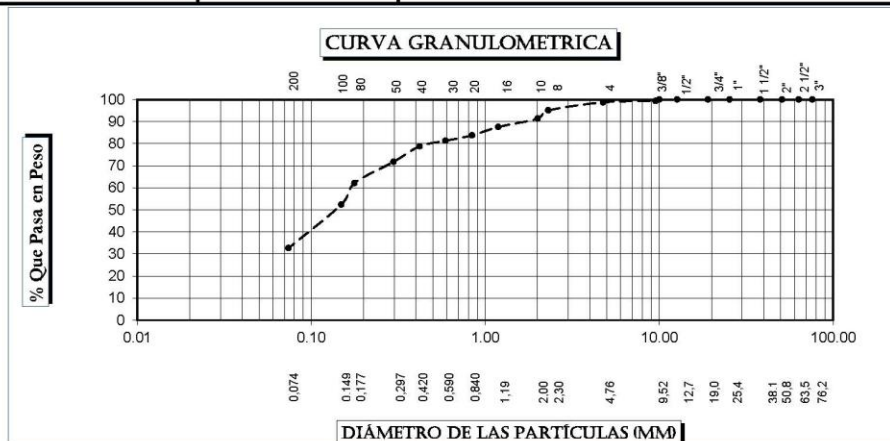




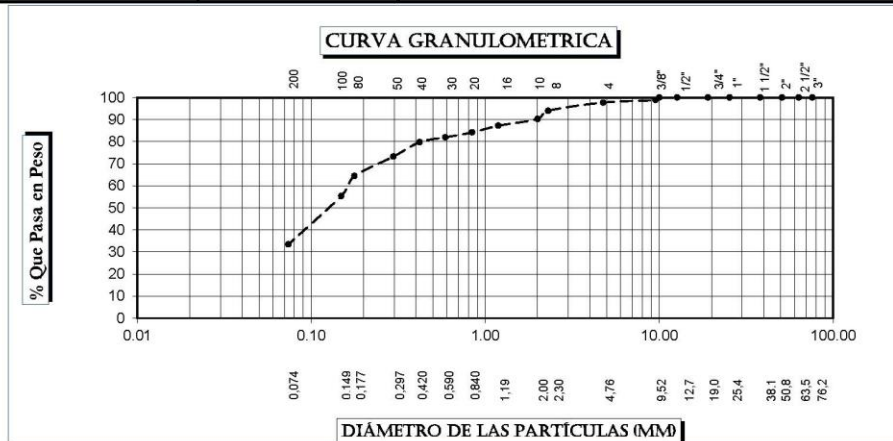
	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO</b> ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL <b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS</b>				
<b>ANÁLISIS MECÁNICO POR TAMIZADO</b>					
TESISTAS :	Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael				
PROYECTO DE TESIS :	"ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"				
LUGAR :	Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserio Sialupe Baca - Lambayeque				
FECHA :	May-24 C-1 +8% CAL + 5% CL.				
Tamices ASTM	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Que Pasa	Especificaciones	<b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA</b> SM-SC, arenas limoarcillosas, mezcla de arena, limo y arcilla. L.L. : 28.00    L.P. : 21.28 I.P. : 6.72    L.G. : CLASIF. AASHTO:    A - 4    0
3"					<b>OBSERVACIONES</b>            PROFUNDIDAD: 0.10 - 0.45 m
2 1/2"					
2"					
1 1/2"					
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"					
1/4"			100.00		
Nº 04	0.58	0.29	99.71		
Nº 08					
Nº 10	10.52	5.26	94.45		
Nº 16					
Nº 20	13.08	6.54	87.91		
Nº 30					
Nº 40	10.30	5.15	82.76		
Nº 50	13.86	6.93	75.83		
Nº 80					
Nº 100	35.94	17.97	57.86		
Nº 200	38.71	19.36	38.51		
< Nº 200	77.01	38.51	0.00		
Peso Inc.	200.00				



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO</b> ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL <b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS</b>					
<b>ANÁLISIS MECÁNICO POR TAMIZADO</b>						
<b>TESISTAS :</b> Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael						
<b>PROYECTO DE TESIS :</b> "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"						
<b>LUGAR :</b> Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserio Sialupe Baca - Lambayeque						
<b>FECHA :</b> May-24 <span style="float: right;">C-1 +8% CAL + 10% CL.</span>						
Tamices ASTM	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Que Pasa	Especificaciones	<b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA</b> SM-SC, arenas limoarcillosas, mezcla de arena, limo y arcilla.	
3"					L.L. : 27.6%    L.P. : 22.35 I.P. : 5.33    L.G. :	
2 1/2"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"					CLASIF. AASHTO: <b>A - 2 - 4    0</b>	
1/2"						
3/8"						
1/4"			100.00			
Nº 04	2.54	1.27	98.73			
Nº 08					<b>OBSERVACIONES</b>     <b>PROFUNDIDAD: 0.10 - 0.45 m</b>	
Nº 10	14.78	7.39	91.34			
Nº 16						
Nº 20	15.17	7.59	83.76			
Nº 30						
Nº 40	9.91	4.96	78.80			
Nº 50	14.11	7.06	71.75			
Nº 80						
Nº 100	38.58	19.29	52.46			
Nº 200	39.61	19.81	32.65			
< Nº 200	65.30	32.65	0.00			
Peso Inc.	200.00					

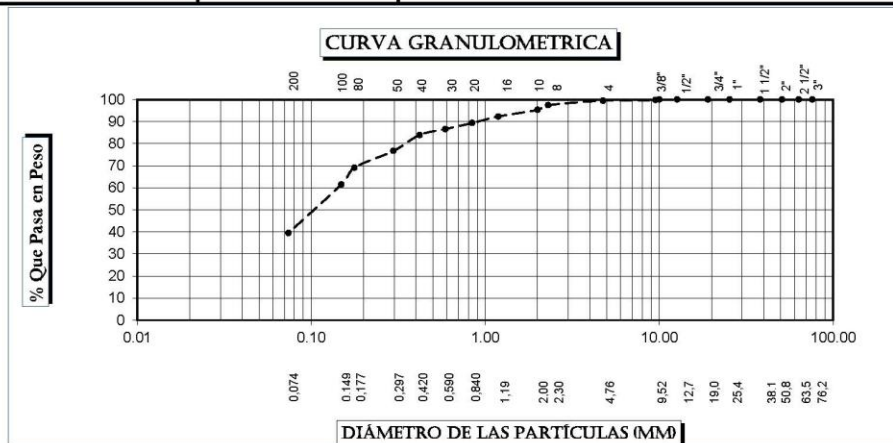


	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO</b> ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL <b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS</b>					
<b>ANÁLISIS MECÁNICO POR TAMIZADO</b>						
<b>TESISTAS :</b> Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael						
<b>PROYECTO DE TESIS :</b> "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"						
<b>LUGAR :</b> Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserio Sialupe Baca - Lambayeque						
<b>FECHA :</b> May-24 <span style="float: right;">C-1 +8% CAL + 15% CL.</span>						
Tamices ASTM	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Que Pasa	Especificaciones	<b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA</b>  SM, arenas limosas, mezclas de arena y limo.	
3"					L.L. : 26.06    L.P. : 22.79 I.P. : 3.27    L.G. :	
2 1/2"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"					CLASIF. AASHTO: <b>A - 2 - 4    0</b>	
1/2"						
3/8"						
1/4"			100.00			
Nº 04	4.56	2.28	97.72			
Nº 08					<b>OBSERVACIONES</b>  PROFUNDIDAD: <b>0.10 - 0.45 m</b>	
Nº 10	14.94	7.47	90.25			
Nº 16						
Nº 20	12.15	6.08	84.18			
Nº 30						
Nº 40	8.86	4.43	79.75			
Nº 50	12.97	6.49	73.26			
Nº 80						
Nº 100	35.57	17.79	55.48			
Nº 200	44.00	22.00	33.48			
< Nº 200	66.95	33.48	0.00			
Peso Inc.	200.00					

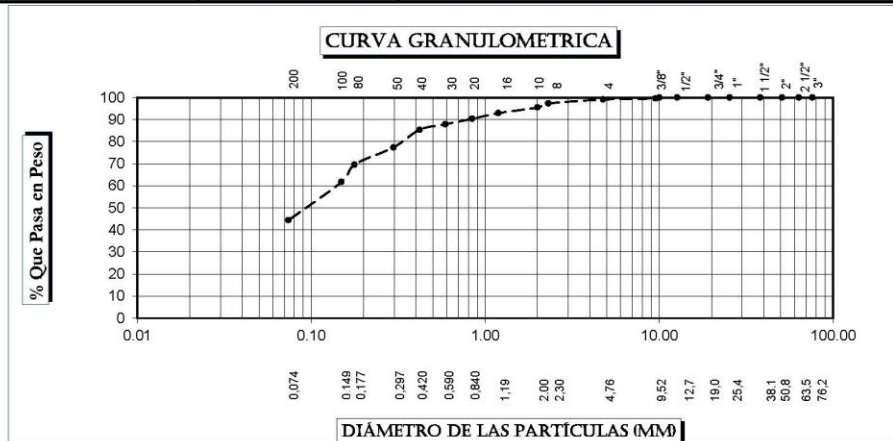




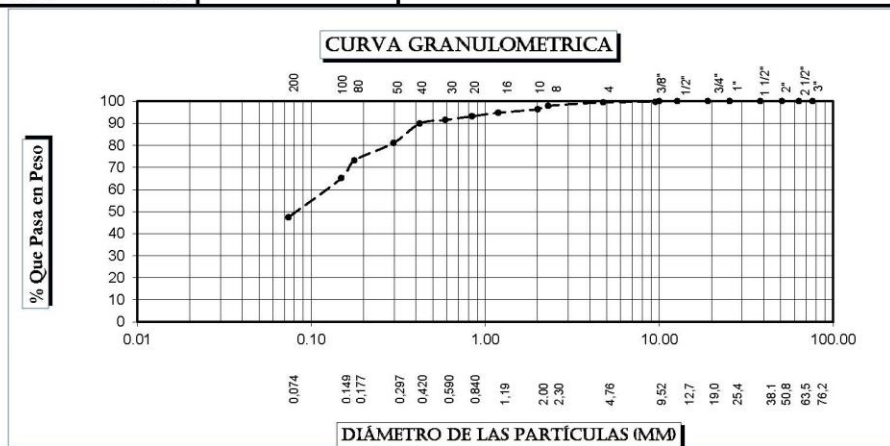
	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO</b> ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL <b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS</b>					
<b>ANÁLISIS MECÁNICO POR TAMIZADO</b>						
<b>TESISTAS :</b> Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael						
<b>PROYECTO DE TESIS :</b> "EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"						
<b>LUGAR :</b> Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca - Lambayeque						
<b>FECHA :</b> May-24 <span style="float: right;">C-1 +8% CAL + 7% CA.</span>						
Tamices ASTM	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Que Pasa	Especificaciones	<b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA</b>  SC, arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla.	
3"					L.L. : 31.10    L.P. : 23.74 I.P. : 7.36    L.G. :	
2 1/2"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"					CLASIF. AASHTO: <b>A - 4    0</b>	
1/2"						
3/8"						
1/4"			100.00			
Nº 04	1.02	0.51	99.49			
Nº 08					<b>OBSERVACIONES</b>  PROFUNDIDAD: 0.10 - 0.45 m	
Nº 10	8.36	4.18	95.31			
Nº 16						
Nº 20	11.97	5.99	89.33			
Nº 30						
Nº 40	10.80	5.40	83.93			
Nº 50	14.41	7.21	76.72			
Nº 80						
Nº 100	30.39	15.20	61.53			
Nº 200	43.96	21.98	39.55			
< Nº 200	79.09	39.55	0.00			
Peso Inc.	200.00					



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO</b> ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL <b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS</b>								
<b>ANÁLISIS MECÁNICO POR TAMIZADO</b>									
<b>TESISTAS :</b> Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael									
<b>PROYECTO DE TESIS :</b> "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"									
<b>LUGAR :</b> Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserio Sialupe Baca - Lambayeque									
<b>FECHA :</b> May-24 <span style="float: right;">C-1 +8% CAL + 14% CA.</span>									
Tamices ASTM	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Que Pasa	Especificaciones	<b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA</b>  SC, arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla.  <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: none;">L.L. : 38.25</td> <td style="border: none;">L.P. : 29.85</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">I.P. : 8.40</td> <td style="border: none;">L.G. :</td> </tr> </table> CLASIF. AASHTO: <b>A - 4    0</b>	L.L. : 38.25	L.P. : 29.85	I.P. : 8.40	L.G. :
L.L. : 38.25	L.P. : 29.85								
I.P. : 8.40	L.G. :								
3"									
2 1/2"									
2"									
1 1/2"									
1"									
3/4"									
1/2"									
3/8"									
1/4"			100.00						
Nº 04	1.83	0.92	99.09		<b>OBSERVACIONES</b>  <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div>				
Nº 08									
Nº 10	7.20	3.60	95.49						
Nº 16									
Nº 20	10.27	5.14	90.35						
Nº 30									
Nº 40	9.93	4.97	85.39						
Nº 50	15.90	7.95	77.44						
Nº 80									
Nº 100	31.47	15.74	61.70						
Nº 200	34.61	17.31	44.40						
< Nº 200	88.79	44.40	0.00						
Peso Inc.	200.00								



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO</b> ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL <b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS</b>				
<b>ANÁLISIS MECÁNICO POR TAMIZADO</b>					
<b>TESISTAS :</b> Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael					
<b>PROYECTO DE TESIS :</b> "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"					
<b>LUGAR :</b> Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserio Sialupe Baca - Lambayeque					
<b>FECHA :</b> May-24 <span style="float: right;">C-1 +8% CAL + 21% CA.</span>					
Tamices ASTM	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Que Pasa	Especificaciones	
3"					<b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA</b>  SC, arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla.
2 1/2"					
2"					
1 1/2"					
1"					
3/4"					L.L. : 38.35      L.P. : 28.90 I.P. : 9.45      I.G. :
1/2"					<b>CLASIF. AASHTO:</b> A - 4      0  <b>OBSERVACIONES</b>  _____ _____ _____ <b>PROFUNDIDAD:</b> 0.10 - 0.45 m _____ _____ _____
3/8"					
1/4"			100.00		
Nº 04	1.17	0.59	99.42		
Nº 08					
Nº 10	6.18	3.09	96.33		
Nº 16					
Nº 20	6.32	3.16	93.17		
Nº 30					
Nº 40	6.67	3.34	89.83		
Nº 50	17.53	8.77	81.07		
Nº 80					
Nº 100	31.89	15.95	65.12		
Nº 200	35.41	17.71	47.42		
< Nº 200	94.83	47.42	0.00		
Peso Inc.	200.00				



## Anexo 03.2. Gravedad específica de los suelos naturales



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



### ENSAYO: PESO ESPECIFICO

ASTM D 854

TESISTAS Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Fernando  
 Bach. Ing. Civil Juarez Chuquista, Rafael  
 PROYECTO DE "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD  
 TESIS PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE  
 BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE  
 CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"  
 LUGAR Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca - Lambayeque  
 FECHA May-24

1	N° POZO MUESTRA	C1-M1	C2-M1	C3-M1	CAL	C1+8%CAL
2						
3	TEMPERATURA	25°	25°	25°	25°	25°
4	N° DE FIOLA	1	2	3	11	10
5	P. FIOLA + P. MUESTRA en gr.	249.57	282.36	261.97	199.45	247.11
6	PESO DE FIOLA en gr.	112.41	100.57	134.97	118.80	106.56
7	PESO DE SUELO SECO EN gr.	137.16	181.79	127.00	80.65	140.55
8	P. FIOLA + P. SUELO + P. AGUA en gr.	446.24	462.59	463.29	412.63	442.57
9	P. FIOLA + P. AGUA EN gr.	361.79	349.26	383.94	368.03	356.06
10	PESO ESPECIFICO gr/cm3	2.60	2.66	2.67	2.24	2.60



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



## ENSAYO: PESO ESPECIFICO

**ASTM D 854**

TESISTAS Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Fernando  
Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael  
"ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

PROYECTO DE TESIS

LUGAR Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca - Lambayeque

FECHA May-24

1	N° POZO MUESTRA	C1+8%CAL+5%CL	C1+8%CAL+10%CL	C1+8%CAL+15%CL
2				
3	TEMPERATURA	25°	25°	25°
4	N° DE FIOLA	4	5	6
5	P. FIOLA + P. MUESTRA en gr.	264.09	276.33	288.45
6	PESO DE FIOLA en gr.	124.80	130.10	133.01
7	PESO DE SUELO SECO EN gr.	139.29	146.23	155.44
8	P. FIOLA + P. SUELO + P. AGUA en gr.	458.16	468.09	476.50
9	P. FIOLA + P. AGUA EN gr.	374.01	379.24	382.28
10	PESO ESPECIFICO gr/cm3	2.53	2.55	2.54





**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



## ENSAYO: PESO ESPECIFICO

ASTM D 854

TESISTAS Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Fernando  
Bach. Ing. Civil Juarez Chuquista, Rafael  
"ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA  
CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL  
PROYECTO DE TESIS NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS  
ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"  
LUGAR Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca - Lambayeque  
FECHA May-24

1	N° POZO MUESTRA	C1+8%CAL+7%CA	C1+8%CAL+14%CA	C1+8%CAL+21%CA
2				
3	TEMPERATURA	25°	25°	25°
4	N° DE FIOLA	7	8	9
5	P. FIOLA + P. MUESTRA en gr.	260.79	245.53	241.12
6	PESO DE FIOLA en gr.	110.15	117.95	114.53
7	PESO DE SUELO SECO EN gr.	150.64	127.58	126.59
8	P. FIOLA + P. SUELO + P. AGUA en gr.	449.38	442.08	436.52
9	P. FIOLA + P. AGUA EN gr.	359.29	366.87	363.52
10	PESO ESPECIFICO gr/cm <sup>3</sup>	2.49	2.44	2.36

### Anexo 03.3. Límites de consistencia suelos naturales



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**



**TESISTAS** : Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin  
 Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael

**PROYECTO DE TESIS** : "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

**LUGAR** : Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca - Lambayeque

**FECHA** : May-24

**MUESTRA** : C1-M1

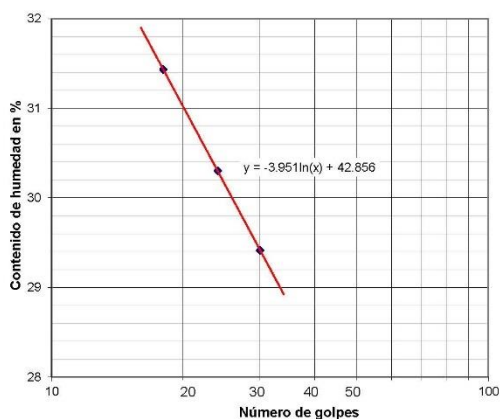
#### ENSAYO: LÍMITE LÍQUIDO

1	PERF. - MUEST.	C1-M1		
2	CÁPSULA N°	239	245	141
3	Peso Suelo Húm + Cáp. gr.	52.11	54.71	51.41
4	Peso Suelo Seco + Cáp. gr.	44.61	47.01	44.58
5	Peso del Agua: ( 3 - 4 ) gr.	7.50	7.70	6.83
6	Peso de la Cápsula gr.	20.75	21.60	21.36
7	Peso Suelo Seco: ( 4 - 6 ) gr.	23.86	25.41	23.22
8	% de humedad ( 5 / 7 *100)	31.43	30.30	29.41
9	N° de golpes	18	24	30

#### ENSAYO: LÍMITE PLÁSTICO

1	PERF. - MUEST.	C1-M1
2	CÁPSULA N°	33
3	Peso Suelo Húm + Cáp. gr.	42.0
4	Peso Suelo Seco + Cáp. gr.	39.14
5	Peso del Agua: ( 3 - 4 ) gr.	2.86
6	Peso de la Cápsula gr.	21.84
7	Peso Suelo Seco: ( 4 - 6 ) gr.	17.3
8	% de humedad ( 5 / 7 *100)	16.53

P - M	C1-M1
L. L. %	30.14
L. P. %	16.53
I. P. %	13.61





**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**



**TESISTAS** : Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin  
 Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael

**PROYECTO DE TESIS** : "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

**LUGAR** : Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserio Sialupe Baca - Lambayeque

**FECHA** : May-24

**MUESTRA** : C2-M1

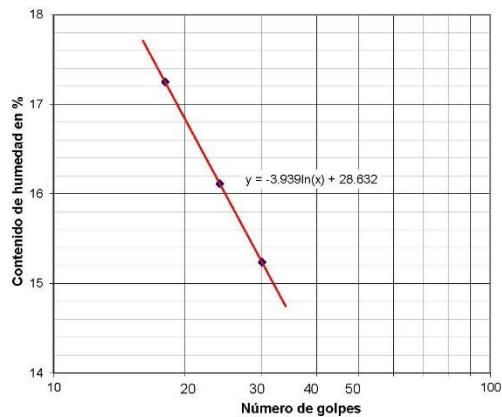
**ENSAYO: LÍMITE LÍQUIDO**

1	PERF. - MUEST.	C2-M1		
2	CÁPSULA N°	267	132	114
3	Peso Suelo Húm + Cáp.	55.63	52.56	50.98
4	Peso Suelo Seco + Cáp.	50.54	48.15	47.02
5	Peso del Agua: ( 3 - 4 )	5.09	4.41	3.96
6	Peso de la Cápsula	21.03	20.78	21.03
7	Peso Suelo Seco: ( 4 - 6 )	29.51	27.37	25.99
8	% de humedad ( 5 / 7 *100)	17.25	16.11	15.24
9	N° de golpes	18	24	30

**ENSAYO: LÍMITE PLÁSTICO**

1	PERF. - MUEST.	C2-M1
2	CÁPSULA N°	212
3	Peso Suelo Húm + Cáp.	41.4
4	Peso Suelo Seco + Cáp.	39.25
5	Peso del Agua: ( 3 - 4 )	2.15
6	Peso de la Cápsula	22.34
7	Peso Suelo Seco: ( 4 - 6 )	16.91
8	% de humedad ( 5 / 7 *100)	12.71

P - M	C2-M1
L. L.	15.95
L. P.	12.71
I. P.	3.24







**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**



**TESISTAS** : Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin  
 Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael

**PROYECTO DE TESIS** : "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

**LUGAR** : Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserio Sialupe Baca - Lambayeque

**FECHA** : May-24

**MUESTRA** : C3-M1

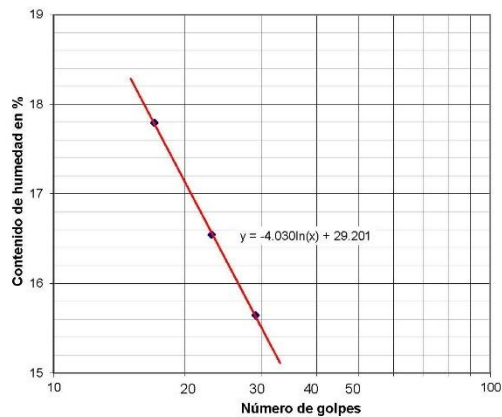
**ENSAYO: LÍMITE LÍQUIDO**

1	PERF. - MUEST.	C3-M1		
2	CÁPSULA N°	72	260	175
3	Peso Suelo Húm + Cáp.	54.54	53.21	51.77
4	Peso Suelo Seco + Cáp.	49.56	48.69	47.85
5	Peso del Agua: ( 3 - 4 )	4.98	4.52	3.92
6	Peso de la Cápsula	21.57	21.37	22.79
7	Peso Suelo Seco: ( 4 - 6 )	27.99	27.32	25.06
8	% de humedad ( 5 / 7 *100)	17.79	16.54	15.64
9	N° de golpes	17	23	29

**ENSAYO: LÍMITE PLÁSTICO**

1	PERF. - MUEST.	C3-M1
2	CÁPSULA N°	128
3	Peso Suelo Húm + Cáp.	42.22
4	Peso Suelo Seco + Cáp.	39.59
5	Peso del Agua: ( 3 - 4 )	2.63
6	Peso de la Cápsula	21.13
7	Peso Suelo Seco: ( 4 - 6 )	18.46
8	% de humedad ( 5 / 7 *100)	14.25

P - M	C3-M1
L. L.	16.23
L. P.	14.25
I. P.	1.98





**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**



**TESISTAS** : Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin  
 Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael

**PROYECTO DE TESIS** : "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

**LUGAR** : Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserio Sialupe Baca - Lambayeque

**FECHA** : May-24

**MUESTRA** : C1 + 8.0% DE CAL + 5.0% CENIZA LADRILLERA

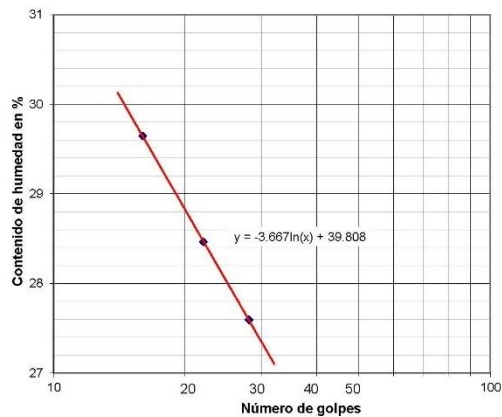
**ENSAYO: LÍMITE LÍQUIDO**

1	PERF. - MUEST.	C1 + 8% CAL + 5% C. LAD.		
2	CÁPSULA N°	065	206	068
3	Peso Suelo Húm + Cáp.	52.22	53.96	54.04
4	Peso Suelo Seco + Cáp.	45.12	46.77	47.02
5	Peso del Agua: ( 3 - 4 )	7.10	7.19	7.02
6	Peso de la Cápsula	21.17	21.51	21.58
7	Peso Suelo Seco: ( 4 - 6 )	23.95	25.26	25.44
8	% de humedad ( 5 / 7 *100)	29.65	28.46	27.59
9	N° de golpes	16	22	28

**ENSAYO: LÍMITE PLÁSTICO**

1	PERF. - MUEST.	C1 + 8% CAL + 5% C. LAD.
2	CÁPSULA N°	18
3	Peso Suelo Húm + Cáp.	38.61
4	Peso Suelo Seco + Cáp.	35.6
5	Peso del Agua: ( 3 - 4 )	3.01
6	Peso de la Cápsula	21.52
7	Peso Suelo Seco: ( 4 - 6 )	14.08
8	% de humedad ( 5 / 7 *100)	21.38

P - M	C1 + 8% CAL + 5% C. LAD.
L. L.	28.00
L. P.	21.38
I. P.	6.63





## UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



### TESISTAS

: Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin

Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael

### PROYECTO DE TESIS

: "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

### LUGAR

: Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserio Sialupe Baca - Lambayeque

### FECHA

: May-24

### MUESTRA

: C1 + 8.0% DE CAL + 10.0% CENIZA LADRILLERA

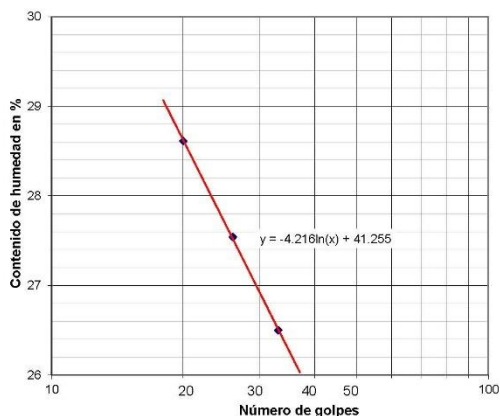
## ENSAYO: LÍMITE LÍQUIDO

1	PERF. - MUEST.	C1 + 8% CAL + 10% C. LAD.		
2	CÁPSULA N°	130	355	140
3	Peso Suelo Húm + Cáp.	48.31	50.78	51.23
4	Peso Suelo Seco + Cáp.	42.41	44.41	44.96
5	Peso del Agua: ( 3 - 4 )	5.90	6.37	6.27
6	Peso de la Cápsula	21.79	21.28	21.30
7	Peso Suelo Seco: ( 4 - 6 )	20.62	23.13	23.66
8	% de humedad ( 5 / 7 *100)	28.61	27.54	26.50
9	N° de golpes	20	26	33

## ENSAYO: LÍMITE PLÁSTICO

1	PERF. - MUEST.	C1 + 8% CAL + 10% C. LAD.
2	CÁPSULA N°	151
3	Peso Suelo Húm + Cáp.	42.21
4	Peso Suelo Seco + Cáp.	38.42
5	Peso del Agua: ( 3 - 4 )	3.79
6	Peso de la Cápsula	21.46
7	Peso Suelo Seco: ( 4 - 6 )	16.96
8	% de humedad ( 5 / 7 *100)	22.35

P - M	C1 + 8% CAL + 10% C. LAD.
L. L.	27.68
L. P.	22.35
I. P.	5.34





## UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



**TESISTAS** : Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin  
Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael

**PROYECTO DE TESIS** : "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

**LUGAR** : Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserio Sialupe Baca - Lambayeque

**FECHA** : May-24

**MUESTRA** : C1 + 8.0% DE CAL + 15.0% CENIZA LADRILLERA

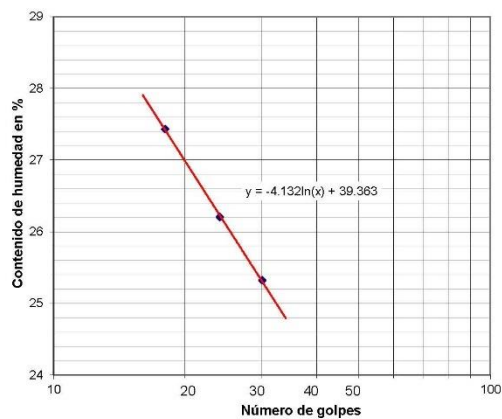
### ENSAYO: LÍMITE LÍQUIDO

1	PERF. - MUEST.	C1 + 8% CAL + 15% C. LAD.		
2	CÁPSULA N°	117	34	264
3	Peso Suelo Húm + Cáp.	45.56	47.23	48.11
4	Peso Suelo Seco + Cáp.	40.31	41.96	42.60
5	Peso del Agua: ( 3 - 4 )	5.25	5.27	5.51
6	Peso de la Cápsula	21.17	21.85	20.84
7	Peso Suelo Seco: ( 4 - 6 )	19.14	20.11	21.76
8	% de humedad ( 5 / 7 *100)	27.43	26.21	25.32
9	N° de golpes	18	24	30

### ENSAYO: LÍMITE PLÁSTICO

1	PERF. - MUEST.	C1 + 8% CAL + 15% C. LAD.
2	CÁPSULA N°	61
3	Peso Suelo Húm + Cáp.	41.56
4	Peso Suelo Seco + Cáp.	37.95
5	Peso del Agua: ( 3 - 4 )	3.61
6	Peso de la Cápsula	22.11
7	Peso Suelo Seco: ( 4 - 6 )	15.84
8	% de humedad ( 5 / 7 *100)	22.79

P - M	C1 + 8% CAL + 15% C. LAD.
L. L.	26.06
L. P.	22.79
I. P.	3.27





**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**



**TESISTAS** : Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin  
 Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael

**PROYECTO DE TESIS** : "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

**LUGAR** : Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserio Sialupe Baca - Lambayeque

**FECHA** : May-24

**MUESTRA** : C1 + 8.0% DE CAL + 7.0% CENIZA ARROZ

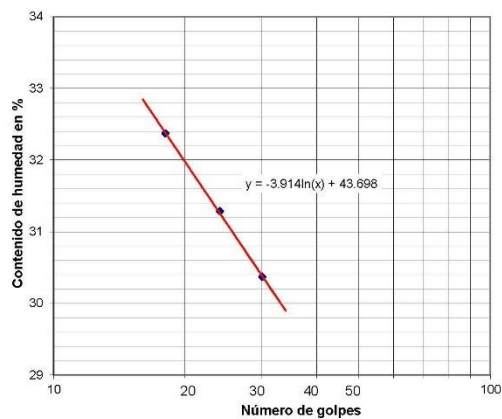
**ENSAYO: LÍMITE LÍQUIDO**

1	PERF. - MUEST.	C1 + 8% CAL + 7% C. ARROZ		
2	CÁPSULA N°	231	059	258
3	Peso Suelo Húm + Cáp.	48.41	50.72	47.88
4	Peso Suelo Seco + Cáp.	42.01	43.74	41.63
5	Peso del Agua: ( 3 - 4 )	6.40	6.98	6.25
6	Peso de la Cápsula	22.24	21.43	21.05
7	Peso Suelo Seco: ( 4 - 6 )	19.77	22.31	20.58
8	% de humedad ( 5 / 7 *100)	32.37	31.29	30.37
9	N° de golpes	18	24	30

**ENSAYO: LÍMITE PLÁSTICO**

1	PERF. - MUEST.	C1 + 8% CAL + 7% C. ARROZ
2	CÁPSULA N°	229
3	Peso Suelo Húm + Cáp.	40.36
4	Peso Suelo Seco + Cáp.	36.72
5	Peso del Agua: ( 3 - 4 )	3.64
6	Peso de la Cápsula	21.39
7	Peso Suelo Seco: ( 4 - 6 )	15.33
8	% de humedad ( 5 / 7 *100)	23.74

P - M	C1 + 8% CAL + 7% C. ARROZ
L. L.	31.10
L. P.	23.74
I. P.	7.36





## UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



**TESISTAS** : Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin  
Bach. Ing. Civil Juárez Chuquiasta, Rafael

**PROYECTO DE TESIS** : "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

**LUGAR** : Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserio Sialupe Baca - Lambayeque

**FECHA** : May-24

**MUESTRA** : C1 + 8.0% DE CAL + 14.0% CENIZA ARROZ

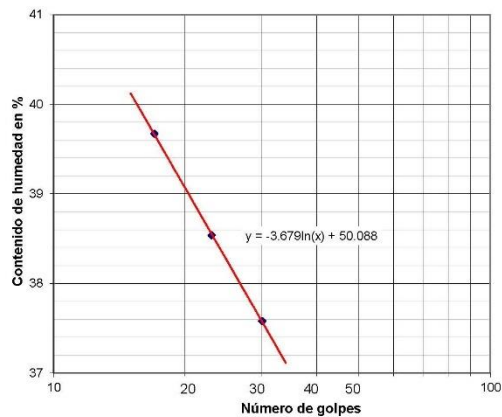
### ENSAYO: LÍMITE LÍQUIDO

1	PERF. - MUEST.	C1 + 8% CAL + 14% C. ARROZ		
2	CÁPSULA N°	135	277	052
3	Peso Suelo Húm + Cáp.	46.94	47.27	50.12
4	Peso Suelo Seco + Cáp.	39.99	39.99	42.48
5	Peso del Agua: ( 3 - 4 )	6.95	7.28	7.64
6	Peso de la Cápsula	22.47	21.10	22.15
7	Peso Suelo Seco: ( 4 - 6 )	17.52	18.89	20.33
8	% de humedad ( 5 / 7 *100)	39.67	38.54	37.58
9	N° de golpes	17	23	30

### ENSAYO: LÍMITE PLÁSTICO

1	PERF. - MUEST.	C1 + 8% CAL + 14% C. ARROZ		
2	CÁPSULA N°	79		
3	Peso Suelo Húm + Cáp.	40.25		
4	Peso Suelo Seco + Cáp.	36.05		
5	Peso del Agua: ( 3 - 4 )	4.2		
6	Peso de la Cápsula	21.98		
7	Peso Suelo Seco: ( 4 - 6 )	14.07		
8	% de humedad ( 5 / 7 *100)	29.85		

P - M	C1 + 8% CAL + 14% C. ARROZ
L. L.	38.25
L. P.	29.85
I. P.	8.40







## UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



### TESISTAS

: Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin

Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael

### PROYECTO DE TESIS

: "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

### LUGAR

: Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserio Sialupe Baca - Lambayeque

### FECHA

: May-24

### MUESTRA

: C1 + 8.0% DE CAL + 21.0% CENIZA ARROZ

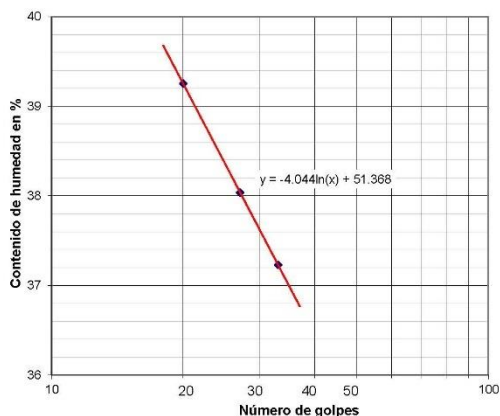
## ENSAYO: LÍMITE LÍQUIDO

1	PERF. - MUEST.	C1 + 8% CAL + 21% C. ARROZ		
2	CÁPSULA N°	268	125	294
3	Peso Suelo Húm + Cáp.	50.23	50.65	49.11
4	Peso Suelo Seco + Cáp.	42.12	42.56	41.69
5	Peso del Agua: ( 3 - 4 )	8.11	8.09	7.42
6	Peso de la Cápsula	21.46	21.29	21.76
7	Peso Suelo Seco: ( 4 - 6 )	20.66	21.27	19.93
8	% de humedad ( 5 / 7 *100)	39.25	38.03	37.23
9	N° de golpes	20	27	33

## ENSAYO: LÍMITE PLÁSTICO

1	PERF. - MUEST.	C1 + 8% CAL + 21% C. ARROZ
2	CÁPSULA N°	217
3	Peso Suelo Húm + Cáp.	38.67
4	Peso Suelo Seco + Cáp.	34.76
5	Peso del Agua: ( 3 - 4 )	3.91
6	Peso de la Cápsula	21.23
7	Peso Suelo Seco: ( 4 - 6 )	13.53
8	% de humedad ( 5 / 7 *100)	28.90

P - M	3% CAL + 21% C. ARROZ
L. L.	38.35
L. P.	28.90
I. P.	9.45





## UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



**TESISTAS** : Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin  
Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael

**PROYECTO DE TESIS** : "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

**LUGAR** : Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserio Sialupe Baca - Lambayeque

**FECHA** : May-24

**MUESTRA** : C1 + 8.0% DE CAL

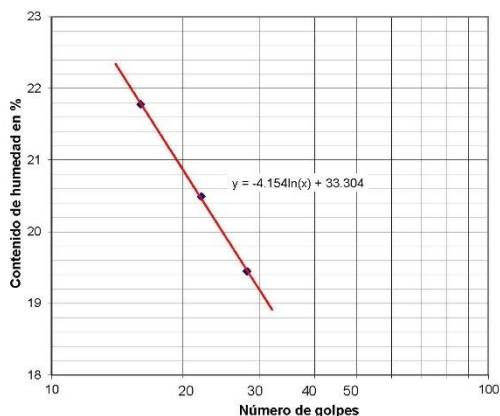
### ENSAYO: LÍMITE LÍQUIDO

1	PERF. - MUEST.	C1 + 8% CAL		
2	CÁPSULA N°	140	125	213
3	Peso Suelo Húm + Cáp.	48.91	50.30	51.33
4	Peso Suelo Seco + Cáp.	44.15	45.37	46.41
5	Peso del Agua: ( 3 - 4 )	4.76	4.93	4.92
6	Peso de la Cápsula	22.29	21.31	21.11
7	Peso Suelo Seco: ( 4 - 6 )	21.86	24.06	25.30
8	% de humedad ( 5 / 7 *100)	21.77	20.49	19.45
9	N° de golpes	16	22	28

### ENSAYO: LÍMITE PLÁSTICO

1	PERF. - MUEST.	C1 + 8% CAL
2	CÁPSULA N°	231
3	Peso Suelo Húm + Cáp.	44.28
4	Peso Suelo Seco + Cáp.	41.4
5	Peso del Agua: ( 3 - 4 )	2.88
6	Peso de la Cápsula	22.26
7	Peso Suelo Seco: ( 4 - 6 )	19.14
8	% de humedad ( 5 / 7 *100)	15.05

P - M	C1 + 8% CAL
L. L.	19.93
L. P.	15.05
I. P.	4.89





### Anexo 03.4. Contenido de humedad suelos naturales



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**



**CONTENIDO DE HUMEDAD**  
**(MTC E 107 - 2000, ASTM D-2216 )**

**Proyecto:**

**"ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"**

**Responsables del Proyecto:**

- Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin
- Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael

**Localización:**

Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserio  
 Sialupe Baca - Lambayeque

**Fecha:**

Mayo del 2024

PERF. - MUESTRA	C - 01	C - 02	C - 03
N° DE MUESTRA	E1	E1	E1
Profundidad (m)	0.15 - 1.50	0.10 - 1.50	0.10 - 1.50
N° de Cápsula	138	115	115
1.- Peso de suelo húmedo + Cápsula. (gr)	317.41	297.88	296.36
2.- Peso de suelo seco+ Cápsula (gr)	286.36	278.44	280.61
3.- Peso del agua contenida (gr)	31.05	19.44	15.75
4.- Peso de cápsula (gr)	82.40	87.10	85.75
5.- Peso de suelo seco (gr)	203.96	191.34	194.86
6.- Contenido de humedad (%)	15.22 %	10.16 %	8.08 %

### Anexo 03.5. Proctor modificado de los suelos naturales



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS



#### ENSAYO DE COMPACTACION

(PROCTOR STANDARD - AASTHO T- 180)

TESISTAS

Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Fernando

Bach. Ing. Civil Juarez Chuquista, Rafael

PROYECTO DE TESIS

"ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

LUGAR

Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca - Lambayeque

FECHA

May-24 MUESTRA C-1

VOLUMEN DEL MOLDE

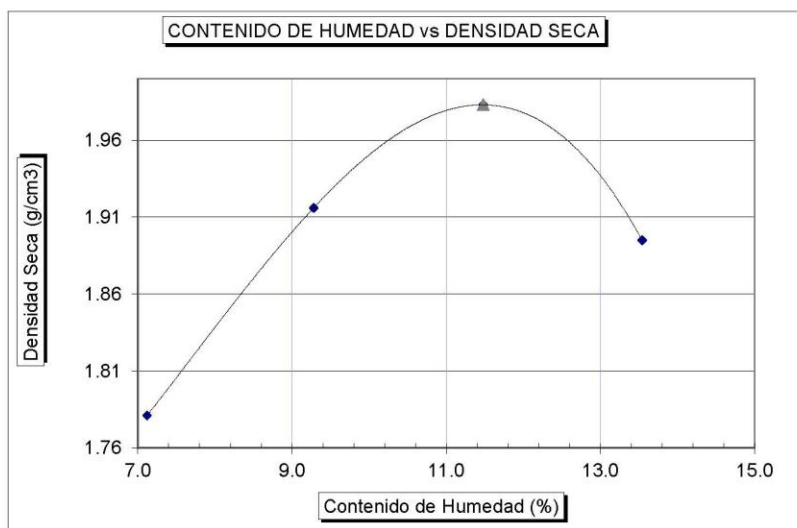
941 cm<sup>3</sup>

PRUEBA N°	1	2	3	4
1. Peso de molde + suelo compactado	3545	3720	3830	3775
2. Peso del molde	1750	1750	1750	1750
3. Peso del suelo compactado (1-2)	1795	1970	2080	2025
4. Densidad húmeda	1.908	2.094	2.210	2.152
5. Densidad seca	1.781	1.916	1.983	1.895

#### CONTENIDO DE HUMEDAD

FRASCO N°	144	221	211	114
1. Peso de frasco + suelo húmedo	84.41	86.11	85.62	86.33
2. Peso de frasco + suelo seco	80.21	80.53	78.94	78.55
3. Peso de agua contenida (1-2)	4.20	5.58	6.68	7.78
4. Peso del frasco	21.23	20.41	20.74	21.11
5. Peso del suelo seco (2-4)	58.98	60.12	58.20	57.44
6. Contenido de humedad (3/5 * 100)	7.12	9.28	11.48	13.54

Máxima Densidad Seca 1.983 gr/cm<sup>3</sup>  
 Optimo Contenido de Humedad 11.48 %





**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS



**ENSAYO DE COMPACTACION**

(PROCTOR STANDARD - AASTHO T- 180)

**TESISTAS**

Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Fernando

Bach. Ing. Civil Juarez Chuquista, Rafael

**PROYECTO DE TESIS**

"ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

**LUGAR**

Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca - Lambayeque

**FECHA**

May-24 MUESTRA C-2

**VOLUMEN DEL MOLDE**

941 cm<sup>3</sup>

PRUEBA N°	1	2	3	4
1. Peso de molde + suelo compactado	3745	3885	3955	3975
2. Peso del molde	1750	1750	1750	1750
3. Peso del suelo compactado (1-2)	1995	2135	2205	2225
4. Densidad húmeda	2.120	2.269	2.343	2.365
5. Densidad seca	2.034	2.133	2.157	2.136

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

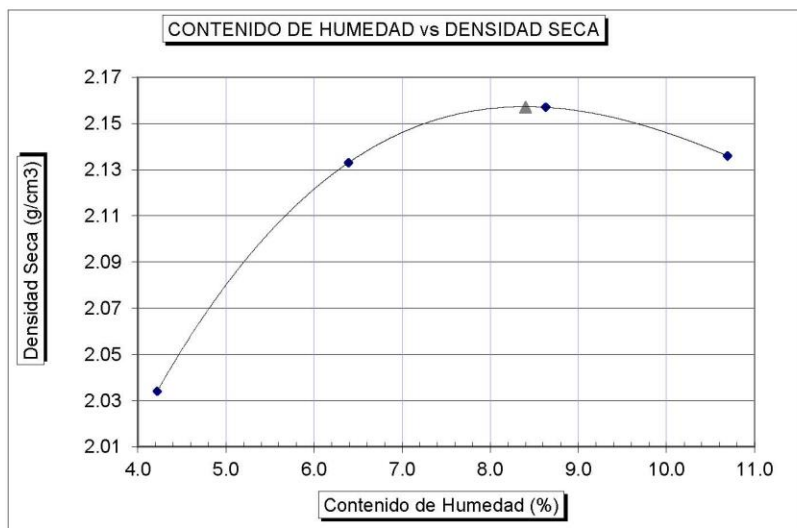
FRASCO N°	74	213	210	145
1. Peso de frasco + suelo húmedo	88.63	89.45	90.41	88.77
2. Peso de frasco + suelo seco	85.92	85.35	84.88	82.24
3. Peso de agua contenida (1-2)	2.71	4.10	5.53	6.53
4. Peso del frasco	21.65	21.21	20.77	21.16
5. Peso del suelo seco (2-4)	64.27	64.14	64.11	61.08
6. Contenido de humedad (3/5 * 100)	4.22	6.39	8.63	10.69

**Máxima Densidad Seca**

**2.157 gr/cm<sup>3</sup>**

**Optimo Contenido de Humedad**

**8.40 %**





**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS



## ENSAYO DE COMPACTACION

(PROCTOR STANDARD - AASTHO T- 180)

TESISTAS

Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Fernando

Bach. Ing. Civil Juarez Chuquista, Rafael

PROYECTO DE TESIS

"ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

LUGAR

Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca - Lambayeque

FECHA

May-24 MUESTRA C-3

VOLUMEN DEL MOLDE

941 cm<sup>3</sup>

PRUEBA N°	1	2	3	4
1. Peso de molde + suelo compactado	3625	3750	3810	3825
2. Peso del molde	1750	1750	1750	1750
3. Peso del suelo compactado (1-2)	1875	2000	2060	2075
4. Densidad húmeda	1.993	2.125	2.189	2.205
5. Densidad seca	1.946	2.034	2.053	2.025

CONTENIDO DE HUMEDAD

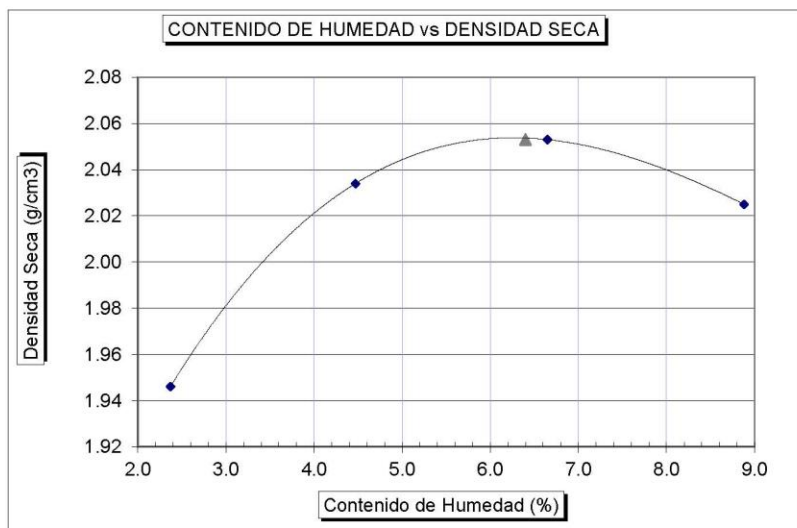
FRASCO N°	107	284	249	363
1. Peso de frasco + suelo húmedo	86.23	88.45	90.45	89.63
2. Peso de frasco + suelo seco	84.74	85.54	86.15	84.26
3. Peso de agua contenida (1-2)	1.49	2.91	4.30	5.37
4. Peso del frasco	21.76	20.50	21.50	23.82
5. Peso del suelo seco (2-4)	62.98	65.04	64.65	60.44
6. Contenido de humedad (3/5 * 100)	2.37	4.47	6.65	8.88

Máxima Densidad Seca

2.053 gr/cm<sup>3</sup>

Optimo Contenido de Humedad

6.40 %





**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**



**ENSAYO DE COMPACTACION**

(PROCTOR STANDARD - AASTHO T- 180)

TESISTAS

Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Fernando

Bach. Ing. Civil Juarez Chuquista, Rafael

PROYECTO DE TESIS

"ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

LUGAR

Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca - Lambayeque

FECHA

May-24

MUESTRA

C-1 + 8% CAL + 5% CENIZA LADRILLERA

VOLUMEN DEL MOLDE

941 cm<sup>3</sup>

PRUEBA N°	1	2	3	4
1. Peso de molde + suelo compactado	3575	3690	3765	3795
2. Peso del molde	1750	1750	1750	1750
3. Peso del suelo compactado (1-2)	1825	1940	2015	2045
4. Densidad húmeda	1.939	2.062	2.141	2.173
5. Densidad seca	1.859	1.920	1.937	1.913

CONTENIDO DE HUMEDAD

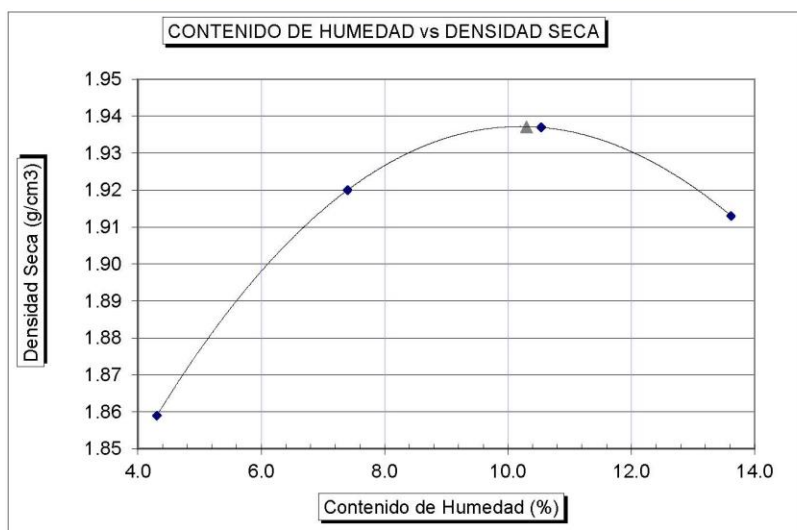
FRASCO N°	262	114	271	125
1. Peso de frasco + suelo húmedo	91.33	90.89	92.41	90.78
2. Peso de frasco + suelo seco	88.45	86.15	85.66	82.45
3. Peso de agua contenida (1-2)	2.88	4.74	6.75	8.33
4. Peso del frasco	21.68	22.10	21.63	21.29
5. Peso del suelo seco (2-4)	66.77	64.05	64.03	61.16
6. Contenido de humedad (3/5 * 100)	4.31	7.40	10.54	13.62

Máxima Densidad Seca

1.937 gr/cm<sup>3</sup>

Optimo Contenido de Humedad

10.30 %







**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**



**ENSAYO DE COMPACTACION**

(PROCTOR STANDARD - AASTHO T- 180)

**TESISTAS**

Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Fernando

Bach. Ing. Civil Juarez Chuquista, Rafael

**PROYECTO DE TESIS**

"ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

**LUGAR**

Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca - Lambayeque

**FECHA**

May-24

**MUESTRA**

C-1 + 8% CAL + 10% CENIZA LADRILLERA

**VOLUMEN DEL MOLDE**

941 cm<sup>3</sup>

PRUEBA N°	1	2	3	4
1. Peso de molde + suelo compactado	3560	3665	3754	3770
2. Peso del molde	1750	1750	1750	1750
3. Peso del suelo compactado (1-2)	1810	1915	2004	2020
4. Densidad húmeda	1.923	2.035	2.130	2.147
5. Densidad seca	1.861	1.918	1.952	1.929

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

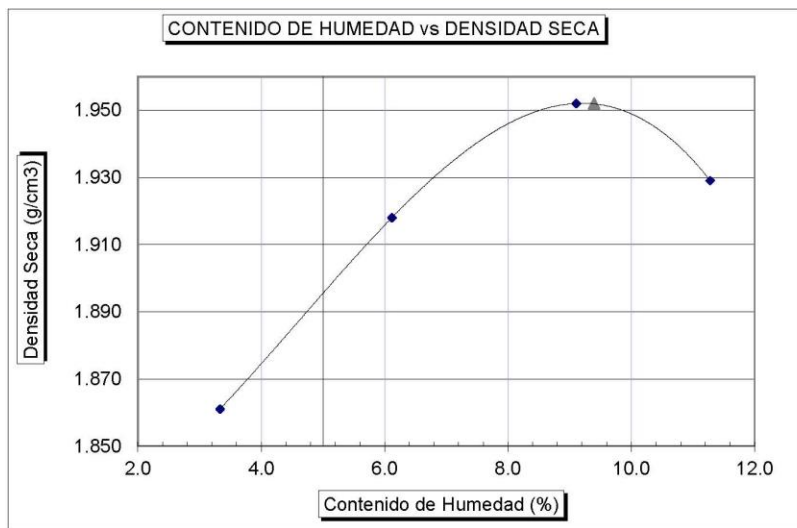
FRASCO N°	108	205	367	201
1. Peso de frasco + suelo húmedo	89.96	92.45	93.45	94.12
2. Peso de frasco + suelo seco	87.78	88.31	87.51	86.89
3. Peso de agua contenida (1-2)	2.18	4.14	5.94	7.23
4. Peso del frasco	22.40	20.62	22.30	22.82
5. Peso del suelo seco (2-4)	65.38	67.69	65.21	64.07
6. Contenido de humedad (3/5 * 100)	3.33	6.12	9.11	11.28

**Máxima Densidad Seca**

**1.952 gr/cm<sup>3</sup>**

**Optimo Contenido de Humedad**

**9.40 %**





**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**



**ENSAYO DE COMPACTACION**

(PROCTOR STANDARD - AASTHO T- 180)

**TESISTAS**

Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Fernando

Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael

**PROYECTO DE TESIS**

"ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

**LUGAR**

Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca - Lambayeque

**FECHA**

May-24

**MUESTRA**

C-1 + 8% CAL + 15% CENIZA LADRILLERA

**VOLUMEN DEL MOLDE**

941 cm<sup>3</sup>

PRUEBA N°	1	2	3	4
1. Peso de molde + suelo compactado	3580	3675	3762	3785
2. Peso del molde	1750	1750	1750	1750
3. Peso del suelo compactado (1-2)	1830	1925	2012	2035
4. Densidad húmeda	1.945	2.046	2.138	2.163
5. Densidad seca	1.890	1.933	1.969	1.942

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

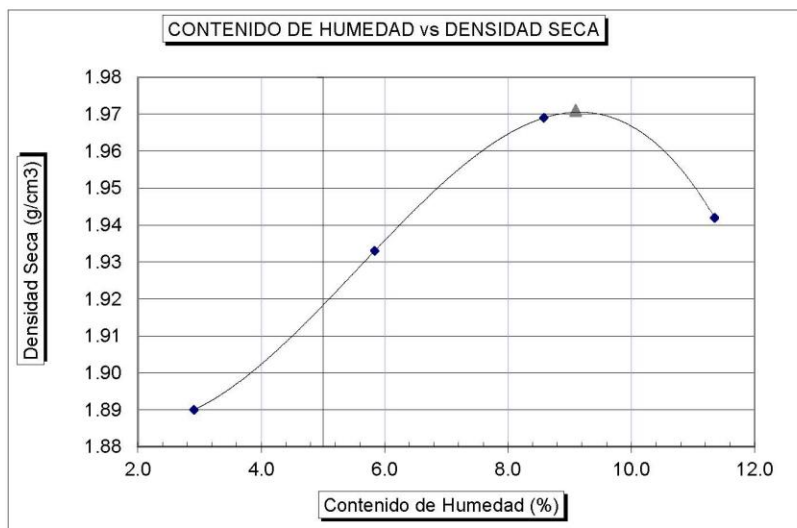
FRASCO N°	245	258	298	201
1. Peso de frasco + suelo húmedo	83.56	85.78	90.14	91.74
2. Peso de frasco + suelo seco	81.82	82.21	84.78	84.65
3. Peso de agua contenida (1-2)	1.74	3.57	5.36	7.09
4. Peso del frasco	21.93	21.04	22.34	22.18
5. Peso del suelo seco (2-4)	59.89	61.17	62.44	62.47
6. Contenido de humedad (3/5 * 100)	2.91	5.84	8.58	11.35

**Máxima Densidad Seca**

**1.971 gr/cm<sup>3</sup>**

**Optimo Contenido de Humedad**

**9.10 %**





**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS



**ENSAYO DE COMPACTACION**

(PROCTOR STANDARD - AASTHO T- 180)

**TESISTAS**

Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Fernando

Bach. Ing. Civil Juarez Chuquista, Rafael

**PROYECTO DE TESIS**

"ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

**LUGAR**

Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca - Lambayeque

**FECHA**

May-24

**MUESTRA**

C-1 + 8% CAL + 7% CENIZA PAJILLA DE ARROZ

**VOLUMEN DEL MOLDE**

941 cm<sup>3</sup>

PRUEBA N°	1	2	3	4
1. Peso de molde + suelo compactado	3520	3615	3675	3690
2. Peso del molde	1750	1750	1750	1750
3. Peso del suelo compactado (1-2)	1770	1865	1925	1940
4. Densidad húmeda	1.881	1.982	2.046	2.062
5. Densidad seca	1.771	1.829	1.850	1.831

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

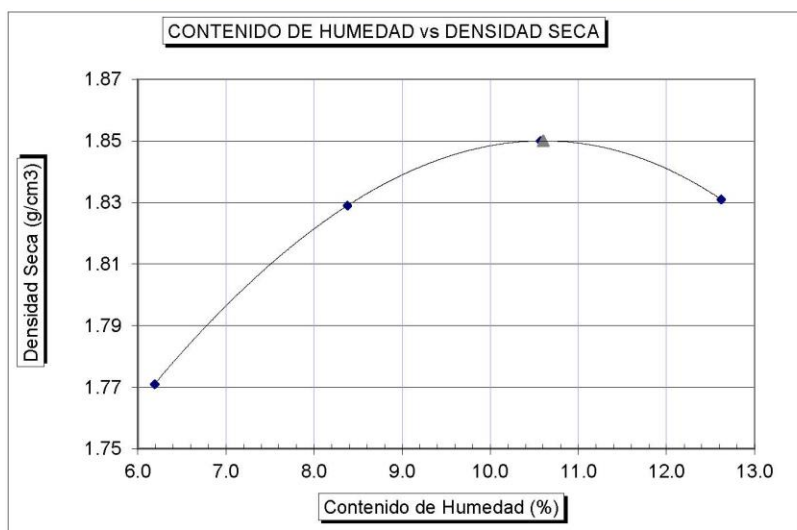
FRASCO N°	88	276	215	107
1. Peso de frasco + suelo húmedo	90.23	93.11	90.78	92.41
2. Peso de frasco + suelo seco	86.23	87.51	84.16	84.52
3. Peso de agua contenida (1-2)	4.00	5.60	6.62	7.89
4. Peso del frasco	21.58	20.65	21.51	22.00
5. Peso del suelo seco (2-4)	64.65	66.86	62.65	62.52
6. Contenido de humedad (3/5 * 100)	6.19	8.38	10.57	12.62

**Máxima Densidad Seca**

**1.850 gr/cm<sup>3</sup>**

**Optimo Contenido de Humedad**

**10.60 %**







**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS



## ENSAYO DE COMPACTACION

(PROCTOR STANDARD - AASTHO T- 180)

TESISTAS

Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Fernando

Bach. Ing. Civil Juarez Chuquista, Rafael

PROYECTO DE TESIS

"ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

LUGAR

Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca - Lambayeque

FECHA

May-24

MUESTRA

C-1 + 8% CAL + 14% CENIZA PAJILLA DE ARROZ

VOLUMEN DEL MOLDE

941 cm<sup>3</sup>

PRUEBA N°	1	2	3	4
1. Peso de molde + suelo compactado	3365	3480	3545	3575
2. Peso del molde	1750	1750	1750	1750
3. Peso del suelo compactado (1-2)	1615	1730	1795	1825
4. Densidad húmeda	1.716	1.838	1.908	1.939
5. Densidad seca	1.630	1.696	1.712	1.692

CONTENIDO DE HUMEDAD

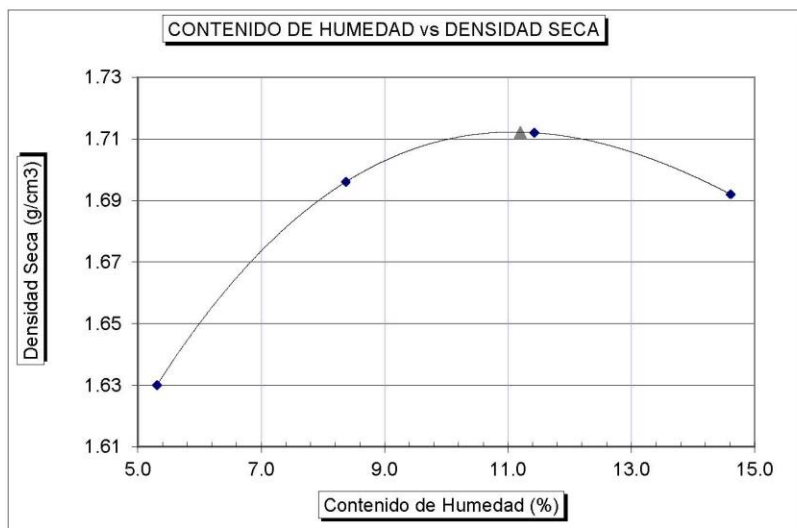
FRASCO N°	342	18	255	79
1. Peso de frasco + suelo húmedo	80.89	86.32	90.41	88.99
2. Peso de frasco + suelo seco	77.85	81.32	83.45	80.45
3. Peso de agua contenida (1-2)	3.04	5.00	6.96	8.54
4. Peso del frasco	20.64	21.55	22.54	22.00
5. Peso del suelo seco (2-4)	57.21	59.77	60.91	58.45
6. Contenido de humedad (3/5 * 100)	5.31	8.37	11.43	14.61

Máxima Densidad Seca

1.712 gr/cm<sup>3</sup>

Optimo Contenido de Humedad

11.20 %





**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS



**ENSAYO DE COMPACTACION**

(PROCTOR STANDARD - AASTHO T- 180)

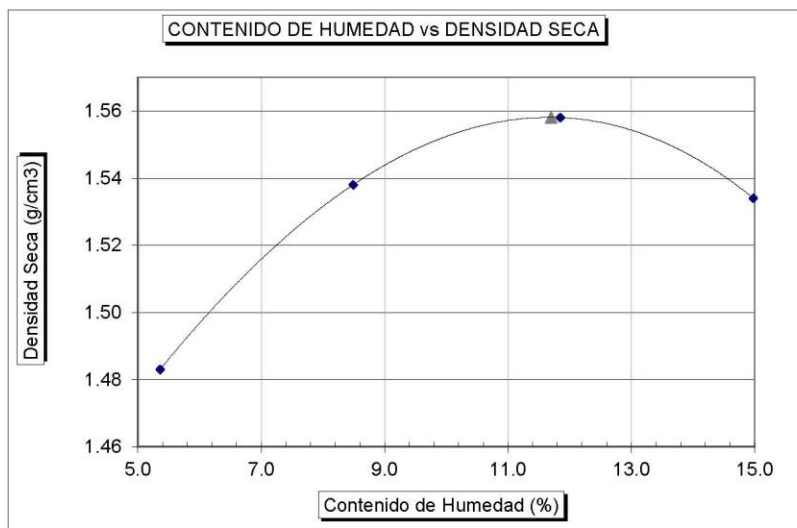
**TESISTAS** Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Fernando  
 Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael  
**PROYECTO DE TESIS** "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"  
**LUGAR** Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca - Lambayeque  
**FECHA** May-24 **MUESTRA** C-1 + 8% CAL + 21% CENIZA PAJILLA DE ARROZ  
**VOLUMEN DEL MOLDE** 941 cm<sup>3</sup>

PRUEBA N°	1	2	3	4
1. Peso de molde + suelo compactado	3220	3320	3390	3410
2. Peso del molde	1750	1750	1750	1750
3. Peso del suelo compactado (1-2)	1470	1570	1640	1660
4. Densidad húmeda	1.562	1.668	1.743	1.764
5. Densidad seca	1.483	1.538	1.558	1.534

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

FRASCO N°	278	290	161	07
1. Peso de frasco + suelo húmedo	90.33	92.47	93.11	92.41
2. Peso de frasco + suelo seco	86.82	86.85	85.51	83.21
3. Peso de agua contenida (1-2)	3.51	5.62	7.60	9.20
4. Peso del frasco	21.29	20.69	21.39	21.81
5. Peso del suelo seco (2-4)	65.53	66.16	64.12	61.40
6. Contenido de humedad (3/5 * 100)	5.36	8.49	11.85	14.98

**Máxima Densidad Seca** 1.558 gr/cm<sup>3</sup>  
**Optimo Contenido de Humedad** 11.70 %





**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS



**ENSAYO DE COMPACTACION**

(PROCTOR STANDARD - AASTHO T- 180)

**TESISTAS**

Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Fernando

Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael

**PROYECTO DE TESIS**

"ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

**LUGAR**

Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca - Lambayeque

**FECHA**

May-24 MUESTRA C-1 + 8% CAL

**VOLUMEN DEL MOLDE**

941 cm<sup>3</sup>

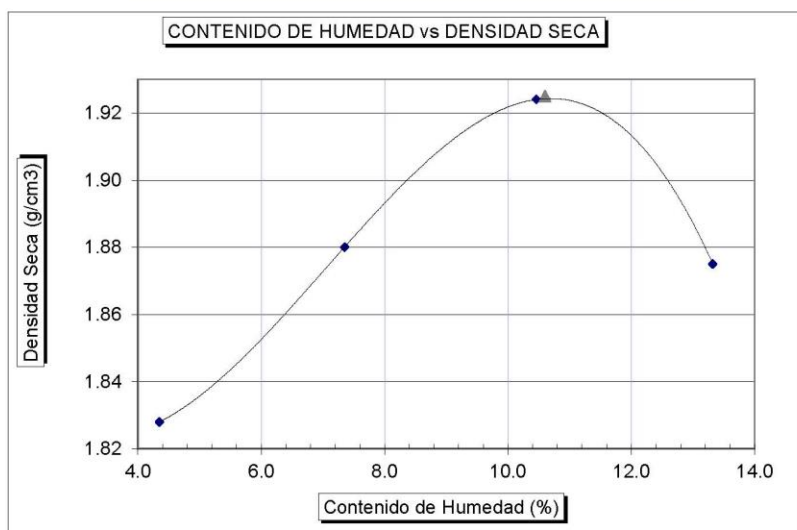
PRUEBA N°	1	2	3	4
1. Peso de molde + suelo compactado	3545	3649	3750	3749
2. Peso del molde	1750	1750	1750	1750
3. Peso del suelo compactado (1-2)	1795	1899	2000	1999
4. Densidad húmeda	1.908	2.018	2.125	2.124
5. Densidad seca	1.828	1.880	1.924	1.875

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

FRASCO N°	203	209	69	169
1. Peso de frasco + suelo húmedo	90.41	92.11	92.23	91.77
2. Peso de frasco + suelo seco	87.58	87.26	85.51	83.55
3. Peso de agua contenida (1-2)	2.83	4.85	6.72	8.22
4. Peso del frasco	22.48	21.29	21.28	21.84
5. Peso del suelo seco (2-4)	65.10	65.97	64.23	61.71
6. Contenido de humedad (3/5 * 100)	4.35	7.35	10.46	13.32

**Máxima Densidad Seca** 1.925 gr/cm<sup>3</sup>

**Optimo Contenido de Humedad** 10.60 %



### Anexo 03.6. Capacidad de soporte de California de los suelos naturales



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**



#### ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO

**TESISTAS** : Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Fernando  
Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael

**PROYECTO DE TESIS** : "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

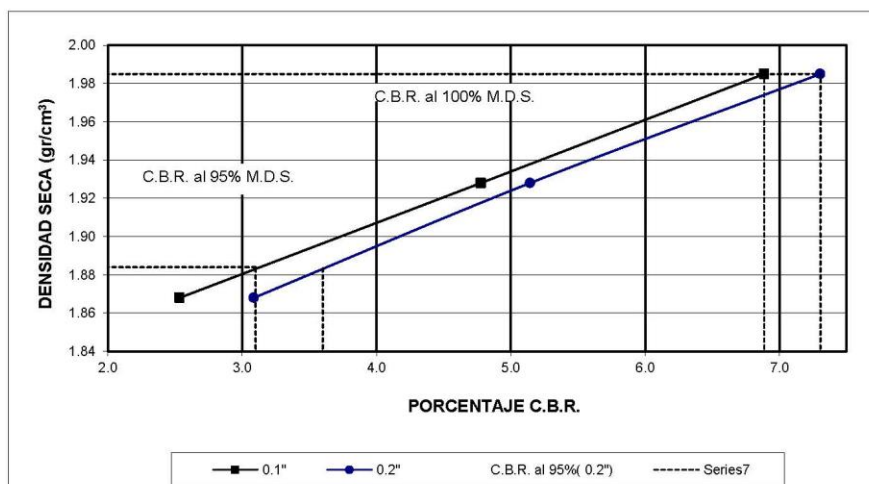
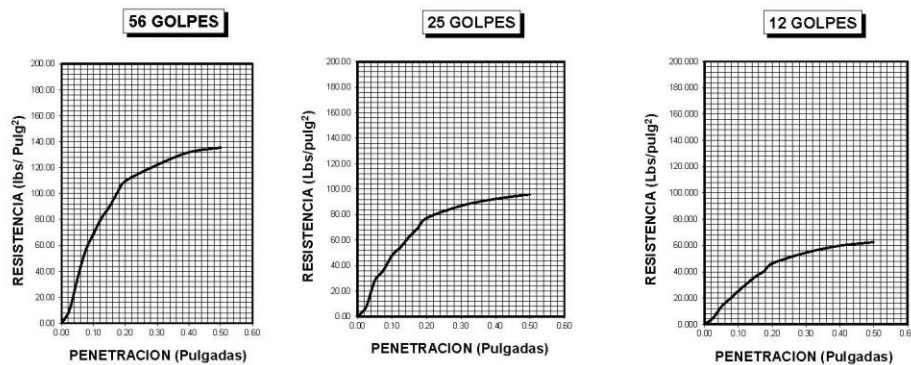
**LUGAR** : Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca - Lambayeque

**FECHA** : May-24

**MUESTRA** : C1-M1

DATOS DEL PROCTOR	
Humedad Óptima (%)	11.48
Máxima Densidad Seca (gr/cm)	1.983
0.95% M. D. S.	1.884
Tipo de Suelo (SUCS)	CL

DATOS DEL C.B.R.	
C.B.R.: 01"	6.89
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	3.10
C.B.R.: 02"	7.30
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	3.60







## UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS



### ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO

**TESISTAS** : Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Fernando  
Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael

**PROYECTO DE TESIS** : "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

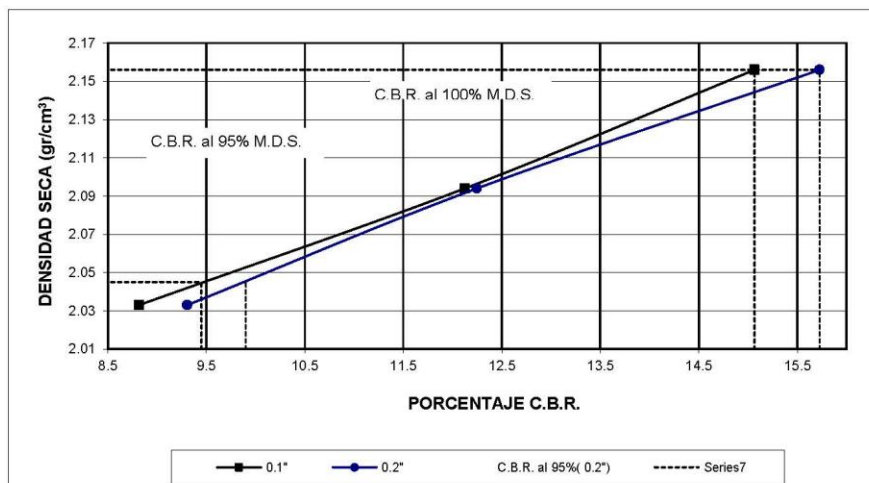
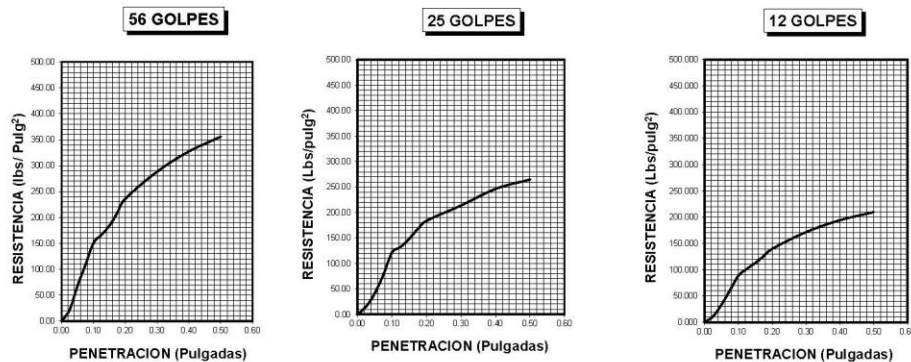
**LUGAR** : Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca - Lambayeque

**FECHA** : May-24

**MUESTRA** : C2-M1

DATOS DEL PROCTOR	
Humedad Óptima (%)	8.40
Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.157
0.95% M. D. S.	2.049
Tipo de Suelo (SUCS)	SM

DATOS DEL C.B.R.	
C.B.R.: 01"	15.07
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	9.45
C.B.R.: 02"	15.73
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	9.90





## UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS



### ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO

**TESISTAS** : Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Fernando  
Bach. Ing. Civil Juarez Chuquista, Rafael

**PROYECTO DE TESIS** : "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

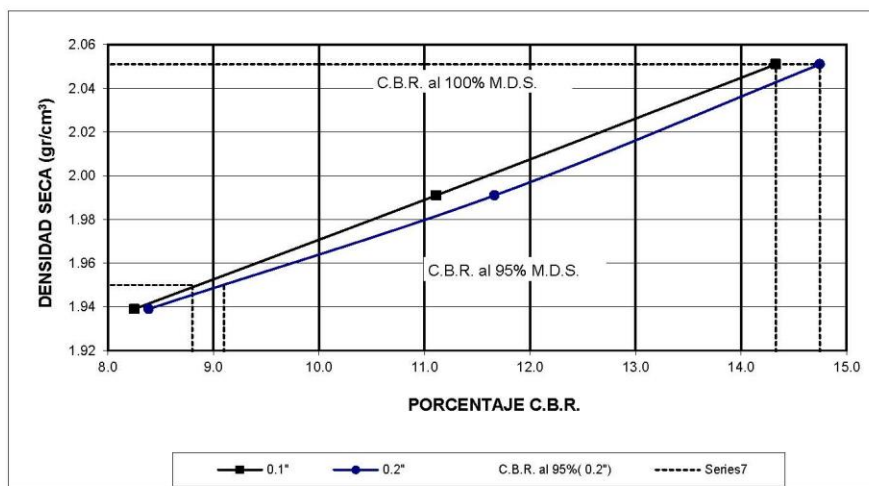
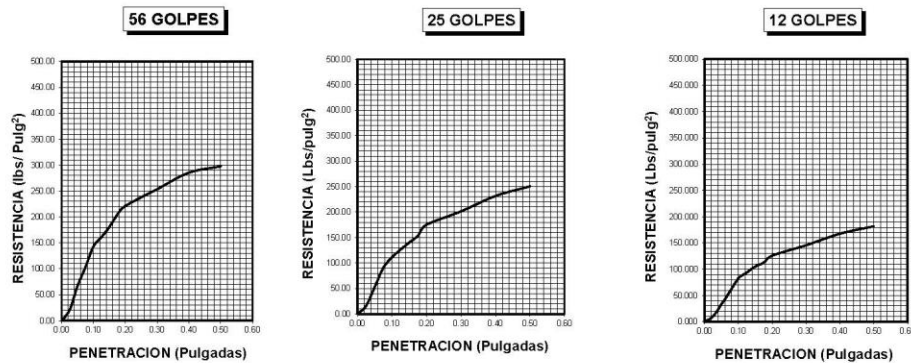
**LUGAR** : Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca - Lambayeque

**FECHA** : May-24

**MUESTRA** : C3-M1

DATOS DEL PROCTOR	
Humedad Óptima (%)	6.40
Máxima Densidad Seca (gr/cm)	2.053
0.95% M. D. S.	1.950
Tipo de Suelo (SUCS)	SM

DATOS DEL C.B.R.	
C.B.R.: 01"	14.33
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	8.80
C.B.R.: 02"	14.75
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	9.10





# UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS



## ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO

**TESISTAS** : Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Fernando

Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael

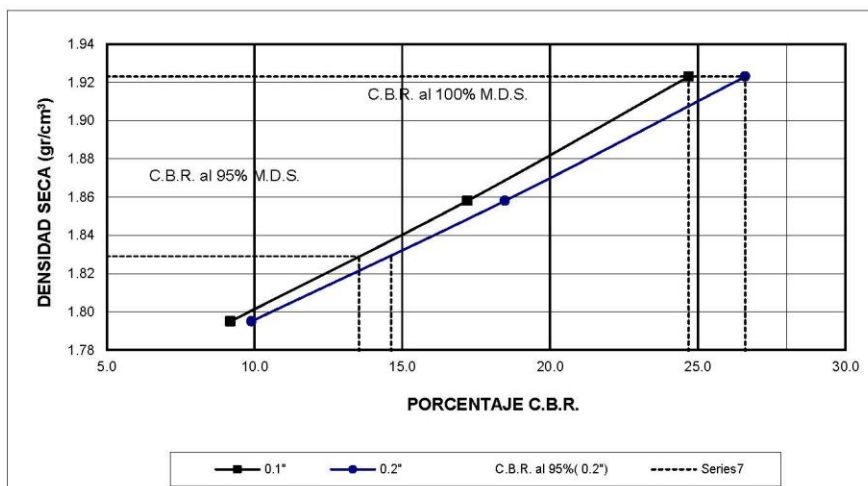
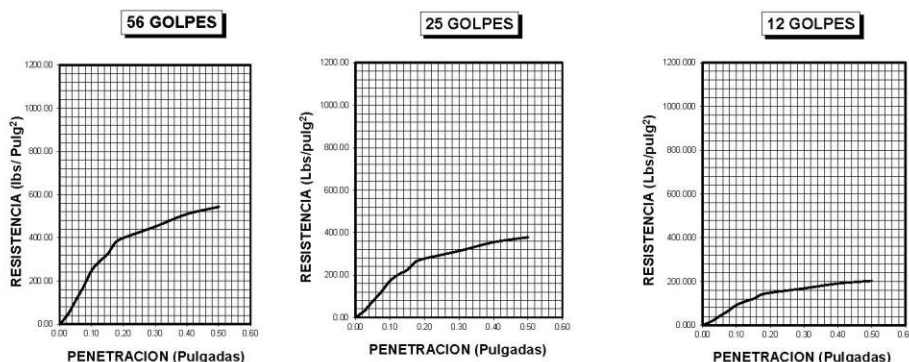
**PROYECTO DE TESIS** : "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

**LUGAR** : Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca - Lambayeque

**FECHA** : Mayo 2024 **MUESTRA** C-1 + 8% CAL

DATOS DEL PROCTOR	
Humedad Óptima (%)	10.60
Máxima Densidad Seca (gr/cm)	1.925
0.95 M. D. S.	1.829
Tipo de Suelo (SUCS)	

DATOS DEL C.B.R.	
C.B.R.: 01"	24.69
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	13.53
C.B.R.: 02"	26.60
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	14.62





# UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS



## ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO

**TESISTAS** : Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Fernando

Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael

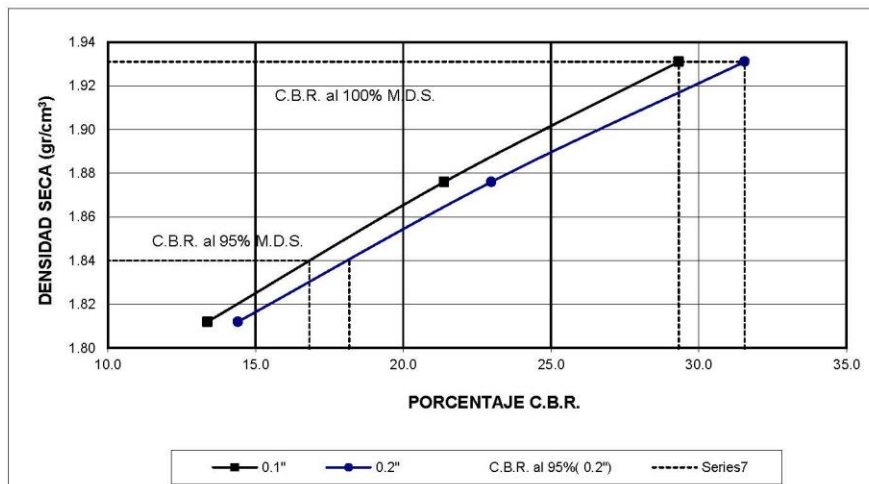
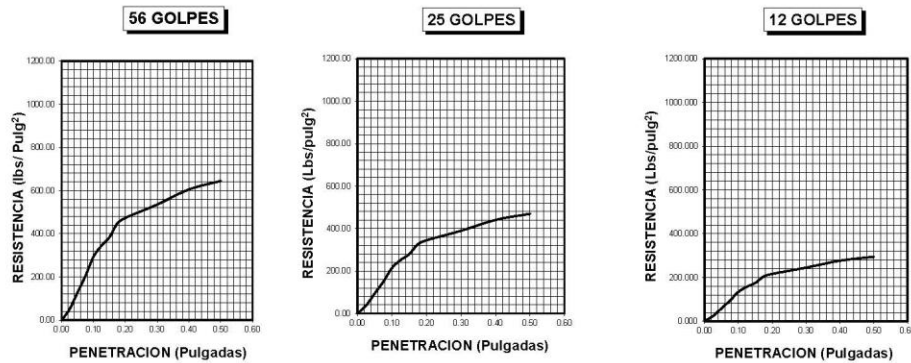
**PROYECTO DE TESIS** : "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

**LUGAR** : Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca - Lambayeque

**FECHA** : Mayo 2024 **MUESTRA** C-1 + 8% CAL + 5% CL

DATOS DEL PROCTOR	
Humedad Óptima (%)	10.30
Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.937
0.95 M. D. S.	1.840
Tipo de Suelo (SUCS)	

DATOS DEL C.B.R.	
C.B.R.: 01"	29.32
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	16.82
C.B.R.: 02"	31.55
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	18.17







# UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS



## ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO

TESISTAS : Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Fernando

Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael

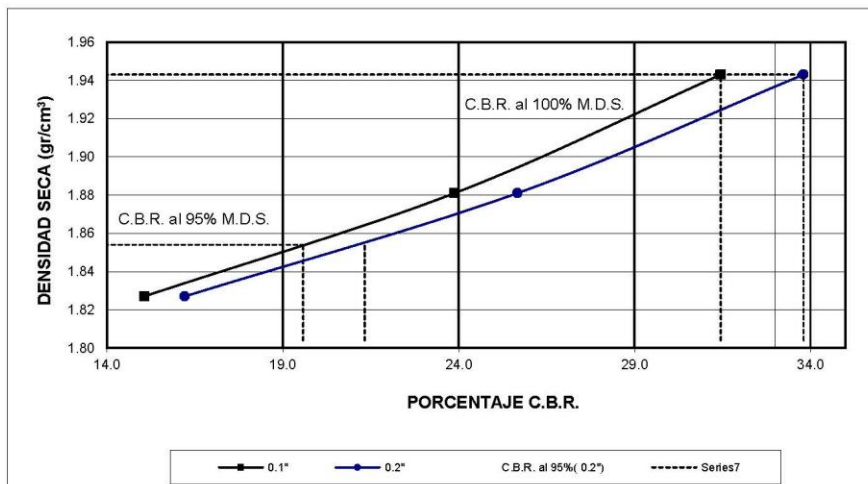
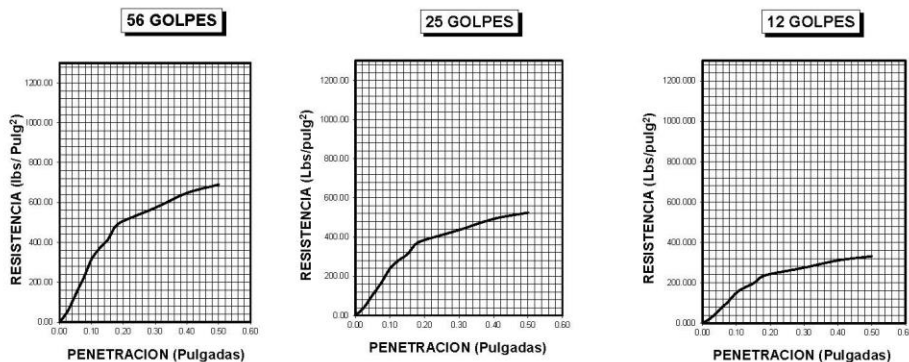
PROYECTO DE TESIS : "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

LUGAR : Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca - Lambayeque

FECHA : Mayo 2024 MUESTRA C-1 + 8% CAL + 10% CL

DATOS DEL PROCTOR	
Humedad Óptima (%)	9.40
Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.952
0.95% M. D. S.	1.854
Tipo de Suelo (SUCS)	

DATOS DEL C.B.R.	
C.B.R.: 01"	31.45
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	19.58
C.B.R.: 02"	33.80
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	21.33





## UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS



### ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO

**TESISTAS** : Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Fernando

Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael

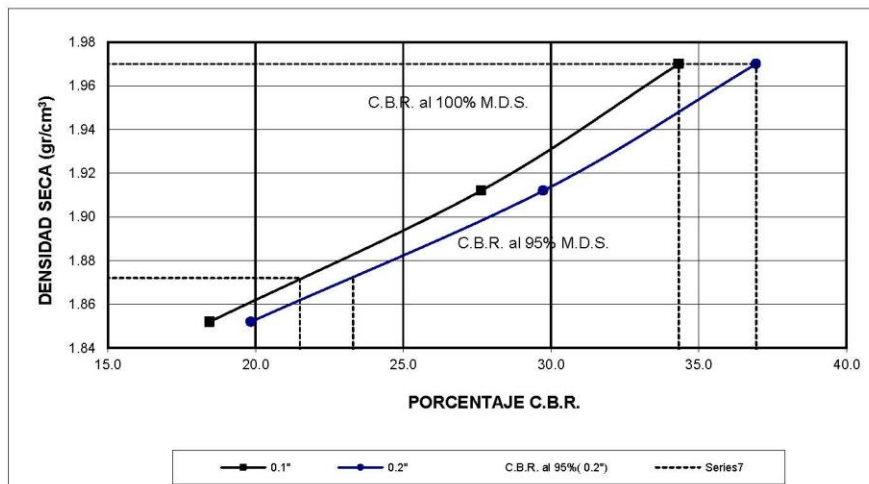
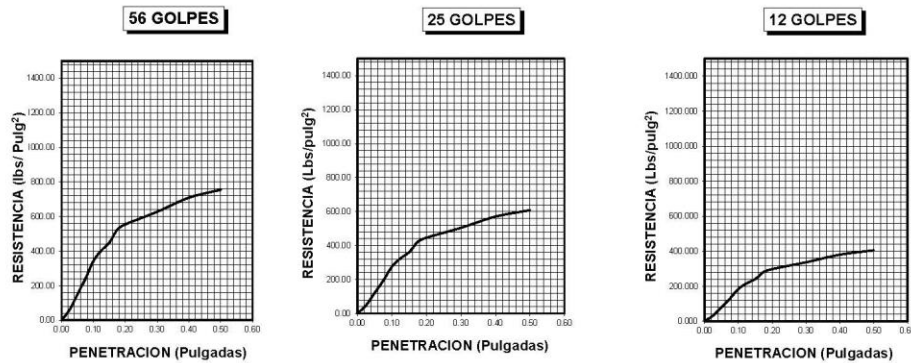
**PROYECTO DE TESIS** : "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

**LUGAR** : Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca - Lambayeque

**FECHA** : Mayo 2024 **MUESTRA** C-1 + 8% CAL + 15% CL

DATOS DEL PROCTOR	
Humedad Óptima (%)	9.10
Máxima Densidad Seca (gr/cm)	1.971
0.95% M. D. S.	1.872
Tipo de Suelo (SUCS)	

DATOS DEL C.B.R.	
C.B.R.: 01"	34.32
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	21.50
C.B.R.: 02"	36.94
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	23.30





## UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS



### ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO

**TESISTAS** : Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Fernando

Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael

**PROYECTO DE TESIS** : "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

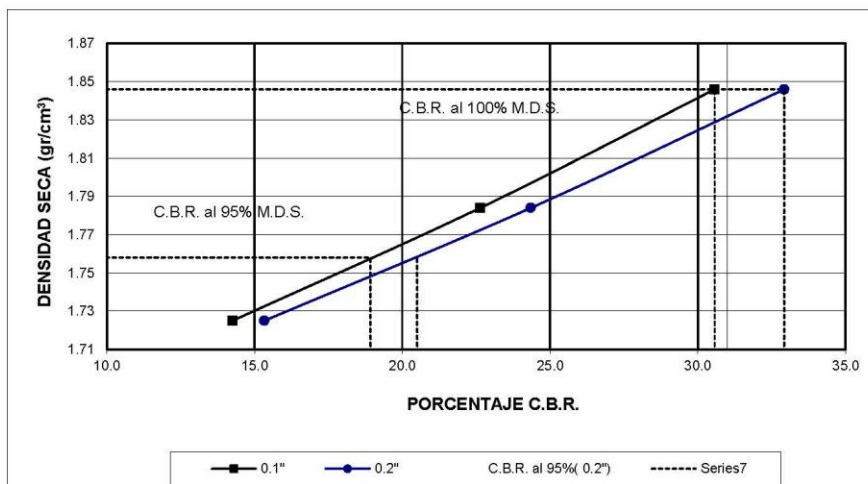
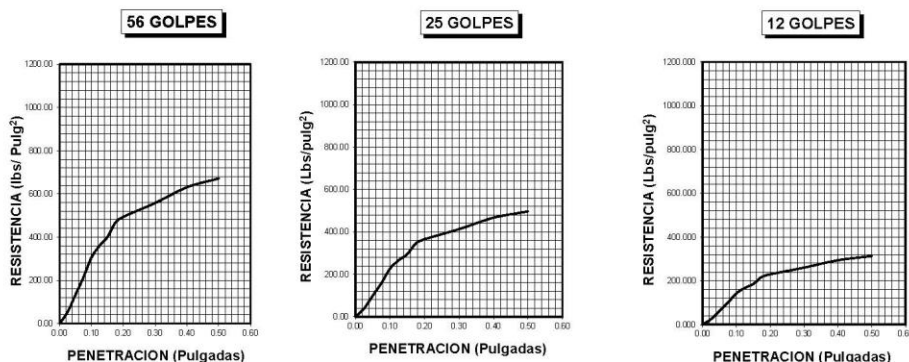
**LUGAR** : Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca - Lambayeque

**FECHA** : Mayo 2024

**MUESTRA C-1 + 8% CAL + 7% CA**

DATOS DEL PROCTOR	
Humedad Óptima (%)	10.60
Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.850
0.95% M. D. S.	1.758
Tipo de Suelo (SUCS)	

DATOS DEL C.B.R.	
C.B.R.: 01"	30.57
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	18.92
C.B.R.: 02"	32.92
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	20.50





# UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS



## ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO

TESISTAS : Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Fernando

Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael

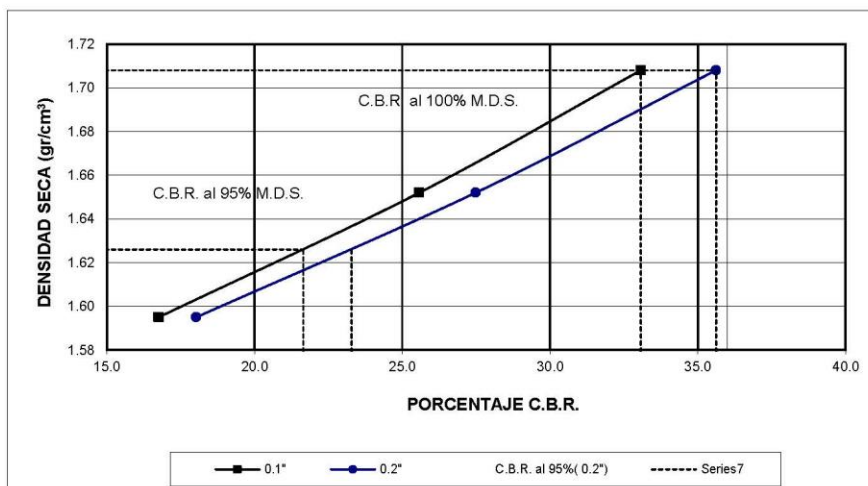
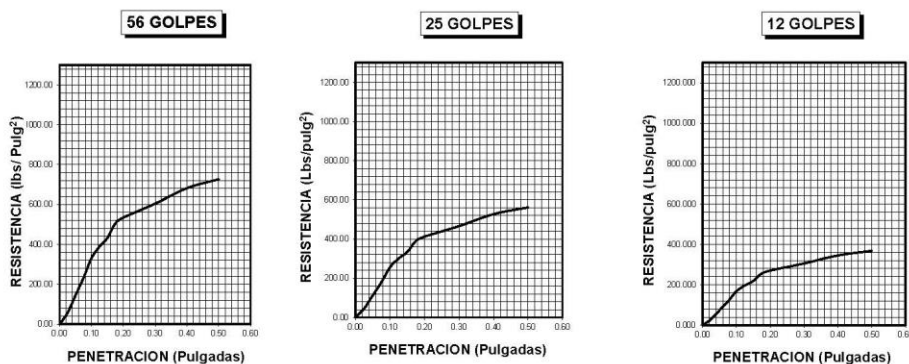
PROYECTO DE TESIS : "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

LUGAR : Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca - Lambayeque

FECHA : Mayo 2024 MUESTRA C1 + 8% CAL + 14% CA

DATOS DEL PROCTOR	
Humedad Óptima (%)	11.20
Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.712
0.95 M. D. S.	1.626
Tipo de Suelo (SUCS)	

DATOS DEL C.B.R.	
C.B.R.: 01"	33.07
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	21.65
C.B.R.: 02"	35.62
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	23.28







# UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS



## ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO

**TESISTAS** : Bach. Ing. Civil Castro Díaz, Edwin Fernando

Bach. Ing. Civil Juárez Chuquista, Rafael

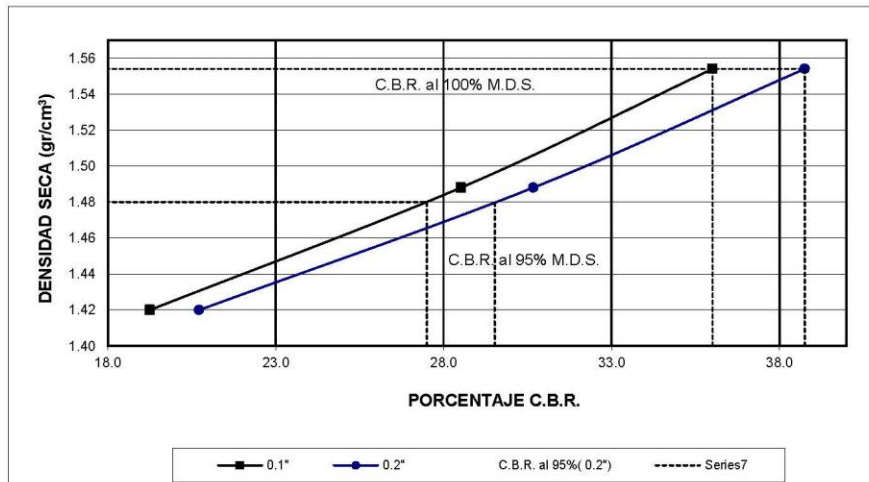
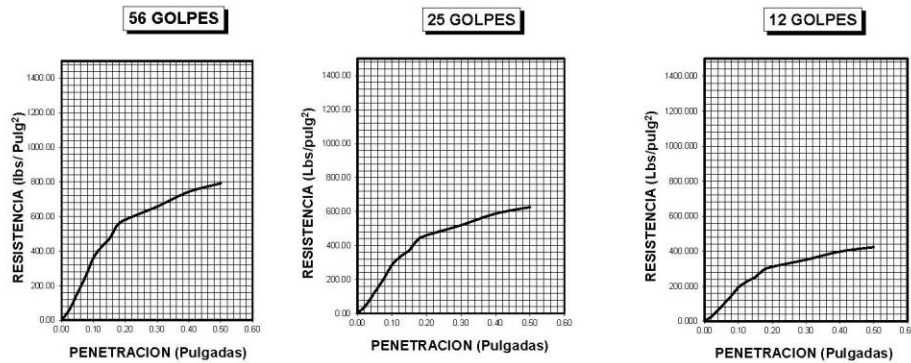
**PROYECTO DE TESIS** : "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024"

**LUGAR** : Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca - Lambayeque

**FECHA** : Mayo 2024 **MUESTRA** C-1 + 8% CAL + 21% CA

DATOS DEL PROCTOR	
Humedad Óptima (%)	11.70
Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.558
0.95% M. D. S.	1.480
Tipo de Suelo (SUCS)	

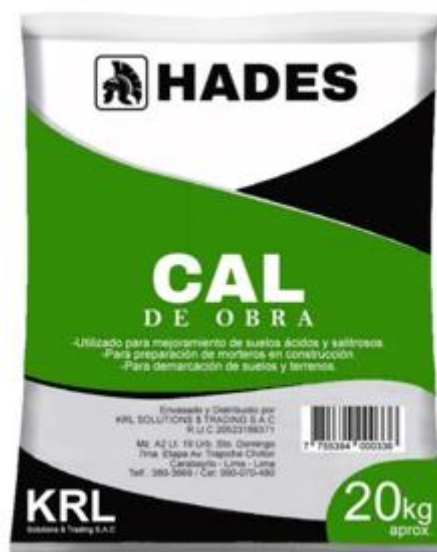
DATOS DEL C.B.R.	
C.B.R.: 01"	36.01
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	27.50
C.B.R.: 02"	38.75
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	29.52



**Anexos 04: Fotografías de los ensayos elaborados y muestras de laboratorio**



**Fotografía 1.** Recolección de cenizas de briquetas de combustión de ladrilleras artesanales



**Fotografía 2.** Producto comercial cal





**Fotografía 3.** Recolección de material natural de suelo de fundación



**Fotografía 4.** Proceso de cuarteo del material de suelo natural



**Fotografía 5.** Ensayos de límite plástico, límite líquido en el suelo natural





**Fotografía 6.** Ensayos de contenido de humedad en el suelo natural



**Fotografía 7.** Ensayos de granulometría del suelo natural y tratado con caucho triturado



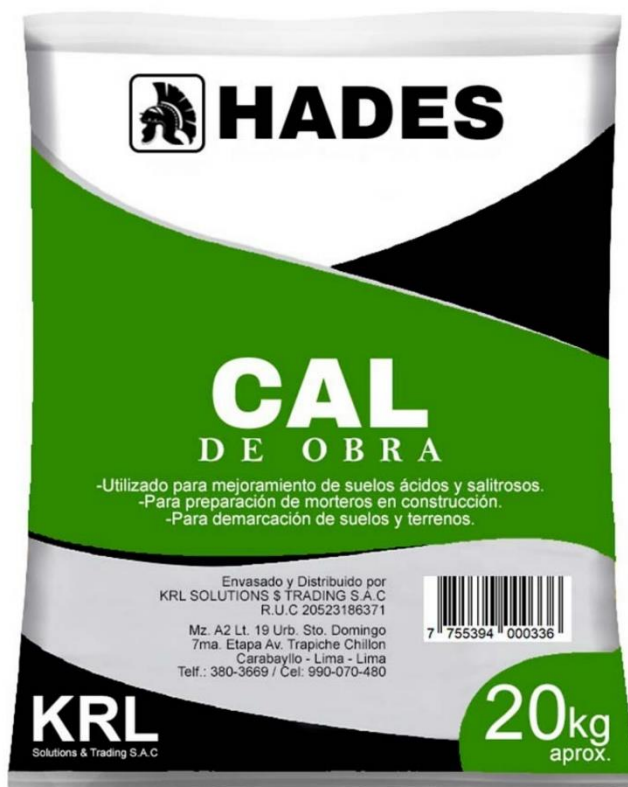
**Fotografía 8.** Ensayos de capacidad de soporte de California (CBR) del suelo natural y suelo tratado con caucho triturado

## Anexos 05: Ficha técnica de cal



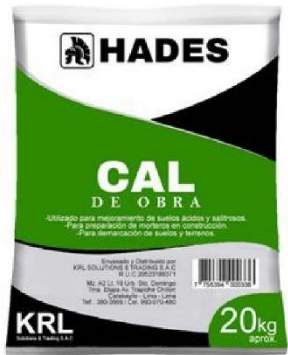
### Catálogo Yeso

Cal de obra en bolsa 20 kilos





Catálogo Yeso



Cal de obra en bolsa 20 kilos  
Hades 16863



FICHA TÉCNICA

<b>Características</b> Utilizado en la industria de la construcción, en el tarrajeo y cimentación de estructuras.	<b>Garantía</b> Por defecto de fabricación
<b>Observaciones</b> Producto debes estar alejado de la humedad.	<b>Profundidad Del Producto</b> 10 cm
<b>Recomendaciones De Uso</b> Se debe tener cuidado de limpiar perfectamente la superficie para favorecer la adhesión. Almacenar en un lugar seco y lejos del sol.	<b>Altura Del Producto</b> 65 cm
<b>Modelo</b> Bolsa	<b>Tipo de Producto</b> Cal
<b>Ancho Del Producto</b> 35 cm	<b>Sub Tipo de Producto</b> Obra
<b>Material</b> Cemento	<b>Color</b> Blanco
<b>Marca</b> Hades	<b>Peso Del Producto</b> 20 kg
<b>Advertencia de uso</b> Mantener alejado de los niños. Usar las herramientas y equipos de protección personal adecuados para su uso.	<b>Presentación</b> Bolsa
<b>Uso</b> Usado en la industria de la construcción en el tarrajeo y cimentación de estructuras.	

Despacho a Domicilio



Financiamiento



## Anexos 06: Cálculo de conteo vehicular.



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, SISTEMAS Y ARQUITECTURA**



### INFORME TÉCNICO – ESTUDIO DE TRÁFICO

#### PROYECTO DE TESIS:

“ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024”.

#### RESPONSABLES:

- ✓ Bach. Ing. Civil Castro Diaz, Edwin Fernando.
- ✓ Bach. Ing. Civil Juarez Chuquista, Rafael.

#### PATROCINADOR:

- ✓ Mg. Ing. Borja Suárez, Manuel Alejandro.

#### JURADO DE TESIS:

- ✓ Dr. Ing. Hamilton Vladimir Cueva Campos
- ✓ Dra. Ing. Yrma Del Carmen Capuñay Capuñay
- ✓ Dra. Ing. Domingo Jorge Luis Dávila Vidarte

#### LUGAR DE EJECUCION:

- ✓ Distrito : Lambayeque
- ✓ Provincia : Lambayeque
- ✓ Departamento : Lambayeque

Lambayeque, mayo del 2024

---

## TABLA DE CONTENIDO

1. GENERALIDADES.....	3
2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO .....	4
2.1. OBJETIVO PRINCIPAL.....	4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
2.3. UBICACIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO.....	4
3. CLASIFICACIÓN VEHICULAR.....	5
3.1. VEHÍCULOS LIVIANOS .....	5
4. METODOLOGÍA DE TRABAJO .....	6
4.1. ETAPA PRELIMINAR.....	6
4.1.1. ESTACIÓN DE CONTEO.....	6
4.2. AFORO VEHICULAR EN LA ESTACIÓN IDENTIFICADA .....	7
4.2.1. METODOLOGÍA DE CONTEO DE TRÁFICO.....	7
4.2.2. CONTEO Y CLASIFICACIÓN VEHICULAR POR DÍA.....	8
4.2.3. TRÁFICO VEHICULAR PROMEDIO DIARIOS DE LA SEMANA DE CONTEO .....	10
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	13
5.1. CONCLUSIONES.....	13

## ESTUDIO DE TRÁFICO

### 1. GENERALIDADES

El estudio de tráfico es un aspecto de esencial importancia para planificar y diseñar con una precisión relativamente alta, muchos aspectos de la vialidad.

El estudio consiste en realizar un conteo vehicular en diversos puntos estratégicos en el proyecto con la finalidad de conocer el volumen de tráfico existente.

El conteo vehicular deberá ser realizado por tramo en solo dos días, según recomendaciones del MTC, teniendo en consideración que el tráfico este bajo condición normal. Uno de los días deberá ser un día laborable típico y el otro será un sábado o domingo.

El volumen vehicular obtenido por tipo de vehículo, de acuerdo con la clasificación dada por el MTC, indicará la cantidad de vehículos que circular por un determinado tramo, el cual será promediado aritméticamente dando como resultado el índice medio diario semanal (IMDs). Posterior a ello se aplicará factores de corrección estacionario de acuerdo con el tipo de vehículo, sea este liviano o pesado, obteniéndose así el índice medio diario anual (IMDa) por tipo de vehículo.

Finalmente se realiza la proyección del tráfico según el periodo de diseño considerado, utilizando tasas de crecimiento poblacional y del PBI.



## 2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

### 2.1. OBJETIVO PRINCIPAL

Cuantificar y clasificar los volúmenes vehiculares por tipos de vehículos y determinar el volumen diario de los vehículos que circulan por el tramo de una vía, para el presente proyecto de tesis: “ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024”.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las características del tráfico vehicular en el Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca, Lambayeque.
- Determinar el índice medio diario semanal (IMDs), a partir de los conteos realizados en campo.
- Determinar el Índice Medio Diario Anual (IMDa) para 01 estación de conteo vehicular, por tipo de vehículo y sentido; considerando los factores de corrección por tipo de peaje.
- Analizar y plasmar los resultados de los trabajos de campo (levantamiento de información para el informe de tráfico) y gabinete en formatos Word, Excel y las respectivas fórmulas empleadas en la elaboración del estudio.

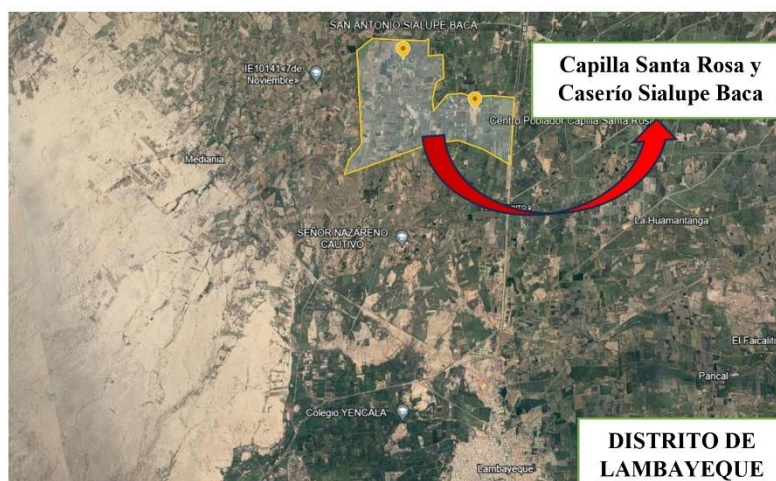
### 2.3. UBICACIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO

La ruta en estudio se encuentra localizado en el departamento de Lambayeque.

Departamento : Lambayeque.  
Provincias : Lambayeque.  
Distrito : Lambayeque.  
Localidad : Centro Poblado Capilla Santa Rosa y Caserío Sialupe Baca



Figura N°1: Ubicación del geográfica  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura N°2:** Ubicación del área de estudio  
*Fuente:* Elaboración propia.

### 3. CLASIFICACIÓN VEHICULAR

Los vehículos identificados, se clasifican de acuerdo con el tipo de transporte que realizan, de persona o de carga; el tipo, peso y número de ejes; según esto se ha diferenciado dos grupos de clasificación vehicular como Livianos y Pesados.

#### 3.1. VEHÍCULOS LIVIANOS

Son vehículos livianos destinados al transporte de persona y carga en menor escala, tienen 10 asientos como máximo, constan de dos ejes y cuatro neumáticos; es un parámetro importante para el diseño de vías con tránsito liviano.

Los tipos de vehículos livianos identificados en este proyecto son:

- **Automóviles:** vehículos automotor utilizados para el transporte de pasajeros. Poseen 02 ejes simples de 1.50 toneladas cada uno (3,3069 Kips).
- **Station Wagon:** vehículo automotor derivado del automóvil que, al rebatir los asientos posteriores, permite ser utilizado para el transporte de carga.
- **Camioneta pick up:** vehículo automotor de cabina simple o doble, con caja posterior. Destinada para el transporte de carga liviana.
- **Camioneta rural:** vehículo automotor para el transporte de personas de hasta 17 asientos.

Además, por la alta incidencia de tráfico, se ha incluido a vehículos menores motorizados como las mototaxis y motos lineales, para los que se ha establecido un parámetro de equivalencia: 3 motos equivalente a 1 Auto. En consecuencia, este valor será asumido en la categoría AP.

#### 3.2. VEHÍCULOS PESADOS

Este grupo está formado por los vehículos que constan de ejes simples o tándem de mayor capacidad de carga.



Los tipos de vehículos pesados observados en este proyecto son:

- **Camión (C2):** vehículo autopropulsado motorizado destinado al transporte de carga con un peso bruto mayor a 4,000 kg. Puede incluir una carrocería o estructura portante. Posee 2 ejes simples.

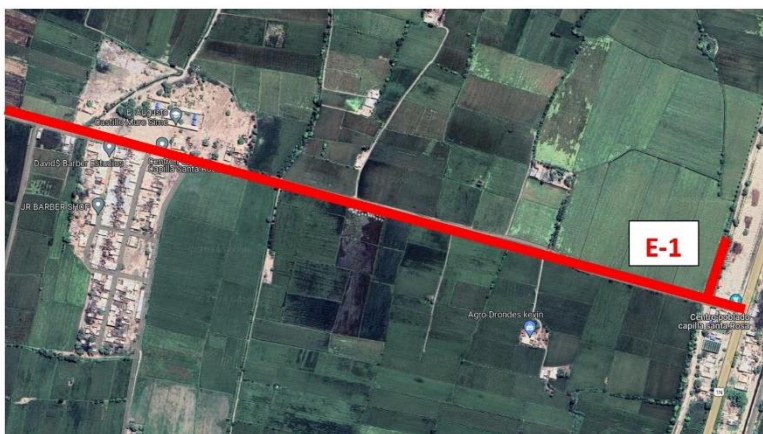
#### 4. METODOLOGÍA DE TRABAJO

##### 4.1. ETAPA PRELIMINAR

##### 4.1.1. ESTACIÓN DE CONTEO

En esta etapa se realizó una visita de inspección a la zona del proyecto, habiéndose realizado un recorrido de campo donde se va a efectuar el estudio de tráfico. Durante la visita se pudo identificar los diferentes tipos de vías e identificando así los tramos homogéneos de cada tipo de vía, determinando de esta manera el número y la ubicación de las estaciones de conteo y clasificación vehicular. Siendo esta:

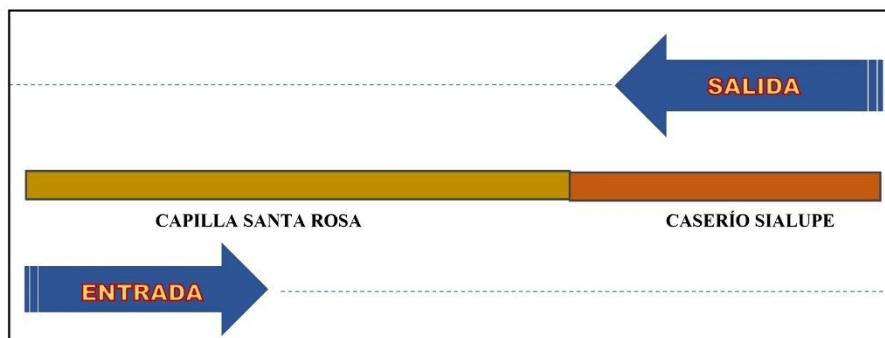
- **ESTACIÓN 01:** La estación de control E-1 fue ubicada al ingreso a la zona de estudio, tal como se muestra en la figura N°3.



**Figura N°3:** Vista de la Estación E-1  
*Fuente:* Elaboración propia.

Para el estudio de tráfico se ha determinado el sentido de entrada y salida el cual se utilizará para todas las actividades (conteo vehicular) de la manera que se muestra a continuación.

#### SENTIDOS DE ENTRADA Y SALIDA PARA EL TRAMO EN ESTUDIO



#### 4.2. AFORO VEHICULAR EN LA ESTACIÓN IDENTIFICADA

##### 4.2.1. METODOLOGÍA DE CONTEO DE TRÁFICO

El tráfico se define como el desplazamiento de bienes y/o personas en los medios de transporte; mientras que el tránsito viene a ser el flujo de vehículos que circulan por la carretera, caminos vecinales o puente, pero que usualmente se denomina tráfico vehicular.

En el desarrollo del estudio de tráfico, se contempla tres etapas claramente definidas:

- Recopilación de la información
- Tabulación de la información y
- Análisis de la información y obtención de resultados.

##### RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

La información básica para la elaboración del estudio procede de dos fuentes diferentes: referenciales y directas.

Las fuentes referenciales existentes a nivel oficial son las referidas respecto a la información del IMD y factores de corrección estacional (FC), existentes en los documentos oficiales del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF).

Para el conteo y clasificación vehicular se estableció en la estación de conteo habría una persona que realizará el conteo de manera manual, según los formatos de conteo establecidos por el MTC.

Los trabajos se realizaron durante una semana continua en la estación E-1 de conteo.

El conteo vehicular en cada estación y en cada día se inició a partir de las 6:00 am durante 12 horas ya que el tránsito vehicular nocturno era casi nulo.

##### PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

El procesamiento de la información corresponde íntegramente al trabajo de gabinete después de haberse realizado el trabajo de campo. La misma que fue procesada en Excel mediante hojas de cálculo.

## **ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN Y RESULTADOS OBTENIDOS**

Los conteos volumétricos realizados tienen por objeto conocer los volúmenes de tráfico que soporta la carretera en estudio, así como su composición vehicular y variación diaria.

Para determinar el IMDA, se presentará posteriormente el procedimiento juntamente con los resultados.

### **4.2.2. CONTEO Y CLASIFICACIÓN VEHICULAR POR DÍA**

Para el estudio se ha considerado el conteo vehicular en la Estación E-1 a lo largo del tramo en estudio.

ESTACIÓN DE CONTEO VEHICULAR E1 – ENTRADA A CENTRO POBLADO CAPILLA SANTA ROSA

Tabla N°2: Conteo y clasificación vehicular por día de la estación E1 – Entrada a Centro Poblado Capilla Santa Rosa

HORA	AUTO	STATION	CAMIONETAS				MICRO	BUS		CAMION			SEMITRAYLER				TRAYLERS				TOTAL
		WAGON	PICK UP	PANEL	COMBI RURAL	2E		>=3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
DOMINGO 3/12/2023																					
ENTRADA	64	6	22	0	10	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	105	
SALIDA	71	3	18	0	5	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	
Ambos	135	9	40	0	15	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	205	
LUNES 4/12/2023																					
ENTRADA	39	12	26	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85	
SALIDA	46	5	21	0	5	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	83	
Ambos	85	17	47	0	9	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	168	
MARTES 5/12/2023																					
ENTRADA	41	19	16	0	7	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85	
SALIDA	48	12	19	0	16	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	98	
Ambos	89	31	35	0	23	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	183	
MIÉRCOLES 6/12/2023																					
ENTRADA	34	11	15	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	
SALIDA	39	10	30	0	7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87	
Ambos	73	21	45	0	10	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	151	
JUEVES 7/12/2023																					
ENTRADA	28	17	26	0	8	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	83	
SALIDA	36	6	28	0	10	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87	
Ambos	64	23	54	0	18	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	170	
VIERNES 8/12/2023																					
ENTRADA	32	6	18	0	12	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	
SALIDA	36	6	27	0	13	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87	
Ambos	68	12	45	0	25	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	162	
SABADO 9/12/2023																					
ENTRADA	46	6	26	0	12	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97	
SALIDA	54	6	27	0	11	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	104	
Ambos	100	12	53	0	23	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	201	
TOTAL		614	125	319	0	123	0	0	0	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,240	

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.3. TRÁFICO VEHICULAR PROMEDIO DIARIOS DE LA SEMANA DE CONTEO

Luego de la consolidación y consistencia de la información recogida de los conteos, se obtuvo los resultados de los volúmenes de tráfico del tramo en estudio, por día, tipo de vehículo, por sentido, y el consolidado de ambos sentidos.

En los cuadros se muestran los conteos de tráfico diarios, las variaciones horarias vehiculares por sentido de circulación y la clasificación horaria y total para cada día de trabajo; así como el promedio semanal por sentido y el consolidado para ambos sentidos, para la estación E-1.

**Tabla N°3:** IMDs de la estación de conteo vehicular E1 – Entrada a Centro Poblado Capilla Santa Rosa

Tipo de Vehículos	<u>IMDs</u>	Distrib.
		%
Autos	88	49.4%
<u>Satation Wagon</u>	18	10.1%
Camioneta Pick Up	46	25.8%
Camioneta Panel	0	0.0%
COMBI	18	10.1%
RURAL	0	0.0%
Micro	0	0.0%
<u>Omnibus 2E y 3E</u>	0	0.0%
Camión 2E	8	4.5%
Camión 3E	0	0.0%
Camión 4E	0	0.0%
<u>Semi travler</u>	0	0.0%
<u>Trayler</u>	0	0.0%
<u>TOTAL <u>IMDs</u></u>	<b>178</b>	<b>100.0%</b>

*Fuente:* Elaboración propia.

#### 4.2.4. ÍNDICE MEDIO DIARIO ANUAL

Para obtener el índice medio diario anual (IMDa) se aplicaron las siguientes fórmulas, válida para información proveniente de 7 días de conteo:

$$\text{IMDa} = (5 \text{ VDL} + \text{VS} + \text{VD}) / 7 \times \text{FC}$$

Donde:

- VDL: Volumen de los días laborables
- VS: Volumen del sábado
- VD: Volumen del domingo
- FC: Factor de corrección del mes

El factor de Corrección Estacional (FC) es un valor numérico requerido para expandir la muestra del flujo vehicular semanal realizado a un comportamiento anualizado del tránsito. Dicho valor es proporcionado por PROVIAS NACIONAL.

Para la obtención de factor de corrección estacional del peaje más cercano de la zona, en nuestro proyecto de tesis se utilizó la del Peaje Mocce.

A continuación, se muestra el cuadro de factores de corrección promedio para vehículos ligeros y pesados, de acuerdo con los cuadros publicados de la última actualización realizadas por las Unidades de Peaje PVN.

**Tabla N°4:** Factores de corrección mensual del Peaje Mocce.

Mes	FC mes (veh. ligeros)	FC mes (veh. pesados)
Enero	1.0115	0.9510
Febrero	0.9769	0.9816
Marzo	1.0613	1.0770
Abril	1.0650	1.1377
Mayo	1.0408	1.0767
Junio	0.9962	0.9655
Julio	0.9898	1.0381
Agosto	0.9054	0.9850
Setiembre	1.0213	0.9950
Octubre	1.0118	0.9641
Noviembre	1.0012	0.9558
Diciembre	0.9247	0.9435

Fuente: MEF.

En base a ello se considera los factores de corrección promedios del mes de diciembre  $FCL = 0.9247$  y  $FCP = 0.9435$ .

A continuación, se presenta el IMDa para la estación E-1 de conteo vehicular por tipo de vehículo y sentido.

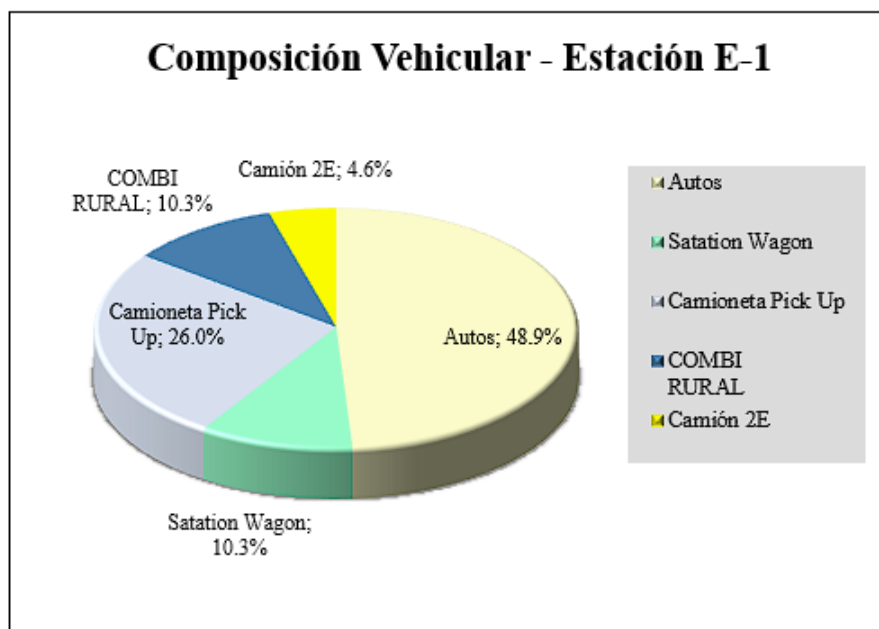
**Tabla N°5:** Resumen de IMDa para la estación de conteo vehicular E-1.

Tipo de Vehículos	<u>IMDa</u>	<u>Distrib. %</u>
Autos	81	48.9%
<u>Satation Wagon</u>	17	10.3%
Camioneta Pick Up	43	26.0%
Camioneta Panel	0	0.0%
COMBI	17	10.3%
RURAL		
Micro	0	0.0%
<u>Omnibus 2E y 3E</u>	0	0.0%
Camión 2E	8	4.6%
Camión 3E	0	0.0%
Camión 4E	0	0.0%
Semi trayler	0	0.0%
<u>Trayler</u>	0	0.0%
<b><u>TOTAL IMDa</u></b>	<b>166</b>	<b>100.0%</b>

Fuente: Elaboración propia.

De la composición vehicular para la estación E-1 – Entrada a Centro Poblado Capilla Santa Rosa, se observa que el 95.40% son vehículos livianos en donde los automóviles tienen mayor incidencia con 48.90%; mientras que, el 4.60% corresponde a los vehículos pesados en donde el vehículo Camión de 2E tiene mayor incidencia con 4.60%.

A continuación, se muestra el gráfico de composición vehicular para todos los tipos de vehículos presentes en el conteo vehicular.



**Figura N°4:** Composición vehicular por tipo de vehículo registrado E1  
*Fuente:* Elaboración propia.



## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- De la información obtenida del conteo vehicular, se observa que existe mayor circulación de vehículos livianos. Del mismo modo se observa una incidencia alta de vehículos menores motorizados como son las mototaxis y motos lineales, por ello se estableció un parámetro de equivalencia que considera a 3 motos = 1 auto.
- Al realizar el estudio de tráfico se obtiene el Índice Medio Diario anual calculado para la estación E-1 Entrada a Centro Poblado Capilla Santa Rosa.

Estación	IMDa
Estación E-1	166

- Del IMDa obtenido en la Estación de conteo E-1, se tiene que el tramo de estudio corresponde a una trocha carrozable, el cual por lo general tienen un IMDa menor a 200 veh/día.
- La distribución de vehículos en el IMDa muestra un 95.40% de vehículos livianos y un 4.60% de vehículos pesados.





## Recibo digital


Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: CASTRO DIAZ EDWIN FERNANDO  
Título del ejercicio: REVISIÓN DE TESIS  
Título de la entrega: ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ...  
Nombre del archivo: TESIS\_CASTRO\_Y\_JUAREZ.pdf  
Tamaño del archivo: 16.46M  
Total páginas: 140  
Total de palabras: 20,877  
Total de caracteres: 120,971  
Fecha de entrega: 10-jun.-2024 10:20p. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega... 2400095092

ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024.

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, SISTEMAS Y ARQUITECTURA**  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024.

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


Línea de Investigación: Geotecnia y Suelos

**AUTORES:**  
Bach. CASTRO DIAZ, EDWIN FERNANDO  
Bach. JUAREZ CHUQUISTA, RAFAEL

**ASESOR:**  
Mg. Ing. Borja Suárez, Manuel Alejandro

Lambayeque - Perú  
2024

pág. 1



Mg. Ing. Borja Suárez, Manuel Alejandro.

# ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZ

## INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

[hdl.handle.net](http://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

6%

2

[repositorio.upn.edu.pe](http://repositorio.upn.edu.pe)

Fuente de Internet

4%

3

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

1%

4

[repositorio.urp.edu.pe](http://repositorio.urp.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

5

[repositorio.ucv.edu.pe](http://repositorio.ucv.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

6

[repositorio.uss.edu.pe](http://repositorio.uss.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

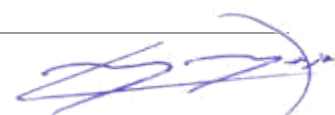
7

[repositorio.uandina.edu.pe](http://repositorio.uandina.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

[pirhua.udep.edu.pe](http://pirhua.udep.edu.pe)



Mg. Ing. Borja Suárez, Manuel Alejandro



**“Año del bicentenario, de la consolidación de nuestra independencia y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”**

**CONSTANCIA DE APROBACION DE ORIGINALIDAD DE TESIS**

Según Res. N° 659-2020-R

Yo; Msc. Ing. Manuel Alejandro Borja Suarez, **asesor de tesis de los bachilleres:**

- Bach. Edwin Fernando Castro Diaz
- Bach. Rafael Juarez Chuquista

**TITULADA: “ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CAL NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024”**

Luego de la revisión exhaustiva del documento constato que la misma tiene un índice de similitud de **20%** verificable en el reporte de similitud del programa TURNITIN.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas **NO CONSTITUYEN PLAGIO**. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Se expide la presente según lo dispuesto en la Resolución N°659-2020-R, de fecha 8 de setiembre de 2020 formativa para la obtención de Grados y Títulos de la UNPRG:

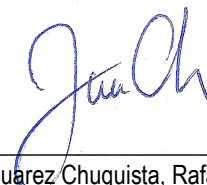
Lambayeque, 12 de junio del 2024

ATENTAMENTE,

  
Manuel Alejandro Borja Suarez  
DNI: 16690047



Castro Diaz, Edwin Fernando.



Juarez Chuquista, Rafael.

Se adjunta:  
Recibo digital de Turnitin  
Revisión de informe en Turnitin



## ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 153-2024-UI-FICSA



Siendo las 11:15 am del día 25 de julio del 2024, se reunieron los miembros de jurado de la Tesis titulada: "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS UTILIZANDO CLAY NATURAL, CENIZA DE BRIQUETAS DE COMBUSTIÓN DE LADRILLERAS ARTESANALES Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2024", con código N° IC\_V\_2024\_020, y designado por Resolución Decanal Virtual N° 156-2024-UNPRG-FICSA con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la tesis profesional antes mencionado, conformado por los siguientes docentes:

DR. ING. HAMILTON VLADIMIR CUEVA CAMPOS	PRESIDENTE
DRA. ING. YRMA DEL CARMEN CAPUÑAY CAPUÑAY	SECRETARIO
MSC. ING. DOMINGO JORGE LUIS DAVILA VIDARTE	VOCAL

Asesorado por MSC. ING. MANUEL ALEJANDRO BORJA SUAREZ

El acto de sustentación fue autorizado por OFICIO VIRTUAL N° 140-2024-UI-FICSA, la Tesis fue presentada y sustentada por los Bachilleres: CASTRO DIAZ EDWIN FERNANDO Y JUAREZ CHUQUISTA RAFAEL, tuvo una duración de 60 minutos. Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado; se procedió a la calificación respectiva:

	NUMERO	LETRAS	CALIFICATIVO
CASTRO DIAZ EDWIN FERNANDO	16	DIECISEIS	BUENO
JUAREZ CHUQUISTA RAFAEL	16	DIECISEIS	BUENO

Por lo que quedan APTOS para obtener el Título Profesional de INGENIERO CIVIL de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ingeniería Civil De Sistemas y de Arquitectura de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 12:30; del mismo día, se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto, con la firma de los miembros del jurado.

DR. ING. HAMILTON VLADIMIR CUEVA CAMPOS  
PRESIDENTE

DRA. ING. YRMA DEL CARMEN CAPUÑAY CAPUÑAY  
SECRETARIO

MSC. ING. DOMINGO JORGE LUIS DAVILA VIDARTE  
VOCAL

MSC. ING. MANUEL ALEJANDRO BORJA SUAREZ  
ASESOR

