

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE  
CAÑA DE AZUCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA  
EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE”**

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

**Tesistas:**

Bach. CAPUÑAY AGUIRRE, Christiaan Eduardo

Bach. PASTOR OLASCUAGA, Cristian Jharol

**NUEVO CHIMBOTE – PERÚ**

**2020**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE  
CAÑA DE AZUCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN  
LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE”

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

**REVISADA Y APROBADA POR:**

Ms. Julio César Rivasplata Díaz

ASESOR

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE  
AZUCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS  
DE CHIMBOTE”

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

REVISADA Y APROBADA POR EL JURADO EVALUADOR:

Ms. Julio César Rivasplata Díaz

PRESIDENTE

Ms. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla

SECRETARIA

Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado

INTEGRANTE

"Año del bicentenario del Perú: 200 años de independencia"

**ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS**

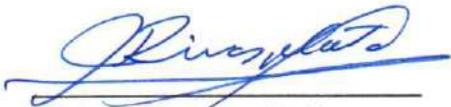
A los 18 días del mes de agosto del año dos mil veintiuno, siendo las cinco de la tarde, cumpliendo el con la Resolución N° 306-2020-CU-R-UNS (12.06.120) y la Directiva 003-2020-UNSVRAC, sobre la "ADECUACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE OBTENCIÓN DE GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES POR PARTE DE LOS ESTUDIANTES DE PREGRADO DE LA UNS, SE REALICE EN FORMA VIRTUAL; través del aplicativo virtual Zoom, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 113-2021-UNS-CFI y modificado a través del Memorando Múltiple N° 03-2021-UNS-FI-EPIC-D, integrado por los docentes integrado por los docentes Ms. Julio César Rivasplata Díaz (Presidente), Mg. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla (Secretaria) y el Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado (Integrante) y en base a la Resolución Decanal N° 404-2021-UNS-FI, se da inicio a la sustentación de la Tesis titulada: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE" presentado por los Bachilleres CHRISTIAAN EDUARDO CAPUÑAY AGUIRRE y CRISTIAN JHAROL PASTOR OLASCUAGA, quienes fueron asesorados por el Ms. Julio César Rivasplata Díaz, según lo establece la T. Resolución Decanal N° 241-2018-UNS-FI.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

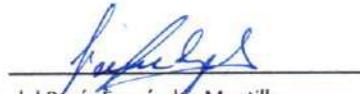
| BACHILLER                        | PROMEDIO VIGESIMAL | PONDERACIÓN |
|----------------------------------|--------------------|-------------|
| CRISTIAN JHAROL PASTOR OLASCUAGA | 15                 | BUENO       |

Siendo las seis de la tarde del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 18 de agosto de 2021.



Ms. Julio César Rivasplata Díaz  
Presidente



Mg. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla  
Secretaria



Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado  
Integrante

“Año del bicentenario del Perú: 200 años de independencia”

**ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS**

A los 18 días del mes de agosto del año dos mil veintiuno, siendo las cinco de la tarde, cumpliendo el con la Resolución N° 306-2020-CU-R-UNS (12.06.120) y la Directiva 003-2020-UNSVRAC, sobre la “ADECUACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE OBTENCIÓN DE GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES POR PARTE DE LOS ESTUDIANTES DE PREGRADO DE LA UNS, SE REALICE EN FORMA VIRTUAL; través del aplicativo virtual Zoom, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 113-2021-UNS-CFI y modificado a través del Memorando Múltiple N° 03-2021-UNS-FI-EPIC-D, integrado por los docentes integrado por los docentes Ms. Julio César Rivasplata Díaz (Presidente), Mg. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla (Secretaria) y el Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado (Integrante) y en base a la Resolución Decanal N° 404-2021-UNS-FI, se da inicio a la sustentación de la Tesis titulada: “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE” presentado por los Bachilleres CHRISTIAAN EDUARDO CAPUÑAY AGUIRRE y CRISTIAN JHAROL PASTOR OLASCUAGA, quienes fueron asesorados por el Ms. Julio César Rivasplata Díaz, según lo establece la T. Resolución Decanal N° 241-2018-UNS-FI.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

| BACHILLER                          | PROMEDIO VIGESIMAL | PONDERACIÓN |
|------------------------------------|--------------------|-------------|
| CHRISTIAAN EDUARDO CAPUÑAY AGUIRRE | 15                 | BUENO       |

Siendo las seis de la tarde del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

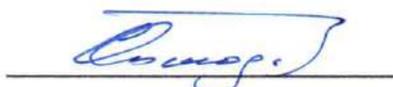
Nuevo Chimbote, 18 de agosto de 2021.



Ms. Julio César Rivasplata Díaz  
Presidente



Mg. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla  
Secretaria



Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado  
Integrante

## DEDICATORIAS

A **DIOS** quien nos permite estar un día  
más con vida, salud y bienestar.

A mis padres y hermanos quienes son importantes cada día,  
y me alientan para afrontar los diferentes retos.

A los docentes de la escuela  
Académica Profesional de Ingeniería  
Civil, por apoyarnos desde el inicio de la  
carrera, y brindando conocimientos,  
valores morales y experiencias.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios, por permitirnos llegar a este momento tan especial en nuestras vidas, que a pesar de las dificultades que se nos presentaron siempre estuvo a mi lado para apoyarnos y ayudarnos a siempre afrontar con sabiduría cada problema.

A todos los docentes que, a lo largo de 5 años, nos brindaron los diferentes conocimientos que nos servirán para afrontar los retos que cada día afronta un ingeniero civil.

Un agradecimiento especial a nuestro asesor Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz, por su ayuda profesional en la elaboración del presente estudio.

A nuestros familiares y amigos quienes depositaron su confianza en nosotros y siempre nos apoyaron en nuestra vida profesional.

|   |           |
|---|-----------|
| Índice  |           |
| Carátula .....  | i         |
| Conformidad del asesor.....   | ii        |
| APROBACIÓN DEL JURADO EVALUADOR .....   | iii       |
| DEDICATORIAS .....  | iv        |
| AGRADECIMIENTO.....   | v         |
| ÍNDICE DE TABLAS .....  | viii      |
| RESUMEN.....  | x         |
| ABSTRAC .....   | xii       |
| CAPÍTULO I:.....  | 14        |
| INTRODUCCIÓN .....  | 14        |
| 1.1. Antecedentes del problema .....  | 15        |
| 1.2. Formulación del problema .....   | 17        |
| <b>1.2.1. Problema general.....</b>   | <b>17</b> |
| 1.3. Objetivos: .....   | 18        |
| <b>1.3.1. Objetivo general .....</b>  | <b>18</b> |
| <b>1.3.2. Objetivos Específicos.....</b>  | <b>18</b> |
| <b>1.3.3. Formulación de Hipótesis. ....</b>  | <b>18</b> |
| <b>1.4. Justificación .....</b>   | <b>18</b> |
| <b>1.5. Limitaciones del trabajo .....</b>  | <b>19</b> |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....  | 20        |
| 2. Marco Teórico.....   | 21        |
| 2.1. Antecedentes de la Investigación .....   | 21        |
| <b>2.1.1. A Nivel Internacional .....</b>   | <b>21</b> |
| <b>2.1.2. A Nivel Nacional.....</b>   | <b>21</b> |
| <b>2.1.3. A Nivel Local.....</b>  | <b>23</b> |
| 2.2. Base teórica.....  | 24        |
| <b>2.2.1. Suelos.....</b>   | <b>24</b> |
| <b>2.2.2. Subrasante.....</b>   | <b>36</b> |
| <b>2.2.3. Compactación .....</b>  | <b>39</b> |
| <b>2.2.4. Ensayo California Bearing Ratio (CBR).....</b>                              | <b>40</b> |
| <b>2.2.5. Puzolanas: .....</b>  | <b>43</b> |
| <b>2.2.6. Arcillas activadas o calcinadas artificialmente.....</b>                    | <b>47</b> |
| <b>2.2.7. Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar (CBCA) .....</b>                         | <b>50</b> |
| <b>2.2.8. Estabilización de Suelo.....</b>  | <b>60</b> |
| <b>2.2.9. Criterios geotécnicos para establecer la estabilización de suelos. ....</b> | <b>63</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....   | 70        |
| 3. Materiales y métodos .....   | 71        |
| 3.1. Tipo de Investigación.....   | 71        |
| 3.2. Nivel de Investigación.....  | 71        |
| 3.3. Unidad de análisis .....   | 71        |
| 3.4. Población y muestra .....  | 71        |
| 3.5. Variables .....  | 74        |
| <b>3.5.1. Variable Independiente.....</b>   | <b>74</b> |
| <b>3.5.2. Variable Dependiente.....</b>   | <b>74</b> |
| 3.6. Matriz de consistencia.....  | 75        |
| <b>3.6.1. Operacionalización de variables. ....</b>   | <b>76</b> |
| 3.7. Instrumentos.....  | 78        |
| 3.8. Procedimientos.....  | 79        |
| <b>3.8.1. En Campo.....</b>   | <b>79</b> |
| CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....  | 82        |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....   | 83        |
| 4.1. Análisis e interpretación de resultados.....   | 83        |
| <b>4.1.1. Características químicas de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) 83</b>   |           |
| <b>4.1.2. Propiedades mecánicas y físicas según el suelo a estabilizar .....</b>  | <b>85</b> |
| <b>4.1.3. Características mecánicas de los suelos estabilizadas con ceniza de bagazo de caña de azúcar en porcentajes de: 25%, 35% y 45%. (CBCA).....</b> | <b>92</b> |
| 4.2. Discusión.....   | 96        |
| CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....  | 100       |
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....   | 101       |
| 5.1. Conclusiones .....   | 101       |
| 5.2. Recomendaciones.....   | 102       |
| CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES .....   | 103       |
| 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES .....   | 104       |
| CAPÍTULO VII: ANEXOS .....  | 107       |
| ANEXO 01: Ensayo de Fluorescencia de Rayos X  |           |
| ANEXO 02: Plano de Calicatas  |           |
| ANEXO 03: Granulometría   |           |
| ANEXO 04: Ensayo Proctor y CBR  |           |
| ANEXO 05: Panel Fotográfico   |           |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1:</b> Clasificación basada en una proposición original de Kopecky.....            | 25 |
| <b>Tabla 2:</b> Signos convencionales para perfil de calicatas – Clasificación AASHTO.....  | 27 |
| <b>Tabla 3:</b> Signos convencionales para perfil de calicatas – Clasificación SUCS .....   | 28 |
| <b>Tabla 4:</b> Tamices y aberturas para análisis granulométrico .....                      | 29 |
| <b>Tabla 5:</b> Clasificación de suelos según tamaño de partículas .....                    | 30 |
| <b>Tabla 6:</b> Clasificación de suelos según plasticidad .....                             | 32 |
| <b>Tabla 7:</b> Número de Calicatas para Exploración de Suelos .....                        | 37 |
| <b>Tabla 8:</b> Categorías de Sub-rasante.....  | 41 |
| <b>Tabla 9:</b> Requisitos químicos de las puzolanas.....                                   | 48 |
| <b>Tabla 10:</b> Influencia de la temperatura y el tiempo de quema .....                    | 56 |
| <b>Tabla 11:</b> Composición química de la ceniza de bagazo de caña de azúcar cubano.....   | 57 |
| <b>Tabla 12:</b> Composición química de la ceniza de bagazo de caña de azúcar peruano ..... | 58 |
| <b>Tabla 13:</b> Características químicas del CBCA.....                                     | 58 |
| <b>Tabla 14:</b> Requisitos físicos de las puzolanas .....                                  | 59 |
| <b>Tabla 15:</b> Parámetros físicos de la ceniza volátil del bagazo de caña de azúcar.....  | 68 |
| <b>Tabla 16:</b> Selección, tamaño y tipo de la muestra.....                                | 72 |
| <b>Tabla 17:</b> Matriz de consistencia.....  | 75 |
| <b>Tabla 18:</b> Operacionalización de variable independiente .....                         | 76 |
| <b>Tabla 19:</b> Operacionalización de variable dependiente.....                            | 77 |
| <b>Tabla 20:</b> Composición Química de la CBCA .....                                       | 83 |
| <b>Tabla 21:</b> Clasificación de suelos.....   | 90 |
| <b>Tabla 22:</b> Límites de consistencia .....  | 90 |
| <b>Tabla 23:</b> Resultados del Ensayo CBR/ Proctor Modificado de la subrasante.....        | 91 |
| <b>Tabla 24:</b> Resultados del Ensayo CBR del suelo estabilizado .....                     | 92 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1:</b> Esquema de una muestra de suelo para indicación de los símbolos usados .....                                   | 26 |
| <b>Figura 2:</b> Copa Casagrande .....  | 33 |
| <b>Figura 3:</b> Desplazamiento de la muestra de suelo y cierre del surco en la cuchara de Casagrande                           | 33 |
| <b>Figura 4:</b> Limite plástico .....  | 35 |
| <b>Figura 5:</b> Carta de plasticidad .....   | 36 |
| <b>Figura 6:</b> Equipo requerido para ensayo CBR .....   | 43 |
| <b>Figura 7:</b> Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar .....   | 50 |
| <b>Figura 8:</b> Proceso de producción de ceniza de bagazo de caña de azúcar .....  | 53 |
| <b>Figura 9:</b> Proceso industrial de la caña de azúcar .....  | 54 |
| <b>Figura 10:</b> Proceso de selección del tipo de estabilización .....   | 65 |
| <b>Figura 11:</b> Ubicación de las calicatas en la ciudad de Chimbote .....   | 73 |
| <b>Figura 12:</b> Composición química (óxidos) de la CBCA .....   | 84 |
| <b>Figura 13:</b> Granulometría de la Calicata C- 01. Entre Jr. Los Ficus Y Psje. Los Cactus - AHIS La Caleta.....              | 85 |
| <b>Figura 14:</b> Granulometría de la Calicata C- 02 / Av. Enrique Meiggs .....   | 86 |
| <b>Figura 15:</b> Granulometría de la Calicata C- 03 Av. Amazonas - Tres Estrellas .....  | 86 |
| <b>Figura 16:</b> Granulometría de la Calicata C- 04 Entre Av Peru Y Av. 1 - San Miguel.....                                    | 87 |
| <b>Figura 17:</b> Granulometría de la Calicata C- 05 .....  | 87 |
| <b>Figura 18:</b> Granulometría de la Calicata C- 06 PASAJE 14 - AMP. LA UNIÓN.....   | 88 |
| <b>Figura 19:</b> Granulometría de la Calicata C- 07 .....  | 88 |
| <b>Figura 20:</b> Granulometría de la Calicata C- 08 .....  | 89 |
| <b>Figura 21:</b> Granulometría de la Calicata C- 09 Entre Av. Buenos Aires Y Jr. Ramón Castilla - El Carmen .....              | 89 |
| <b>Figura 22:</b> Granulometría de la Calicata C- 10 Entre Jr. Los Ángeles Y Psje Sn - Esperanza Alta                           | 90 |
| <b>Figura 23:</b> CBR-PROCTOR MODIFICADO DE LA SUBRASANTE .....   | 92 |
| <b>Figura 24:</b> Estabilización Del Suelo Con CBCA para la C- 01. Entre Jr. Los Ficus Y Psje. Los Cactus - AHIS La Caleta..... | 93 |
| <b>Figura 25:</b> Estabilización Del Suelo Con CBCA para la C- 04 .....   | 94 |
| <b>Figura 26:</b> Estabilización Del Suelo Con CBCA para la C- 07 .....   | 94 |
| <b>Figura 27:</b> Estabilización Del Suelo Con CBCA para la C- 08 .....   | 95 |

## RESUMEN

La investigación corresponde a: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR PARA SU USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE, ha tenido como interrogante: ¿En qué medida influye la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) en la estabilización de suelos como subrasante mejorada en los pavimentos de Chimbote y que tan viable es su uso tanto técnica como económicamente?, como objetivos: Determinar las características físicas y químicas de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA). Determinar las propiedades mecánicas y físicas del suelo a estabilizar en diferentes puntos. Determinar las características físicas y mecánicas de los suelos estabilizadas con ceniza de bagazo de caña de azúcar en porcentajes de: 25%, 35% y 45%. (CBCA). Evaluar como alternativa técnica y económica al incorporar la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) en el mejoramiento de la subrasante para pavimentos en Chimbote; como **Hipótesis:** El uso de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) estabiliza los suelos, y mejora las propiedades de la subrasante, optimizando de esta manera las estructuras de pavimentos de Chimbote.

Por lo que se concluye en: Luego de aplicar la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) en porcentajes de 25%, 35% y 45% a los diferentes suelos ensayos se ha logrado estabilizar la subrasante para su uso en los pavimentos de Chimbote mejorando las propiedades tanto físicas como mecánicas entre estas; la reducción de la plasticidad y el aumento de la capacidad de soporte hallándose el mejor comportamiento al utilizar la proporción de 35% cuyo valor de CBR fue de 17.91% (suelo estabilizado) en comparación con el sin estabilizar (CBR 11.50%) incrementando en 6.41% reduciendo de esta manera las estructuras de pavimentos de Chimbote (espesores más delgados) debido a las propiedades de la CBCA. Se ha logrado determinar las características físicas y químicas de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) encontrándose la presencia de sílice con un porcentaje de 38.99%, óxido

de calcio el 4.869% y oxido de aluminio con 7.954% cuyos elementos permiten reducir el contenido de humedad por consiguiente disminuye la eflorescencia, así como la permeabilidad en el suelo natural, así como aumentar las resistencias del suelo. Se determinó las propiedades mecánicas y físicas del suelo a estabilizar en diferentes puntos para el CBR que varían de 6.94 a 16.63%, la calidad en cuanto a su resistencia es buena, el contenido de humedad tiene 0.343% como el valor más bajo y 9.848% el más alto correspondiente a una arena limosa, el índice de plasticidad es 6.59% como el valor más alto y 1.70% como el más bajo y con respecto a las características físicas y mecánicas de los suelos estabilizados con ceniza de bagazo de caña de azúcar en porcentajes de: 25% 35% y 45% de CBCA se ha determinado que para una ARENA MAL GRADUADA alcanzo el máximo valor con el 35% de CBCA para un CBR de 17.91 con el OCH de 8.07% y MDS de 1752kg/m<sup>3</sup>, para una ARENA LIMNOSA se logró el valor más alto de CBR con el 45% siendo éste valor de CBR 15.80 , y para un LIMO ORGANICO alcanza su mejor comportamiento en cuanto 45% de CBCA obteniéndose un CBR de 12.59 %.

## ABSTRAC

The research corresponds to: SOIL STABILIZATION WITH SUGAR CANE BAGAZE ASH FOR USE AS AN IMPROVED SUBGRADE IN THE CHIMBOTE PAVEMENTS, has had as a question: To what extent does sugarcane bagasse ash (CBCA) influence in the stabilization of soils as an improved subgrade in the pavements of Chimbote and how viable is its use both technically and economically? As objectives: To determine the physical and chemical characteristics of the sugarcane bagasse ash (CBCA). Determine the mechanical and physical properties of the soil to be stabilized at different points. Determine the physical and mechanical characteristics of soils stabilized with sugarcane bagasse ash in percentages of: 25%, 35% and 45%. (CBCA). Evaluate as a technical and economic alternative to incorporate sugarcane bagasse ash (CBCA) in the improvement of the subgrade for pavements in Chimbote; as Hypothesis: The use of sugarcane bagasse ash (CBCA) stabilizes the soils, and improves the properties of the subgrade, thus optimizing the pavement structures of Chimbote.

Therefore, it is concluded in: After applying the sugarcane bagasse ash (CBCA) in percentages of 25%, 35% and 45% to the different test soils, it has been possible to stabilize the subgrade for use in the pavements of Chimbote improving both physical and mechanical properties among these; the reduction of plasticity and the increase of the bearing capacity, finding the best performance when using the 45% proportion whose CBR value was 17.91% (stabilized soil) compared to the unstabilized (CBR 11.50%) increasing by 6.41 % reducing in this way the Chimbote pavement structures (thinner thicknesses) due to the properties of the CBCA. It has been possible to determine the physical and chemical characteristics of the sugarcane bagasse ash (CBCA), finding the presence of silica with a percentage of 38.99%, calcium oxide with 4.869% and aluminum oxide with 7.954% whose elements allow to reduce the moisture content consequently decreases efflorescence as well as permeability in

natural soil as well as increasing soil resistance. The mechanical and physical properties of the soil to be stabilized at different points were determined for the CBR ranging from 6.94 to 16.63%, the quality in terms of its resistance is good, the moisture content has 0.343% as the lowest value and 9.848% the highest. high corresponding to a silty sand, the plasticity index is 6.59% as the highest value and 1.70% as the lowest and with respect to the physical and mechanical characteristics of soils stabilized with sugarcane bagasse ash in percentages of: 25% 35% and 45% of CBCA it has been determined that for a BAD GRADUATED SAND it reached the maximum value with 35% of CBCA for a CBR of 17.91 with the OCH of 8.07% and MDS of 1752kg / m<sup>3</sup>, for a LIMNOSA SAND the highest CBR value was achieved with 45% being this value of CBR 15.80, and for an ORGANIC LIME it reaches its best performance as 45% of CBCA obtaining a CBR of 12.59%.

# **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

## **I. Introducción**

La estabilización del suelo siempre ha sido un factor primordial al momento de realizar la construcción de una edificación o carretera, debido a esto se emplean diferentes métodos de estabilización que han resultado ser efectivos para el mejoramiento de suelo de baja capacidad de soporte.

En la actualidad la utilización de residuos es materia de gran importancia, por ello es vital continuar con la concientización acerca de reducir, transformar y reciclar los materiales. En relación con lo anterior el estudio de las cenizas volantes en los últimos años ha alcanzado un gran auge debido al incremento de las industrias que generan como residuos el material en mención y el impacto que estas producen en el medio ambiente.

La presente investigación se enfoca en utilización de cenizas volantes en una proporción adecuada para la estabilización de suelo, con el fin de reutilizar el material ya que hoy en día se generan en gran cantidad.

### **1.1. Antecedentes del problema**

Vargas E. (2017): “En nuestro país el 99% correspondiente a su Red Vial Vecinal (RVV) o Rural no se encuentran pavimentadas, impidiendo el aumento del turismo y comercio, lo cual es imprescindible para el desarrollo de las regiones”.

Morales (2015), menciona que en: “la estabilización de suelos se han utilizado diferentes residuos provenientes de las industrias, donde se obtuvieron resultados ambientales viables y requisitos mecánicos, físicos y químicos satisfactorios con resultados como nuevas alternativas para ser utilizados en la construcción vial” (p.9).

Morales (2015):”En el año 2010 la Directiva Marco de Residuos, planteó regular éste residuo, donde los estados miembros tuvieron que definir qué producto de la

combustión del carbón es un sub-producto y cuando un material perderá la condición de residuo; a partir de esto los productores que desearán colocar los productos de la combustión en el mercado, deben haber registrado sus productos de acuerdo al Reglamento, Evaluación, Autorización y Restricción de Sustancias Químicas-REACH citado por Morales” (p.8).

Redacción La Industria (21 de enero del 2019). Alcalde de Chocope alzó su voz de protesta e hizo la denuncia respectiva por caída de ceniza producto de la quema de caña de azúcar. No soportó más la lluvia de cenizas producto de la quema de caña de azúcar e ingresó un documento al Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (Oefa), con sede en la ciudad de Trujillo, donde pone de conocimiento toda la contaminación de los cuatro últimos días y exige su intervención inmediata. Portal web Business y Human Rights Resource Centre.

Redacción RPP (21 de junio del 2016). Las humaredas con olor a quemado ya no sorprenden, pero indignan a los pobladores del distrito de Víctor Larco en Trujillo en La Libertad. Esta vez un extenso humo se registró en la ciudad norteña tal y como lo reportó un ciudadano al WhatsApp del Rotafono.

Redacción Ideal (15 de junio del 2012). Desde hace varios años los vecinos de la entidad local de Linares-Baeza han mostrado ante los organismos competentes su malestar por la existencia de diversas fábricas cuyos residuos contaminantes afecta a los residentes de La Estación. La última emisión se producía en la noche del pasado sábado al domingo, cuando la localidad apareció cubierta de cenizas.

## **1.2. Formulación del problema**

Existen diferentes tipos de suelos en Chimbote que no cumplen con los requisitos necesarios para realizar un proyecto de pavimentación, por su mala calidad y su baja capacidad de soporte debido a su naturaleza.

Entonces, para poder solucionar este tipo de problemas se utilizan otras alternativas que ayuden a la estabilización de suelo, con nuevos materiales para la construcción, más aún si son productos reciclados que últimamente poco a poco se vuelven tendencia a nivel mundial, ya que para obtenerlo tiene un bajo costo y también este evita una menor contaminación.

Ya que se ha venido experimentando años atrás la estabilización de suelos con restos de industrias, para renovar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los suelos.

Por lo cual, se observó que hay un material en la localidad de San Jacinto que proviene del bagazo de la caña de azúcar (CBCA), siendo este convertido en ceniza y desechado por las fábricas de ese lugar.

Entonces esta presente investigación se centró en la evaluación de la ceniza de bagazo de caña de azúcar como estabilizante de suelo para mejorar la subrasante para los pavimentos en Chimbote evitando elevados costos de obra y también disminuyendo la contaminación generada por este residuo.

### **1.2.1. Problema general**

¿En qué medida influye la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) en la estabilización de suelos como subrasante mejorada en los pavimentos de Chimbote y que tan viable es su uso técnicamente?

### **1.3. Objetivos:**

#### **1.3.1. Objetivo general**

- Estabilizar los suelos con ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) para su uso como subrasante mejorada en los pavimentos de Chimbote.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Determinar las características químicas de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA)
- Determinar las propiedades mecánicas y físicas según el suelo a estabilizar.
- Determinar las características mecánicas de los suelos estabilizados con ceniza de bagazo de caña de azúcar en porcentajes de: 25%, 35% y 45% (CBCA)

#### **1.3.3. Formulación de Hipótesis.**

El uso de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) estabiliza los suelos, y mejora las propiedades de la subrasante.

### **1.4. Justificación**

El Perú es uno de los países más ricos en la producción de caña de azúcar, este producto tiene una gran importancia nacional e internacional, por lo tanto, existen desechos en abundancia que contaminan el medio ambiente, los cuales se están desaprovechando al no ser utilizados.

Lo que se busca, es estabilizar el suelo natural propio de la zona, entonces se pretende dar uso a estos desechos y así mejorar sus propiedades mecánicas de los suelos de Chimbote, los cuales se evaluará mediante proctor modificado y CBR, y así dar una alternativa al uso de la ceniza desechada por las plantas que usan la caña de azúcar.

En este proyecto se investiga dar uso de un material la cual es un subproducto industrial, que parte de ella es desechada, siendo utilizado como sustituto parcial de

los suelos de Chimbote en porcentaje de 25%, 35% y 45% para su uso como subrasante mejorada para pavimentos, ya que existen innumerables suelos con características inapropiadas para la construcción en carreteras, y así dar uso como material de préstamo para sustituir aquellos suelos deficientes, lo que implica un elevado costo.

### **1.5. Limitaciones del trabajo**

En esta investigación se tuvo las siguientes limitantes:

- Transporte limitado para obtención de muestras de suelos y ceniza.
- Algunos instrumentos de laboratorio no calibrados.
- Pocos instrumentos de laboratorios, con alta demanda de tesis.
- Difícil obtención de la Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar de la fábrica San Jacinto por pandemia.

# **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

## **2. Marco Teórico**

### **2.1. Antecedentes de la Investigación**

#### **2.1.1. A Nivel Internacional**

O. Ojeda-Farías, J.M. Mendoza-Rangel, M. A. Baltazar-Zamora (2018), **“Influencia de la inclusión de ceniza de bagazo de caña de azúcar sobre la compactación, CBR y resistencia a la compresión simple de un material granular tipo subrasante”**, Revista ALCONPAT, 8 (2), pp. 194 - 208, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i2.282>.

El investigador empleó una metodología cuasi-experimental para desarrollar el trabajo de investigación

Obtuvo como resultado del análisis de fluorescencia de Rayos X, para determinar las propiedades químicas del CBCA, los siguientes componentes químicos: Dióxido de Silicio ( $\text{SiO}_2$ ) con una concentración de 62.66%, Trióxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) con una concentración de 5.20%, Trióxido de Hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) con una concentración de 5.19%, Óxido de Titanio ( $\text{TiO}_2$ ) con una concentración de 0.64%, Óxido de Calcio ( $\text{CaO}$ ) con una concentración de 4.87%, Óxido de Magnesio ( $\text{MgO}$ ) con una concentración de 2.19%, Óxido de Azufre ( $\text{SO}_3$ ) con una concentración de 0.30%, Óxido de Potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) con una concentración de 13.93%, Óxido de Sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) con una concentración de 0.56%, Óxido de Fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) con una concentración de 3.36%.

#### **2.1.2. A Nivel Nacional**

Landa Alarcon, Jacques Yitzhak y Torres Montesinos, Sergio Feliciano (2019) en el proyecto de investigación para optar el grado de bachiller en Ingeniería Civil **“Mejoramiento de Suelos Arcillosos en Subrasante mediante el uso de Cenizas**

**Volantes de Bagazo de Caña de Azúcar y Cal**” para la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

El investigador empleó una metodología cuasi-experimental para desarrollar el trabajo de investigación.

Se tuvo como fin utilizar la CBCA para estabilizar la subrazante pobre de una carretera no pavimentada con un tipo de suelo patrón clasificado según SUCS como una “arcilla de baja plasticidad” o CL y en base a sistema de clasificación ASSHTO como un A-6 con índice de grupo 8. En el caso de la CBCA, en base a diversas fuentes y resaltando la referencia, se resaltó los porcentajes de 67.52% de Sílice, 3.5% de Alúmina y 7.6% de cal libre o CaO, los cuales en conjunto con la Cal hidratada Ca (OH)<sub>2</sub> producen un material cementoso. Esto, debido que la CBCA y la Cal, al hidratarse y acentuar el nivel de Ca (OH)<sub>2</sub> en el compuesto, intensifican el intercambio catiónico y la floculación-aglomeración del compuesto con el SiO<sub>2</sub> y el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> presentes en el suelo arcilloso, propiciando la formación de partículas de arcillas más grandes que permiten la reducción del LL y propician la interacción friccionante de las partículas. Finalmente, se produjo la mejora de las propiedades mecánicas del suelo en escalas superiores a las obtenidas por el uso de la Cal o CBCA de manera independiente. El valor máximo registrado se dio con la Combinación de 75% de Cal y 25% de CBCA, en una proporción de 25% de Material Estabilizante, logrando un aumento de CBR de 3.7% a 8.7%. Sin embargo, dada la cantidad de Cal no resulta factible con esta combinación por un aspecto económico. Por ello, se presentó la Combinación de 50% Cal y 50% CBCA con una proporción global como material estabilizante de 5%, dando como resultado un aumento en el CBR de 3.7% a 7.8%, la cual resultó más factible de implementar, siendo la CBCA la mitad del material estabilizante reduciendo costos al ser un residuo de plantas azucareras.

Terrones Cruz, Andrea Thatiana (2018), en el proyecto de tesis para obtener el título de ingeniero civil titulado: **“Estabilización de Suelos Arcillosos Adicionando Cenizas de Bagazo de Caña para el Mejoramiento de Subrasante en el Sector Barraza, Trujillo – 2018.”** para la Universidad Privada del Norte.

El investigador empleó una metodología experimental-pura para desarrollar el trabajo de investigación.

Tuvo como objetivo determinar la influencia de adición de CBCA en porcentajes de 5%, 10% y 15% en peso de suelo seco en la estabilización de suelos arcillosos en el sector Barraza, Trujillo – 2018.

Los ensayos necesarios para evaluar la influencia de la CBCA se concluyó que la CBCA mejora las propiedades mecánicas del suelo con la adición de los tres porcentajes propuestos, sin embargo con la adición del 15% de CBCA se notan mejores resultados en la capacidad de soporte. Esto se vio reflejado en los tres puntos evaluados de la carretera, donde inicialmente el suelo era inadecuado, a los cuales le adicionó el 15 % de CBCA, de tal manera que el CBR del Km 0+011 aumentó de 1.888% a 22.5%, del km 1+524 aumentó de 1.843% a 22.4% y del Km 3+529 aumentó de 1.739% a 21.9%, lo cual indicó que la CBCA aumentó el CBR del suelo en más de 10 veces. Del cual se pudo ver que se mejoró de una subrasante promedio de 1.823% (subrasante muy mala), a obtener un CBR promedio de 22.267% (subrasante muy buena)

### 2.1.3. A Nivel Local

Danny Alessandro, Carrasco Mejilla (2017) Realizó una investigación para obtener el título profesional de ingeniería civil sobre: **“Estabilización de los Suelos Arcillosos Adicionando Ceniza de Caña de Azúcar en el Tramo de Moro a**

**Virahuanca en el Distrito de Moro – Provincia del Santa - 2017**”, publicada por la Universidad Cesar Vallejo. El investigador empleó una metodología cuasi-experimental para desarrollar el trabajo de investigación. Tuvo como objetivo determinar la posibilidad de estabilización de los suelos arcilloso adicionando CBCA en el tramo de moro a Virahuanca en el distrito de Moro – provincia del santa - 2017. Concluyó que la resistencia y capacidad de carga del suelo arcilloso logró estabilizar con la adición al 35% de ceniza de caña de azúcar, en relación al peso seco de la muestra del suelo y el óptimo contenido de humedad, donde alcanzó un CBR al 16.21%. Con una muestra patrón no favorable, pues su resistencia en comparación alcanza un valor de 4.16% de CBR.

## **2.2. Base teórica**

### **2.2.1. Suelos**

Bañón y Beviá (2000), define al suelo como “un agregado de partículas minerales las cuales son parcialmente cementadas. Además, se puede decir que el suelo es el soporte más bajo o principal de todas las obras de infraestructura, de allí radica su importancia de su estudio y comprensión para conocer su comportamiento ante la perturbación que supone cualquier asentamiento antrópico para el diseño y construcción de una carretera” (p.35).

Para Gutiérrez (2010), el suelo “es considerado como todo tipo de material terroso, excluyendo los depósitos sedimentarios, las metamórficas, así como las rocas las cuales están altamente cementados que no se desintegren o ablanden en ningún lapso del tiempo en proceso o por acción de la intemperie” (p.35).

Badillo (2007), dice que “conjunto con organización definida y que varían "vectorialmente". En la dirección vertical generalmente sus propiedades cambian

mucho más rápidamente que en la horizontal. El suelo tiene perfil, y éste es un hecho del que se hace abundante aplicación. Para los fines de esta obra, la palabra Suelo representa todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio, hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves”.

**Tabla 1:** Clasificación basada en una proposición original de Kopeccky

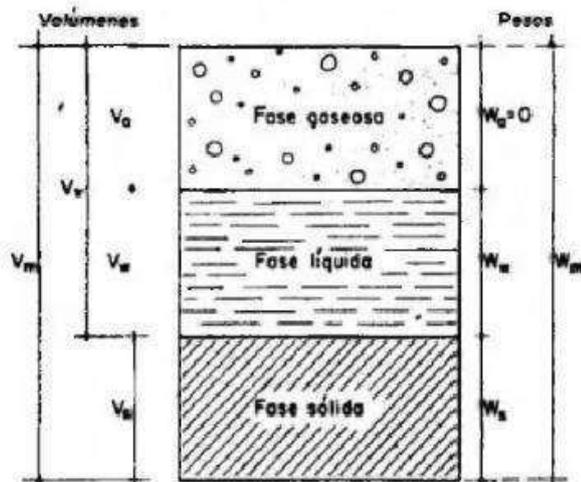
| <b>MATERIAL</b>      | <b>CARACTERÍSTICAS</b> | <b>TAMAÑO (MM)</b> |
|----------------------|------------------------|--------------------|
| <b>Piedra</b>        | ----- ----- -----      | Mayor de 70 mm     |
| <b>Grava</b>         | Gruesa                 | 30 a 70            |
|                      | Media                  | 5 a 30             |
|                      | Fina                   | 3 a 5              |
| <b>Arena</b>         | Gruesa                 | 1 a 2              |
|                      | Media                  | 0.2 a 1            |
|                      | Fina                   | 0.1 a 0.2          |
| <b>Polvo</b>         | Grueso                 | 0.05 a 0.1         |
|                      | Fino                   | 0.002 a 0.05       |
| <b>Limo</b>          | Grueso                 | 0.006 a 0.02       |
|                      | Fino                   | 0.002 a 0.006      |
| <b>Arcilla</b>       | Grueso                 | 0.0006 a 0.002     |
|                      | Fino                   | 0.0002 a 0.0006    |
| <b>Ultra-Arcilla</b> | ----- ----- -----      | 0.00002 a 0.0002   |

**Fuente:** Mecánica de suelos. Tomo I, Juárez Badillo y Alfonso Rodríguez. 1973

Parra Gómez, Manuel Gerardo (2018), el suelo se define como “una mezcla de varios minerales meteorizados y de materia orgánica en descomposición, se encuentra en una capa delgada que cubre la tierra y contiene grandes cantidades de agua y aire que sirven de sustento y soportes a las plantas y demás organismos.

Desde la perspectiva de la ingeniería civil, el suelo se define como un material no consolidado compuesto por partículas líquidas, sólidas y vacíos que ocupan espacio entre ellas”. (p.20).

**Figura 1:** Esquema de una muestra de suelo para indicación de los símbolos usados

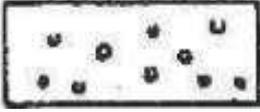
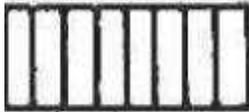
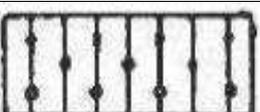
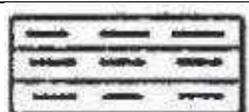


**Fuente:** Mecánica de suelos, Tomo I, Juárez Badillo y Alfonso Rodríguez. 1973

### 2.2.1.1. Clasificación de suelos

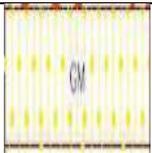
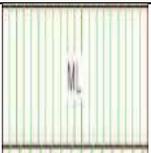
Según Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2013), “los suelos encontrados serán descritos y clasificados de acuerdo a metodología para construcción de vías, la clasificación se efectuará obligatoriamente por AASHTO y SUCS, se utilizarán los signos convencionales de los siguientes cuadros:” (p.34)

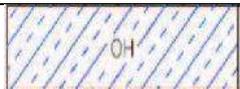
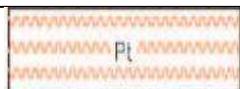
**Tabla 2:** Signos convencionales para perfil de calicatas – Clasificación AASHTO

| Simbología  | Clasificación | Simbología   | Clasificación        |
|---|---------------|--|----------------------|
|    | A-1-a         |    | A-5                  |
|    | A-1-b         |    | A-6                  |
|    | A-3           |    | A-7-5                |
|    | A-2-4         |    | A-7-6                |
|   | A-2-5         |   | MATERIA<br>ORGANICA  |
|  | A-2-6         |  | ROCA SANA            |
|  | A-2-7         |  | ROCA<br>DESINTEGRADA |
|  |               |  |                      |

**Fuente:** Simbología AASHTO

**Tabla 3:** Signos convencionales para perfil de calicatas – Clasificación SUCS

|   |  |  |   |
|---|--|--|---|
|    | Grava bien mezclada arena, grava con poco o nada de material fino, variación en tamaños granulares,  |    | Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy baja   |
|    | Grava mal graduada, mezcla de arena-grava con poca o nada de material fino.  |    | Arenas arcillosas, mezclas de arena-arcillosa.  |
|    | Grava limosa mezclas de grava arena limosa.  |    | Limos orgánicos y arenas muy finas, polvo de rocas, arenas finas limosas o arcillosas o limo arcillosos con ligera plasticidad. |
|   | Grava arcillosa, mezclas de grava-arena-arcilla gravas con material fina cantidad apreciable de material fino  |   | Arcillas inorgánicas de plasticidad baja o mediana, arcillas gravas, arcillas arenosas, arenas limosas, arcillas negras.        |
|  | Arena bien graduada, arenas con grava, poca o nada de material fino. Arenas limpias poca o nada, amplia variación en tamaño granular y cantidad de partículas en tamaño. |  | Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas, baja plasticidad.   |
|  | Arena mal graduada con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de partículas internas.                            |  | Limo inorgánicas, suelos finos granosos o limosos, micáceas o diatomáceas, limos elásticos.                                     |

|   |   |
|---|---|
|  | Arcillas inorgánicas de elevada plasticidad, arcillas grasosas.       |
|  | Arcillas orgánicas de mediana o elevada plasticidad, limos orgánicos. |
|  | Turba, suelos considerablemente orgánicos.                            |

**Fuente:** Manual de ensayos de materiales – Norma MTC E101, Símbolos gráficos para suelos

### 2.2.1.1.1. Granulometría

Terrones Cruz, Andrea Thatiana (), define que “el objetivo principal del ensayo es determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de suelo, es decir determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (N° 200). Para la realización del ensayo será necesario contar con una balanza (con sensibilidad de 0.01 g.), una estufa u horno, envases para el adecuado secado de las muestras, cepillos, brochas y además de ello el juego de tamices de malla cuadrada con las siguientes aberturas:” (p.25)

**Tabla 4:** Tamices y aberturas para análisis granulométrico

| TAMICES | ABERTURA (mm) |
|---------|---------------|
| 3”      | 75,000        |
| 2”      | 50,800        |
| 1 ½”    | 38,100        |
| 1”      | 25,400        |
| ¾”      | 19,000        |
| 3/8”    | 9,500         |
| N°4     | 4,760         |

|       |       |
|-------|-------|
| N°10  | 2,000 |
| N°20  | 0,840 |
| N°40  | 0,425 |
| N°60  | 0,260 |
| N°140 | 0,106 |
| N°200 | 0,075 |

**Fuente:** Manual de ensayo de materiales, MTC. 2003

MTC (2013), dice que la granulometría “representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas (Ensayo MTC EM 107). A partir de la cual se puede estimar, con mayor o menor aproximación, las demás propiedades que pudieran interesar. El análisis granulométrico de un suelo tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño. De acuerdo al tamaño de las partículas de suelo, se definen los siguientes términos:” (p.36).

**Tabla 5:** Clasificación de suelos según tamaño de partículas

| <b>Tipo de Material</b> |                | <b>Tamaño de las partículas</b> |
|-------------------------|----------------|---------------------------------|
| <b>Grava</b>            |                | 75 mm – 4.75 mm                 |
| <b>Arena</b>            |                | Arena gruesa: 4.75 mm – 2.00 mm |
|                         |                | Arena media: 2.00 mm – 0.425 mm |
|                         |                | Arena fina: 0.425 mm – 0.075 mm |
| <b>Material Fino</b>    | <b>Limo</b>    | 0.075 mm – 0.005 mm             |
|                         | <b>Arcilla</b> | Menor a 0.005 mm                |

**Fuente:** Manual de carreteras suelos geología, geotecnia y pavimentos. 2013

#### **2.2.1.1.2. Contenido de Humedad**

Cañar Tiviano, Edwin Santiago (2017), dice que el contenido de humedad es “la relación entre el peso del agua que está en el interior de la muestra en estado natural y el peso de la misma muestra luego de haberla secado en un horno a temperatura entre los 105 y 110 grados centígrados. El comportamiento y la resistencia de los suelos dependen de la cantidad de agua que posean en el interior ya que esta propiedad influye directamente al cambio de volumen y a la estabilidad mecánica, el contenido de humedad se lo representa en porcentaje que va de 0% cuando el suelo está seco a un valor máximo aproximadamente al 100%”. (p.14)

#### **2.2.1.1.3. Plasticidad**

Manual de carreteras suelos geología, geotecnia y pavimentos (2013), afirmo lo siguiente:

“Es la propiedad de estabilidad que representa los suelos hasta cierto límite de humedad sin disgregarse, por tanto, la plasticidad de un suelo depende, no de los elementos gruesos que contiene, sino únicamente de sus elementos finos. El análisis granulométrico no permite apreciar esta característica, por lo que es necesario determinar los Límites de Atterberg. Los Límites de Atterberg establecen cuan sensible es el comportamiento de un suelo en relación con su contenido de humedad (agua), definiéndose los límites correspondientes a los tres estados de consistencia según su humedad y de acuerdo a ello puede presentarse un suelo: líquido, plástico o sólido. Estos límites de Atterberg que miden la cohesión del suelo son: el límite líquido (LL, según ensayo MTC EM 110), el límite plástico (LP, según ensayo MTC EM 111) y el límite de contracción (LC, según ensayo MTC EM 112). Límite Líquido (LL), cuando el suelo pasa del

estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse. Límite Plástico (LP), cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe”. (p.36)

**Tabla 6:** Clasificación de suelos según plasticidad

| <b>INDICE DE PLASTICIDAD</b> | <b>PLASTICIDAD</b> | <b>CARACTERÍSTICAS</b>             |
|------------------------------|--------------------|------------------------------------|
| IP > 20                      | Alta               | Suelos muy arcillosos              |
| IP ≤ 20                      | Media              | Suelos arcillosos                  |
| IP > 7                       |                    |                                    |
| IP < 7                       | Baja               | Suelos poco arcillosos plasticidad |
| IP = 0                       | No Plástico (NP)   | Suelos exentos de arcillas         |

**Fuente:** Manual de carreteras suelos geología, geotecnia y pavimentos. 2013

#### 2.2.1.1.4. Limite Líquido

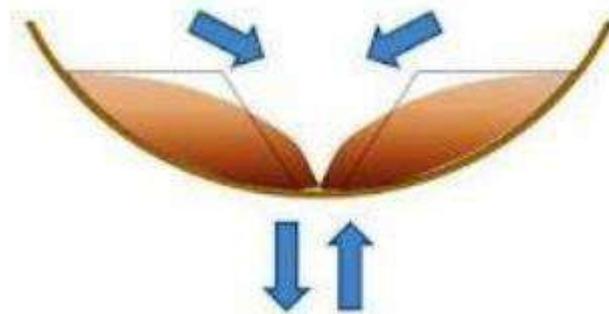
Cañar Tiviano, Edwin Santiago (2017), explica que el límite líquido “se refiere al contenido de humedad que está representada en porcentaje en el cual un suelo puede estar entre el estado líquido y plástico, se lo determina con un ensayo denominado Casagrande. Este artefacto consiste en una copa de bronce y una base de hule duro, el límite líquido se define arbitrariamente por tal motivo es necesario que las dos mitades de una pasta de suelo de 10 mm de espesor fluya y se unan en una longitud de 12 mm. El ensayo consiste en que se debe dejar caer la copa sobre la base a una altura de 10mm, el número de golpes es de 25, como sugerencia se debe realizar al menos tres pruebas para el mismo suelo ya que es difícil satisfacer el cierre de 12 mm”. (p.14)

**Figura 2:** Copa Casagrande



**Fuente:** Módulos de construcción. 2012

**Figura 3:** Desplazamiento de la muestra de suelo y cierre del surco en la cuchara de Casagrande



**Fuente:** GEOSUPPORT. Estudios geotécnicos en los ámbitos de la edificación y la ingeniería civil.

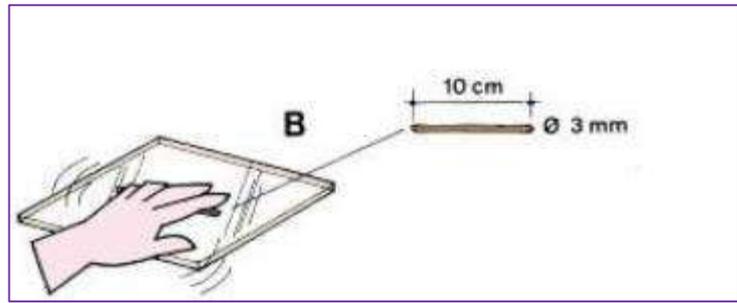
#### 2.2.1.1.5. Limite Plástico

Juárez Badillo y Alfonso Rodríguez (1973), explica que para “la prueba para la determinación del límite plástico, tal como Atterberg la definió, no especifica el diámetro a que debe llegarse al formar el cilindro de suelo requerido. Terzaghi

agrego la condición de que el diámetro sea de 3 mm (1/8”). La formación de los rollitos se hace usualmente sobre una hoja de papel totalmente seca, para acelerar la pérdida de humedad del material; también es frecuente efectuar el rolado sobre una placa de vidrio. Cuando los rollitos a los 3 mm, se doblan y presionan, formando una pastilla que vuelve a rolarse, hasta que en los 3 mm justos ocurra el desmoronamiento y agrietamiento; en tal momento se determinara rápidamente su contenido de agua, que es el límite plástico.

Cañar Tiviano, Edwin Santiago (2017), dice que “el límite plástico se refiere al contenido de humedad que está representada en porcentaje del suelo seco, en el cual un suelo puede cambiar del estado plástico a un estado semisólido y de un estado semisólido a un estado sólido. Este límite se considera como el más bajo contenido de humedad. El procedimiento consiste en enrollar elipsoidalmente una masa de suelos sobre una placa de vidrio, en un diámetro de 3,2 mm, luego el suelo se vuelve quebradizo por pérdida de humedad, se mide el contenido de humedad, si el suelo presenta una plasticidad bien definida se le agrega más agua la pasta de suelo restante en la cápsula y se realiza el ensayo de límite líquido. Cuando el suelo presenta poca plasticidad, hay que realizar el ensayo del límite líquido y de inmediato con la pasta de suelo restante se realiza el ensayo de límite plástico, es recomendable hacer el procedimiento 3 veces para obtener mejores resultados”. (p.15)

**Figura 4:** Limite plástico



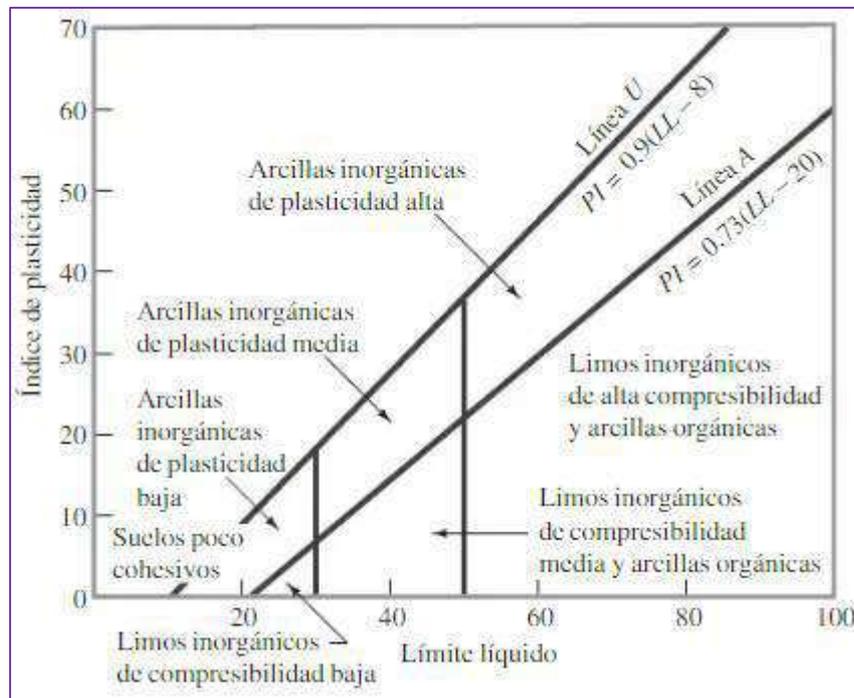
**Fuente:** Módulos de construcción. 2012

#### 2.2.1.1.6. Carta de plasticidad

Braja M. Das (2001), explica que “los límites líquido y plástico se determinan por pruebas de laboratorio relativamente sencillas que proporcionan información sobre la naturaleza de los suelos cohesivos. Las pruebas han sido utilizadas ampliamente por los ingenieros para correlacionar varios parámetros físicos del suelo, así como para la identificación del mismo. Casagrande (1932) estudió la razón del índice de plasticidad con el límite líquido de una amplia variedad de suelos naturales. Sobre la base de los resultados de la prueba, se propuso una carta de plasticidad como la que se muestra en la figura. La característica importante de este cuadro es la línea A empírica que está dada por la ecuación  $PI = 0.73 (LL - 20)$ . La línea A separa las arcillas inorgánicas de los limos inorgánicos. Las gráficas de los índices de plasticidad contra límites líquidos de arcillas inorgánicas se encuentran por encima de la línea A, y las de limos inorgánicos se encuentran por debajo de esta línea. Los limos orgánicos se grafican en la misma región (por debajo de la línea A y con LL que va de 30 a 50), como los limos inorgánicos de compresibilidad media. Las arcillas orgánicas parcela se grafican en la misma región que los limos inorgánicos de alta compresibilidad (por debajo de la línea A y LL mayor de 50). La información proporcionada en la carta de plasticidades de

gran valor y es la base para la clasificación de los suelos de grano fino en el Sistema de Clasificación Unificado de Suelos”. (p.73)

**Figura 5:** Carta de plasticidad



**Fuente:** Braja M. Das. 2001.

### 2.2.2. Subrasante

Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos (2013), dice que “la subrasante es el asiento directo de la estructura del pavimento y forma parte del prisma de la carretera que se construye entre el terreno natural allanado o explanada y la estructura del pavimento. La subrasante es la capa superior del terraplén o el fondo de las excavaciones en terreno natural, que soportará la estructura del pavimento, y está conformada por suelos seleccionados de características aceptables y compactados por capas para constituir un cuerpo estable en óptimo estado, de tal manera que no se vea afectada por la carga de diseño que proviene del tránsito. Su capacidad de soporte en condiciones de servicio, junto con el tránsito y las

características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, constituyen las variables básicas para el diseño de la estructura del pavimento que se colocará encima. En la etapa constructiva, los últimos 0.30m de suelo debajo del nivel superior de la subrasante, deberán ser compactados al 95% de la máxima densidad seca obtenida del ensayo proctor modificado” (p.23)

“Con el objeto de determinar las características físico-mecánicas de los materiales de la subrasante se llevarán a cabo investigaciones mediante la ejecución de pozos exploratorios o calicatas de 1.5 m de profundidad mínima; el número mínimo de calicatas por kilómetro. Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada, dentro de la faja que cubre el ancho de la calzada, a distancias aproximadamente iguales; para luego, sí se considera necesario, densificar la exploración en puntos singulares del trazo de la vía.” (p.30)

**Tabla 7:** Número de Calicatas para Exploración de Suelos

| <b>Tipo de Carretera</b>  | <b>Profundidad (m)</b>                             | <b>Número mínimo de Calicatas</b>   | <b>Observación</b>   |
|---|--|---|--|
| <b>Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles</b> | 1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li> <li>•Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li> <li>•Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido</li> </ul> | Las calicatas se ubicarán Longitudinalmente y en forma alternada |

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| <p><b>Carreteras Duales o Multicarril:</b></p> <p><b>Carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles</b></p> | <p>1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li> <li>•Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido.</li> <li>•Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido</li> </ul> |   |
| <p><b>Carreteras de Primera Clase:</b></p> <p><b>Carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.</b></p>                          | <p>1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>•4 calicatas x km</li> </ul>  |   |
| <p><b>Carreteras de Segunda Clase:</b></p> <p><b>carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles</b></p>                            | <p>1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>•3 calicatas x km</li> </ul>  | <p>Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada</p> |
| <p><b>Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.</b></p>  |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>•2 calicatas x km</li> </ul>  |   |

|                             |                         |                   |  |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------|--|
| <b>Carreteras de Bajo</b>   | 1.50m respecto al nivel |                   |  |
| <b>Volumen de Tránsito:</b> | de subrasante del       | •1 calicatas x km |  |
| <b>carreteras con un</b>    | proyecto                |                   |  |
| <b>IMDA = 200veh/día,</b>   |                         |                   |  |
| <b>de una calzada.</b>      |                         |                   |  |

**Fuente:** Elaboración Propia, teniendo en cuenta el Tipo de Carretera establecido en el RD 037-2008-MTC/14 y el Manual de Ensayo de Materiales del MTC

Cañar Tiviano Edwin (2017), explica que la subrasante es “la capa que soporta la estructura del pavimento, puede ser un terreno en condiciones naturales para implantar cimientos o la capa explanada de una carretera, por ende, debe soportar las cargas producidas por el tránsito, el espesor de la estructura del pavimento depende de la composición y las propiedades de la sub-rasante. La sub-rasante debe soportar cargas vehiculares en su construcción, proveer una resistencia a la compactación de capas de la estructura del pavimento y soportar continuamente las cargas de tránsito durante su vida útil” (p.9).

### 2.2.3. Compactación

Cañar Tiviano Edwin (2017), dice que “la compactación es un tratamiento para lograr la estabilidad volumétrica, siendo un tratamiento eficaz y económico para mejorar los suelos y otros materiales para que resistan las solicitaciones indicadas con deformaciones permanentes admisibles, logrando como objetivo que los materiales que forman la infraestructura no experimenten asientos irregulares por las solicitaciones mencionadas. La compactación logra una disminución de los huecos del suelo ocupados por aire”. (p.15)

Ojedas Farias O. et al. (2018), explica que la compactación es un “proceso mecánico que mejora las características de resistencia de los materiales que constituyen secciones estructurales en carreteras, para ello se transfiere una energía de impacto

por volumen unitario de suelo obteniendo una curva de compactación de la cual se extraen los parámetros de masa volumétrica seca máxima y humedad óptima del material. Para este trabajo la relación entre la densidad seca máxima y la humedad óptima fue determinada en cada mezcla, esto con el fin de analizar la variación en sus valores como consecuencia de las adiciones y como datos para la posterior elaboración de especímenes suelo-cemento. Las pruebas fueron efectuadas como lo establece el procedimiento para materiales granulares en moldes de 944 cm, empleando la compactación dinámica con pisón de 2.5 kg de peso y 30.48 cm de altura de caída (ASTM D558, 2011)”. (p.197)

#### **2.2.4. Ensayo California Bearing Ratio (CBR)**

Ojedas Farías O. et al. (2018), afirma que “el CBR es una prueba de resistencia a la penetración que compara la capacidad de soporte de un material en estudio con uno de piedra triturada bien graduada como referencia (100% de CBR), para ello se aplica carga a un pistón con una deformación de 1.3 mm por minuto registrando las cargas desde 0.64 mm a 7.62 mm; En este trabajo se determinó el valor de soporte california (CBR) en cada una de las mezclas descritas anteriormente, para ello, por cada mezcla fueron compactados dinámicamente en moldes de acero tres especímenes por prueba a contenido óptimo de agua, para posteriormente colocarles las sobrecargas que establece la normativa y sumergirlos en agua durante 24 h simulando las condiciones más críticas, seguido de su ensayo en la prensa de carga a la velocidad de deformación anteriormente descrita (ASTM D1883, 2016)”. (p.197)

Cañar Tiviano Edwin (2017), dice que el ensayo inicio como un “método de dimensionamiento de firmes flexibles para proyectos de pistas de vuelo y calles de rodadura de aeropuertos, por tal razón se podría decir que es el ensayo más utilizado en todo el mundo para determinar la capacidad de soporte para los distintos tipos de

proyectos viales. Este ensayo trata que el suelo debe someterse a la introducción de un vástago cilíndrico a una velocidad constante, luego el suelo compactado se sumerge en el agua para medir su hinchamiento en el proceso de saturación, el resultado obtenido es un índice CBR que es la capacidad de soporte de un suelo que se representa en porcentaje de la presión ejercida por un pistón sobre el suelo que está relacionado con la presión de una muestra tipo a una velocidad constante”. (p.16)

**Tabla 8:** Categorías de Sub-rasante

| CATEGORIAS DE SUB-RASANTE |                       |              |
|---------------------------|-----------------------|--------------|
| TIPO                      | CATEGORIA             | CBR          |
| S0                        | SUB-RASANTE MUY POBRE | CBR < 3%     |
| S1                        | SUB-RASANTE POBRE     | CBR = 3-5%   |
| S2                        | SUB-RASANTE REGULAR   | CBR = 6-10%  |
| S3                        | SUB-RASANTE BUENA     | CBR = 11-19% |
| S4                        | SUB-RASANTE MUY BUENA | CBR > 20%    |

**Fuente:** Manual de Carreteras, Suelos y Pavimentos. Biblioteca Nacional del Perú.

Pg. 27. Lima 2014.

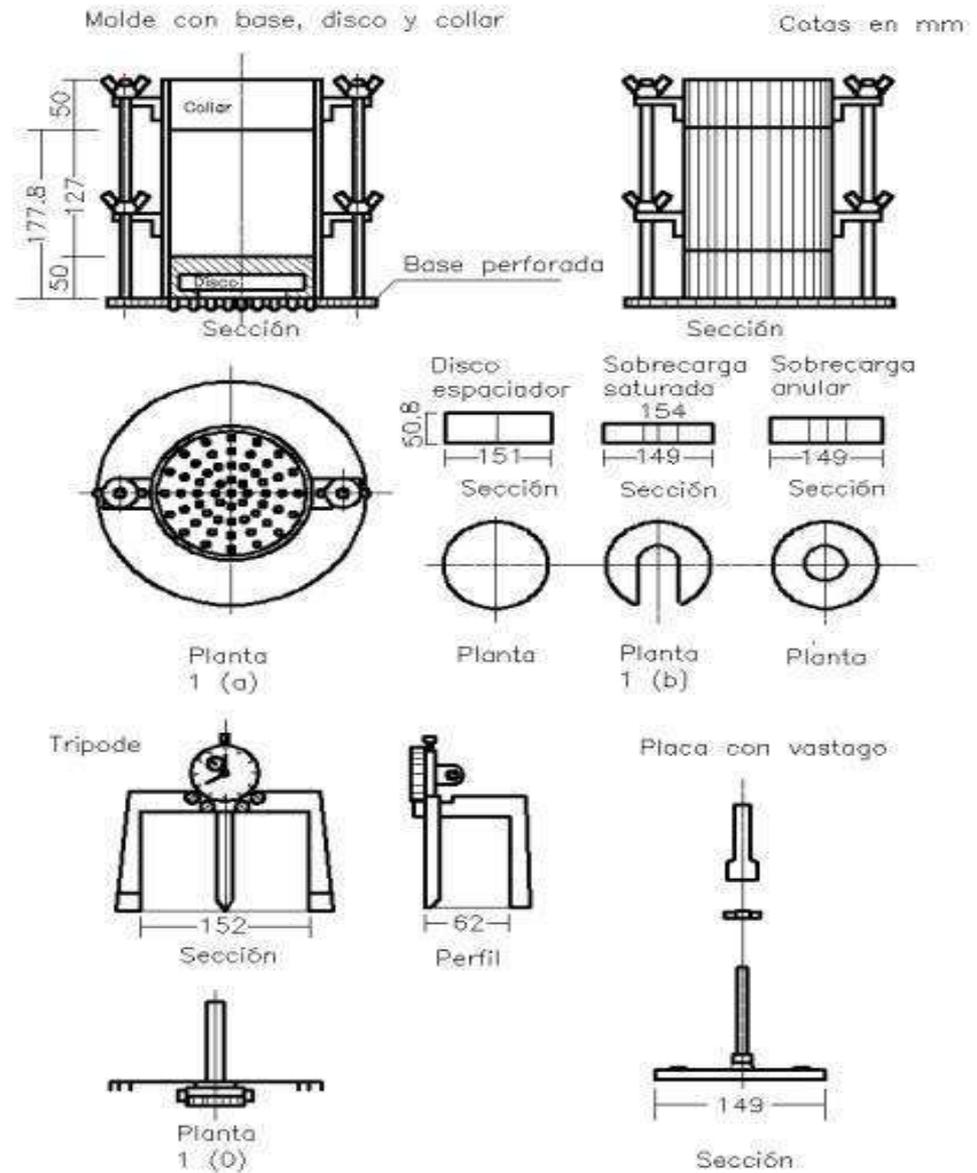
Terrones Cruz, Andrea Thatiana (2018) afirmo lo siguiente

El ensayo de C.B.R. se emplea para evaluar la capacidad portante de terrenos compactados como terraplenes, capas de firme explanadas, así como en la clasificación de terrenos. Las siglas CBR significan California Bearing Ratio y fue desarrollado, antes de la segunda guerra mundial, por el Departamento de Transportes de California. El número CBR se obtiene como la relación de la carga unitaria en kilos/cm<sup>2</sup> (libras por pulgadas cuadrada, (psi)) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón circular de 19.35 cm<sup>2</sup> dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con

respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturada. El número CBR usualmente se basa en la relación de carga para una penetración de 2.54 mm (0.1”), sin embargo, si el valor del CBR para una penetración de 5.08 mm (0.2”) es mayor dicho valor debe aceptarse como valor final de CBR. El equipo necesario para la realización del ensayo, es el siguiente:

- Moldes cilíndricos de acero de 6” de diámetro interior con un collarín de 2” de alto y base perforada.
- Un disco espaciador, de metal, de forma circular, de 5 15/16” de diámetro exterior y de  $2.1416 \pm 0.005$ ” de espesor, para insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.
- Un martillo de 10 lb. Y una altura de caída de 18”.
- Pisón de compactación.
- Prensa CBR, utilizada para forzar la penetración de un pistón en el espécimen.

**Figura 6:** Equipo requerido para ensayo CBR



**Fuente:** Manual de ensayos de materiales, MTC. 2013

### 2.2.5. Puzolanas:

Rodriguez (2015), explica que las “puzolanas, como material cementante suplementario aportan factores técnicos, económicos y ambientales en la producción del concreto, algunos de los más empleados en la actualidad son las puzolanas artificiales (subproductos contaminantes provenientes de procesos industriales). Una de las aplicaciones más importantes de las puzolanas es utilizarlas en sustitución

parcial en mezclas de concreto, debido a que, en conjunto con el cemento Portland contribuyen a mejorar las propiedades del concreto en estado fresco, y endurecido principalmente, debido a sus reacciones puzolánicas. La mayoría de las puzolanas tienen un rasgo en común: contienen sílice reactiva, la cual al combinarse con hidróxido de calcio en presencia de humedad y a temperatura ambiente, forma silicatos de calcio hidratados (S-C-H) similares a los que se forman durante la hidratación del cemento Portland”. (p.74)

“Son materiales silíceos o aluminio – silíceos que reaccionan químicamente con cal hidratada a temperatura normal y en presencia de humedad para formar un material resistente, de endurecimiento lento” (Petermann & Saeed, 2012).

En la norma ASTM citada por Vega (2006), este define como puzolanas a los “materiales naturales o artificiales sílice - amorfos o aluminio - silíceos quienes por sí solos poseen poco o ningún valor cementante, pero cuando se han dividido finamente; son una especie de cemento natural que en presencia de agua reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos con propiedades cementantes”. Los materiales puzolánicas son “sólidos inorgánicos de naturaleza silícea o sílice aluminosa de origen natural o artificial, los cuales endurecen en agua al ser mezclados con hidróxido cálcico o cualquier otro material que pueda producir reacciones puzolánicas y que finalmente generan productos de hidrataciones estables, insolubles y de carácter cementante, además para que pueda producirse la reacción puzolánica es necesario que la sílice esté en estado amorfo”

### **2.2.5.1. Clasificación de Puzolana**

Acuña Giraldo, Carlos y Caballero Huaylla, Hugo (2018), dicen que “los materiales puzolánicos o adiciones activas de mayor interés en la industria del cemento pueden dividirse en dos grandes grupos: naturales y artificiales (subproductos industriales). Al primer grupo pertenecen las verdaderas puzolanas y las tobas volcánicas, así como una serie de otros productos naturales, que tienen en común un comportamiento similar frente a la cal. En el segundo grupo, están, principalmente, las escorias de altos hornos, las cenizas volantes y las arcillas calcinadas”. (p.68)

#### **2.2.5.1.1. Puzolana Natural**

Rodríguez (2015), manifiesta que las puzolanas naturales son “productos silíceos, este nombre se debe al alto contenido en silicio y aluminio. Son esencialmente las cenizas volcánicas de actividades volcánicas geológicamente recientes. El proceso de los materiales puzolánicos naturales incluye usualmente trituración, molienda y clasificación por tamaños, en algunos casos también se realiza una activación térmica, exceptuando las diatomitas todas las puzolanas naturales se derivan de rocas y minerales volcánicos”. (p. 79)

Allauca y Lung (2009), dice que “son productos minerales de compuestos sílice – luminosos de textura fina y estructura amorfa, lo que los hacen aptos para su uso como aditivos activos en la industria del cemento. El constituyente amorfo es vidrio producido por el enfriamiento de la lava, como la pómez, las tobas, la escoria y la obsidiana. Las puzolanas naturales son derivadas de erupciones volcánicas, excepto las tierras diatomáceas, las cuales son formadas por silicatos amorfos hidratados, derivados de los esqueletos de microorganismos acuáticos. Su estructura pobre cristalina es la que le da la reactividad a estos minerales, son difíciles de evaluar debido a su variación mineralógica, entre las principales

puzolanas naturales, tenemos las acumulaciones de cenizas generadas durante las erupciones volcánicas explosivas que luego por procesos geológicos de enterramiento estas cenizas se convierten en tobas”.

#### **2.2.5.1.2. Puzolana Artificial**

Rodríguez (2015), explica que “las puzolanas artificiales son el producto de diversos procesos industriales y agrícolas, generalmente como subproductos y materiales tratados térmicamente. Por otra parte, se tienen también las cenizas de la combustión de carbón, la sílice volatilizada (humo de sílice) durante ciertas operaciones metalúrgicas y escorias de alto horno, las cenizas volantes, los residuos de la calcinación de los esquistos y pizarras (arcillas calcinadas), ceniza de bagazo de caña de azúcar entre otros. Es por eso que se presenta problemas al momento de almacenarlo, causando problema medioambiental de aquí nace el interés de estudiar su uso en el concreto debido a sus propiedades”. (p.80)

Llamoga, 2017 dice que “las puzolanas artificiales son materiales que son el resultado de un tratamiento térmico adecuado, dentro de esta condición cabe distinguir dos grupos uno formado por materiales naturales silicatados de naturaleza arcillosa y esquistosa, que adquieren el carácter puzolánico por sometimiento a procesos térmicos y otro constituido por subproductos de determinadas operaciones industriales que en virtud de su naturaleza y de las transformaciones sufridas en las mismas, adquieren las propiedades puzolánicas. Dentro de esta denominación se incluyen los subproductos de determinadas operaciones industriales; tales como, residuos de bauxita polvos de chimeneas de altos hornos, cenizas volantes, etc. Las de mayor peso en la actualidad, en el mundo, son las cenizas volantes en función de las ventajas económicas y técnicas

que ofrecen ya que es un material de desecho con muy buenas propiedades puzolánicas”.

#### **2.2.5.1.3. Microsilice**

Rodríguez (2015), “es un subproducto de la reducción del cuarzo de alta pureza con carbón en hornos de arco eléctrico para la producción de silicio o aleaciones de ferro silicio. El material que es extremadamente fino es colectado por filtración de los gases de escape del horno, en filtros de mangas. El humo de sílice puede ser mezclado con el Clinker de cemento Portland en la cementera, o puede añadirse al concreto”. (p. 86)

Terrones Cruz, Andrea Thatiana (2018), afirma que “la micro sílice es un subproducto de la reducción del cuarzo de alta pureza con carbón en hornos de arco eléctrico para la producción de silicio o aleaciones de ferro silicio. Este material está constituido por una buena cantidad de sílice amorfa compuesta por partículas esféricas que se recolectan de los gases de escape de los hornos”. (p.52)

Vega (2006), determinó que este tipo de ceniza está formada por partículas vítreas muy finas con un área superficial de 20000m/kg y al ser la micro sílice extremadamente fina tiene alto contenido de sílice amorfa convirtiéndose en un material puzolánico altamente efectivo para reaccionar con la cal durante la hidratación del cemento y formar compuestos aglomerantes.

#### **2.2.6. Arcillas activadas o calcinadas artificialmente**

Las arcillas naturales por si solas no presentan actividad puzolánica a menos que su estructura cristalina sea destruida mediante un tratamiento térmico a temperaturas del orden de 600°C a 900°C. Mayormente estos materiales están formados por residuos

de la quema de ladrillos de arcilla y otros tipos de arcilla que son sometidas a temperaturas superiores a los 800°C (Llamoga, 2017).

### 2.2.6.1. Ceniza Volante

Terrones Cruz Andrea Thatiana dice que “las cenizas volantes, son un tipo de cenizas que se producen en la combustión de carbón mineral (lignito) fundamentalmente en las centrales termoeléctricas que utilizan carbón pulverizado como combustible.

La Norma ASTM C618 define dos clases de cenizas volantes: “las cenizas de clase F y las cenizas de clase C. La clase F se produce normalmente al quemar antracita o carbón bituminoso y tiene propiedades puzolánicas, pero no tiene propiedades aglomerantes La clase C de cenizas volantes se produce normalmente de la quema de lignito o carbón no bituminoso y además de las propiedades puzolánicas tiene algunas propiedades aglomerantes autógenas”.

**Tabla 9:** Requisitos químicos de las puzolanas.

| Ceniza   |      | Clase |    |    |
|--|------|-------|----|----|
|  |      | F     | C  | N  |
| SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | min% | 70    | 50 | 70 |
| SO <sub>3</sub>  | máx% | 5     | 5  | 4  |
| Contenido de Humedad   | máx% | 3     | 3  | 3  |
| Pérdida por calcinación  | máx% | 6*    | 6  | 10 |

\*Se puede emplear puzolana de clase F con contenidos de hasta 12% de Pérdida por calcinación si cuenta con registros de performance o resultados de ensayos de laboratorio aceptables

**Fuente:** ASTM C618, 2012.

Rodríguez (2015), “las cenizas volantes o fly ash se definen, como “un polvo fino con partículas principalmente esféricas, cristalinas, originadas por la combustión del carbón pulverizado, la cual tiene propiedades puzolánicas y que está compuesto fundamentalmente de SiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. El contenido de SiO<sub>2</sub> reactivo, debe ser al menos, 25% en masa. Previamente a su combustión, el carbón se pulveriza mediante molinos. Posteriormente, con o sin combustibles secundarios, se inyecta dentro del horno mediante una corriente de aire caliente a alta velocidad, y estando en suspensión, se quema por encima del punto de fusión de varios minerales, a una temperatura de 1500+/- 200°C”. (p. 84)

Rodríguez (2015), “las reacciones que se originan dependen no solamente de la temperatura, sino también del tipo de carbón, de la finura de molido y de la permanencia en la zona caliente del hogar. La producción de energía eléctrica a partir de centrales termoeléctricas que emplean carbón (antracita pulverizada u otros carbones bituminosos) como combustible origina fundamentalmente dos tipos de residuos: las cenizas volantes y las cenizas de hogar o escorias, cuya principal diferencia es el tamaño de las partículas. Las cenizas volantes constituyen típicamente el 80% del total de ceniza, correspondiendo el 20% restante a cenizas de hogar o de fondo. El total en peso de las cenizas volantes, producidas en centrales térmicas es aproximadamente del 30% de la masa de carbón consumida. Los distintos tipos de carbón y quemadores que se emplean en estos procesos dan lugar a diferentes calidades de ceniza volante, algunas de las cuales, debido especialmente a sus propiedades puzolánicas, han demostrado ser útiles en la fabricación de concreto”. (p. 85)

### 2.2.6.2. Residuos Agrícolas

Según Terrones Cruz, Andrea Thatiana (2018), “estos materiales son el resultado de la combustión de los residuos agrícolas como la ceniza de cascarilla de arroz, las cenizas del bagazo y la paja de la caña de azúcar. Cuando son quemados convenientemente, se obtiene un residuo mineral rico en sílice y alúmina, cuya estructura depende de la temperatura de combustión” (p.53).

**Figura 7:** Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar



**Fuente:** Terrones Cruz, Andrea Thatiana. 2018

### 2.2.7. Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar (CBCA)

Hernández (2011), manifiesta que “la ceniza del bagazo de caña de azúcar es un subproducto de los desechos de la fabricación del azúcar. Se utiliza como combustible que sirve para calentar las calderas para obtener el azúcar. Su propiedad como cementante permite ser usado como un material puzolánico, que mejora las propiedades de los productos con los que se reemplaza o combina. Además, hay que conocer que la fibra de la caña de azúcar representa entre un 40 – 50% de su volumen de toda la planta”.

Chacón (2011), explica que “a nivel internacional el país que más produce y exporta azúcar es Brasil (primer productor mundial) con un 20%, seguido por India (segundo productor mundial), Tailandia y China, que con otros países asiáticos conforman el 40% de la producción mundial”.

Rodríguez (2015), define que “la ceniza de bagazo de caña de azúcar es un subproducto industrial, generado del proceso de la elaboración de azúcar y derivados, cuando es incinerado convenientemente, se obtiene un residuo mineral rico en sílice y alúmina, cuyas propiedades puzolánicas depende principalmente de la temperatura de combustión, que debe oscilar entre 400 °C – 800 °C. Las cenizas que se producen bajo estas condiciones son consideradas de buena calidad” (p.98).

Según Cadena (2014), “investigaciones recientes a nivel mundial, demostraron la posibilidad de utilizar la ceniza de bagazo de caña de azúcar como un compuesto que se le adiciona al cemento Portland, con la finalidad de mejorar sus propiedades físicas y químicas del concreto, sustituyendo en un determinado porcentaje el contenido de cemento con ceniza de bagazo de caña de azúcar en morteros y en concretos sin afectar su resistencia”. (p. 19).

Según Giraldo (2012), “la industria azucarera genera anualmente enormes cantidades de residuos. Entre estos se encuentra la denominada ceniza de bagazo de caña (CBC) que resulta de la combustión de este subproducto y cuya dispersión en el ambiente contamina el aire y afecta la salud humana. En varios estudios se ha demostrado que la CBC presenta un elevado contenido de sílice (SiO<sub>2</sub>) y alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), que le dan una buena actividad puzolánica como sustituto parcial del cemento portland y constituye una valiosa alternativa que representa un doble beneficio, por un lado, valoriza un desecho y por otro, contribuye a la reducción de gases de efecto

invernadero liberados durante la manufactura de cemento (0.85-1 kg CO<sub>2</sub>/kg cemento)”. (p.1).

### **2.2.7.1. Características**

Según Terrones Cruz, Andrea Thatiana (2018), “por su composición química la CBCA tiene altos contenidos de materiales puzolánicos como el dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>) y otros óxidos que producen la actividad puzolánica, lo que permiten trabajarlo como material cementante para estabilización de suelos o en morteros” (p.54).

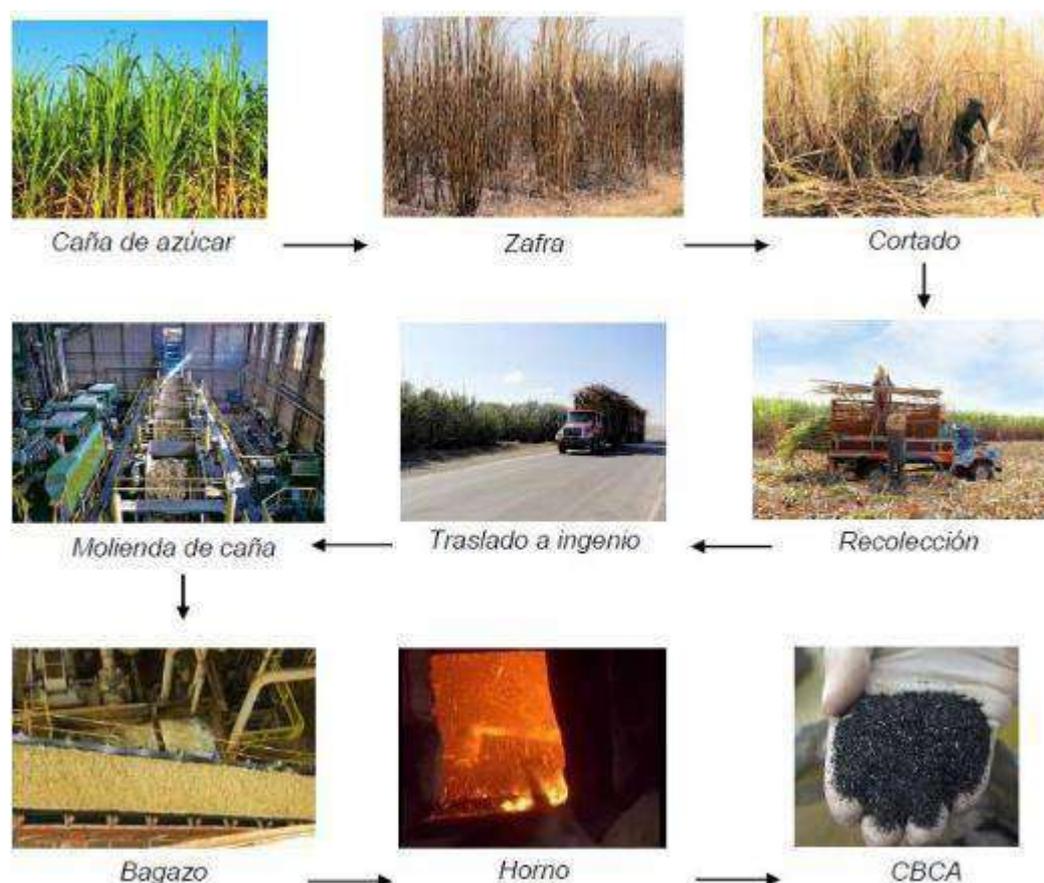
Salazar (2011), dice que “las puzolanas son materiales sin capacidad de actividad hidráulica por sí solos, por esto se deben de mezclar con activadores alcalinos para generar compuestos con propiedades aglomerantes, dando a lugar a cementantes hidráulicos como es la cal”.

Hernández (2011), explica que “los estudios indican que el cemento o cal y la CBCA, pueden modificar las propiedades mecánicas y puede mejorar otras como la penetración de la humedad hacia los concretos, además en el caso de suelos susceptibles a fallas estos mismos activados con materiales químicos formar geo polímeros que le añadan resistencia al suelo”.

### **2.2.7.2. Producción**

Según Ma-Tay (2014), “el bagazo de la caña se genera de la molienda de la caña y extracción del jugo, que posteriormente es trasladado a la zona del horno para el quemado para además producir energía eléctrica y combustible. Al finalizar este proceso se obtiene la ceniza del bagazo de la caña, la cual puede aprovecharse para fines en la construcción”.

**Figura 8:** Proceso de producción de ceniza de bagazo de caña de azúcar



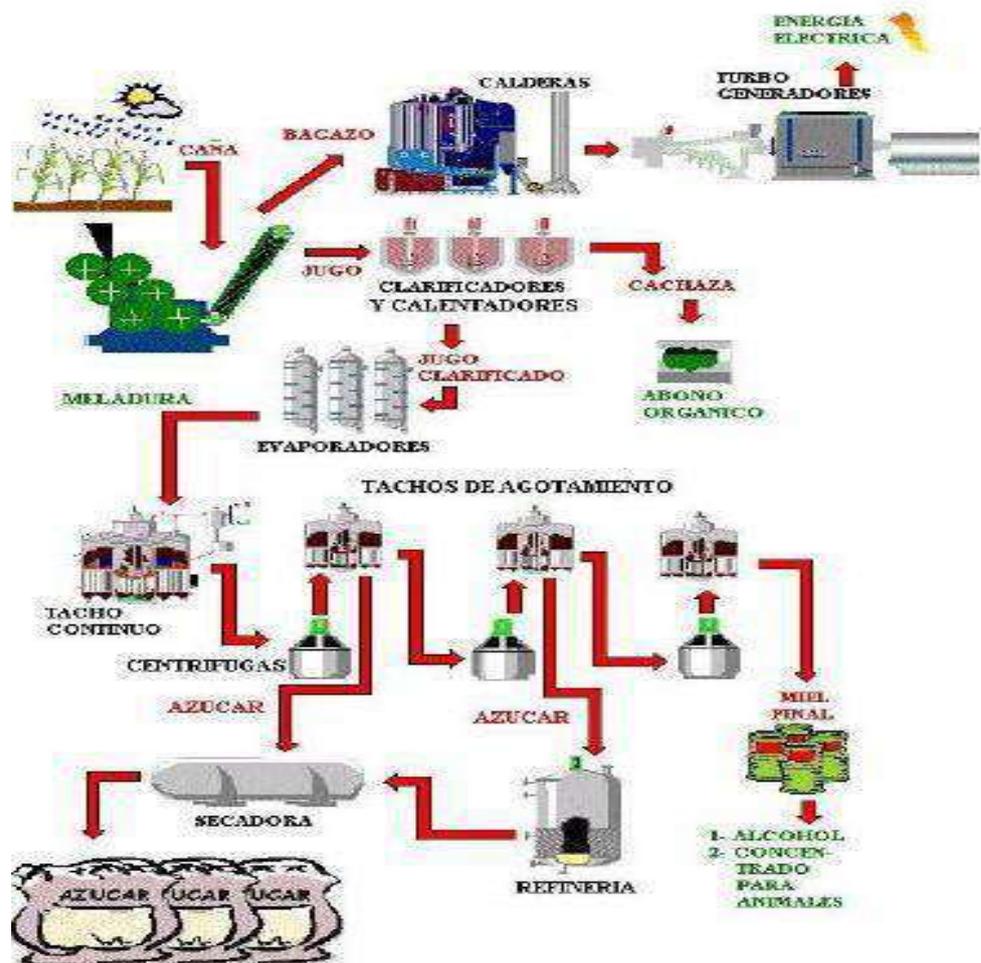
**Fuente:** May-Tay, 2014.

Según Rodríguez (2015), afirma que:

“El proceso de obtención de la CBCA empieza con el ingreso de la caña de azúcar al ingenio azucarero donde se extrae el jugo, éste se clarifica y luego se cristaliza para separar el azúcar. La caña de azúcar tarda de 12 a 14 meses, desde su siembra hasta su cosecha. El medio utilizado para el corte de la caña es a través de maquinaria o manual. Luego la extracción se hace generalmente en un molino que pasa la caña entre tres o cuatro masas de acero, que exprimen los tallos y sacan todo el jugo. El residuo sólido fibroso se llama bagazo, la cual es el material fibroso de la caña que es almacenado generalmente bajo techo. A continuación, el bagazo con la ayuda de cintas transportadoras se lleva hasta un horno para quemarlos como

combustible, para la generación de energía. Estas calderas alcanzan temperaturas de 800°C a 1000°C y de las calderas se obtiene la ceniza de bagazo de caña de azúcar, como un residuo que es almacenado en pozas, para luego ser transportado en volquetes a los campos de sembrío para ser usado como fertilizante. Otra parte del bagazo pasa por hornos a vapor, donde el bagazo pasa por temperaturas a 300 °C producto de los vapores. Esto hace queden parte de bagazo sin sufrir alguna combustión. Esto significa que, lo que desecha diariamente la Industria San Jacinto S.A. es una mezcla de los desechos de las calderas y restos de las máquinas vapor, conteniendo en parte, material de bagazo sin sufrir combustión alguna”.

**Figura 9:** Proceso industrial de la caña de azúcar



**Fuente:** TESIS “Comportamiento Mecánico y Físico del Mortero a base de CBCA como árido en Aplanados en Muros”, Hernández, 2011.

### **2.2.7.3. La Ceniza De Caña De Azúcar (CBCA) como Material Puzolánico**

Según Acuña Giraldo, Carlos y Caballero Huaylla, Hugo (2018), “la actividad puzolánica de las cenizas depende de algunos parámetros como: el tamaño de las partículas, la temperatura de calcinación, naturaleza cristalina y la composición química. Estudios recientes han demostrado que los desechos de la industria azucarera, principalmente ceniza de bagazo de caña de azúcar, tienen actividad puzolánica derivado de su alto contenido de sílice amorfa en este material” (p.85).

Según Rodríguez (2015), “el bagazo es un material fibroso considerado como residuo sólido, suele contener del 40 - 50 % de humedad. El bagazo generalmente puede satisfacer todos los requerimientos de combustible de un ingenio azucarero. Un análisis representativo del bagazo seco es de 44.47 % de carbón (C), 6.35 % de hidrógeno (H), 49.7 % de oxígeno (O) y 1.4 % de ceniza”. (p. 36).

Según Hernández, (2011) en la tesis “Comportamiento Mecánico y Físico del Mortero a base de CBCA como árido en Aplanados en Muros”, define que:

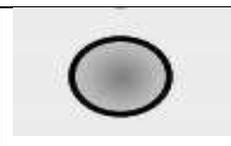
- ✓ A 100°C se presenta una pérdida inicial de masa, resultante de la evaporación de agua absorbida.
- ✓ A 350°C inicia una ignición del material más volátil, aquí es donde inicia la quema del bagazo.
- ✓ Entre 400°C a 500°C el carbón residual y los óxidos se forman, se observa una pérdida más importante de masa. Después de esta etapa la ceniza se convierte en amorfa, rica en sílice.

- ✓ El uso de temperaturas por arriba de los 700°C puede llevar a la formación de cuarzos, y niveles aún más elevados de temperatura, pueden crear otras formas cristalinas.
- ✓ Encima de los 800°C, es sílice presente en la ceniza del bagazo de caña de azúcar es esencialmente cristalino.

#### 2.2.7.4. Mecanismo de reacción

En la investigación de Vidal (2014), se observó que la quema de la ceniza a altas temperaturas como 1000° C el índice de puzolanidad presenta una disminución, modificando la estructura amorfa de la sílice. Para lo que posteriormente se les dio tratamiento térmico a temperaturas entre 500°C y 700° C, lo que elevó su grado de puzolanidad además de la resistencia a la compresión de las probetas que fueron ensayadas.

**Tabla 10:** Influencia de la temperatura y el tiempo de quema

|   |   |
|---|---|
|  | <b>A 100° se presenta una pérdida inicial de masa, resultante de la evaporación de agua absorbida.</b>  |
|  | A 350°C Inicia una ignición del material más volátil, aquí es donde inicia la quema de bagazo.  |
|  | Entre 400° a 500°C el carbón residual y los óxidos se forman, se observa una pérdida más importante de masa, después de esa etapa la ceniza se convierte en amorfa, rica en sílice. |
|   | El uso de temperaturas por arriba de los 700°C puede llevar a la formación de cuarzos, y niveles  |

|   |   |
|---|---|
|  | aún más elevados de temperatura, pueden crear otras formas cristalinas.                                       |
|  | Encima de los 800°C la sílice presente en la ceniza del bagazo de caña de azúcar es esencialmente cristalino. |

**Fuente:** Vidal, 2014.

#### 2.2.7.5. Composición química

Según Hernández (2011), dice que “la composición de la ceniza varía de acuerdo al tiempo, el suelo y el tipo y cantidad de fertilizante utilizado en su producción. La cantidad de ceniza de bagazo de caña depende de las condiciones climatológicas”. A continuación, en las Tablas 11 y 12 se muestra la composición química de las cenizas CBCA producidas en Cuba y Perú, respectivamente:

**Tabla 11:** Composición química de la ceniza de bagazo de caña de azúcar cubano

| NOMBRE   | FORMA ABREVIADA                                   | PORCENTAJE % |
|--|---|--------------|
| <b>Sílice</b>                                  | SiO <sub>2</sub>                                  | 56.4         |
| <b>Óxido Férrico</b>                           | FeO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5.15         |
| <b>Óxido de Calcio +<br/>Óxido de Magnesio</b> | CaO + MgO   | 9.08         |
| <b>Álcalisis</b>                               | Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O              | 12.6         |

**Fuente:** Hernández, 2011.

| Ceniza       | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | Fe <sub>2</sub> | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> |
|--------------|------------------|--------------------------------|-------|------|-----------------|------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| Paja de caña | 64.71            | 4.21                           | 13.77 | 6.22 | 1.37            | 6.87             | 1.00              | 0.27                          | 0.01            |
| Bagazo       | 67.52            | 3.50                           | 7.60  | 3.50 | 8.95            | 3.75             | 2.17              | 1.70                          | 0.03            |

**Tabla 12:** Composición química de la ceniza de bagazo de caña de azúcar peruano

**Fuente:** Hernández, 2011.

En ambas tablas se puede apreciar que las cenizas de bagazo de caña de azúcar presentan un alto porcentaje de contenido de Sílice lo que lo hace un buen material puzolánico (Hernández, 2011).

La Tabla 13 muestra las composiciones químicas en estudios elaborados por Martirena, Ganesan y Oliveira de Paula donde se aprecia que los óxidos fundamentales SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> son los que predominan en las cenizas de bagazo de caña de azúcar.

**Tabla 13:** Características químicas del CBCA

| Compuesto                      | Investigadores |         |          |
|--------------------------------|----------------|---------|----------|
|                                | Martirera      | Ganesan | Oliveira |
| SiO <sub>2</sub>               | 72.74          | 64.15   | 83.77    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>2</sub> | 5.26           | 9.05    | -        |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3.92           | 5.52    | 6.53     |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.32           | -       | 1.16     |
| CaO                            | 7.99           | 8.14    | 1.18     |
| MgO                            | 2.78           | 2.28    | -        |
| SO <sub>3</sub>                | 0.13           |         | 0.68     |
| K <sub>2</sub> O               | 3.47           | 1.35    | 6.146    |

|                               |      |      |  |
|-------------------------------|------|------|--|
| Na <sub>2</sub> O             | 0.84 | 0.92 |  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 1.59 |      |  |
| Perdida por ignición          | 0.77 | 4.90 |  |

**Fuente:** Tesis Elaborada por Eduardo Rios Gonzales en la Universidad de Xalapa.

En ambas tablas se puede apreciar que las cenizas de bagazo de caña de azúcar presentan un alto porcentaje de contenido de Sílice lo que lo hace un buen material puzolánico (Hernández, 2011).

Terrones Cruz, Andrea Thatiana (2018), dice que “la producción de ceniza es constante, su aplicación como puzolana obedece a su composición química, ya que los óxidos fundamentales SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> representan aproximadamente el 70% de su composición, los que producen la actividad puzolánica, en la Tabla N° 14 se puede apreciar los requisitos físicos de las puzolanas según su clasificación”. (p.58).

**Tabla 14:** Requisitos físicos de las puzolanas

| REQUISITOS   | CLASE           |                 |                 |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|
|  | N               | F               | C               |
| <b>Fineza:</b>   |                 |                 |                 |
| Cantidad retenida en el tamizado via húmeda en la malla de 45 µm (N° 325), % máx.  | 34              | 34              | 34              |
| <b>Índice de actividad resistente<sup>a</sup></b>  |                 |                 |                 |
| Con cemento Portland, a 7 días, % mín. del control   | 75 <sup>b</sup> | 75 <sup>b</sup> | 75 <sup>b</sup> |
| Con cemento Portland, a 28 días, % mín. del control  | 75 <sup>b</sup> | 75 <sup>b</sup> | 75 <sup>b</sup> |
| Demanda de agua, máx., porcentaje del control.   | 115             | 105             | 105             |
| <b>Estabilidad: <sup>c</sup></b>   |                 |                 |                 |
| Expansión o contracción en autoclave, % máx.   | 0.8             | 0.8             | 0.8             |
| <b>Requisitos de uniformidad:</b>  |                 |                 |                 |
| La densidad y la fineza de muestras individuales no deben variar del promedio establecido por diez ensayos, o por todos los ensayos precedentes, si el número es menor que diez, por más de: |                 |                 |                 |
| Densidad, máxima variación del promedio, %   | 5               | 5               | 5               |
| Porcentaje retenido en 45 µm (N° 325), variación máx., puntos de porcentaje del promedio.  | 5               | 5               | 5               |

**Fuente:** ASTM C618, 2012.

### 2.2.8. Estabilización de Suelo

Según Cañar Tiviano Edwin (2017), la estabilización de un suelo es un “proceso que tiene como objetivo mejorar sus propiedades como su resistencia a la deformación, disminuir su sensibilidad al agua, controlar la erosión y los cambios de volumen. Existe una gran mayoría de suelos que necesitan modificar sus propiedades, se logra una mejoría por medios mecánicos, por drenaje, por calor y por medios químicos, los diferentes tipos de suelos y sus composiciones hacen que cada método resulte solo aplicable a un número limitado de suelos y por lo tanto la inversión económica es diferente para cada tipo de estabilización por lo que se debe reconocer que la estabilización no es una herramienta ventajosa en todos los casos, hay que tomar siempre en cuenta las propiedades que se desee mejorar, el esfuerzo y la inversión económica que se debería realizar. Las propiedades de los suelos más estudiados cuando se los estabilizan son: Estabilidad Volumétrica, Resistencia, Permeabilidad, Compresibilidad y Durabilidad”. (p.11)

Vásquez Cabrera, Alexander Mauricio (2018), lo define “como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general se realizan en los suelos de sub rasante inadecuado o pobre, en este caso son conocidas como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos. En cambio, cuando se estabiliza una sub base granular o base granular, para obtener un material de mejor calidad se denomina como sub base o base granular tratada (con cemento o con cal o con asfalto, etc.)”. (p.3)

Para Ramos Vasquez, Juan David y Lozano Gomez, Juan Pablo (2019), explica que “para comprender el análisis de una estabilización del suelo es necesario conocer

algunos conceptos básicos que permitan una mejor comprensión de los temas relacionados con suelos cohesivos, gravas, arenas y estabilización. En este apartado se abordan los conceptos y normas que están plenamente compenetradas a la realización de la investigación. Ya que esta investigación tiene un referente especial a las obras horizontales con particularidad, se efectuará un apartado referente a los pavimentos, con el fin de lograr una debida adecuada comprensión.” (p.20)

Según Vásquez Cabrera, Alexander Mauricio (2018), la estabilización de suelos se define como “el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general se realizan en los suelos de sub rasante inadecuado o pobre, en este caso son conocidas como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos. En cambio, cuando se estabiliza una sub base granular o base granular, para obtener un material de mejor calidad se denomina como sub base o base granular tratada (con cemento o con cal o con asfalto, etc.)”. (p.3)

#### **2.2.8.1. Estabilidad Volumétrica**

Según Cañar Tiviano, Edwin Santiago (2017), “dirigida especialmente a los suelos expansivos que presentan problemas debido al cambio de humedad y variaciones estacionales, la estabilización es una alternativa para contrarrestar los cambios volumétricos, tomando en consideración un uso diferente de cargas, capas permeables e introducción de agua, con la estabilización se desea lograr una masa rígida, con sus partículas unidas por lazos suficientemente fuertes como para resistir las presiones internas de expansión. En la actualidad las soluciones para evitar cambios volumétricos consisten en introducir humedad al suelo en forma

periódica, aplicar cargas que equilibren la presión de expansión y utilizar membranas impermeables”. (p.10).

#### **2.2.8.2. Resistencia**

Según Cañar Tiviano, Edwin Santiago (2017), es “una de las formas más usuales para elevar la resistencia del suelo es la compactación, pero surge problemas cuando el suelo contiene importantes contenidos de materia orgánica, por lo que existen otros métodos como la precarga, drenaje, estabilización mecánica con mezclas de otros suelos, estabilización química con cemento, cal o aditivos líquidos. La resistencia de los suelos, con algunas excepciones, es en general más baja cuando mayor es su contenido de humedad”. (p.11).

#### **2.2.8.3. Permeabilidad**

Según Cañar Tiviano, Edwin Santiago (2017), “se puede modificar la permeabilidad de formaciones de suelo con métodos como la compactación y la inyección. En materiales arcillosos se hace uso de hidróxido de cal o yeso logrando un aumento correspondiente al valor de la permeabilidad, en cambio haciendo uso de defloculantes como los polifosfatos puede reducir la permeabilidad. Al compactar un suelo arcilloso con humedades bajas se podría obtener una alta permeabilidad en el suelo debido a que sus partículas no se disgregan y pueden resistir el esfuerzo de compactación, en cambio cuando más alta sea la humedad de compactación se obtendrán menores permeabilidades en el suelo compactado y este sería propenso a deformarse debido a que los grandes vacíos se eliminarían”. (p.11)

#### **2.2.8.4. Compresibilidad**

Según Cañar Tiviano, Edwin Santiago (2017), “la compresibilidad posee influencia en las propiedades de los suelos ya que un cambio en la compresibilidad modificaría la permeabilidad, dando como resultado una alteración de fuerzas existentes entre las partículas y una modificación de la resistencia del suelo al esfuerzo cortante provocando desplazamientos. [10] Hay que tener en cuenta que en el proceso de remoldear un suelo siempre va tener una modificación en su compresibilidad y este efecto se logra controlar con procesos de compactación”. (p.11)

#### **2.2.8.5. Durabilidad**

Según Cañar Tiviano, Edwin Santiago (2017), dice que “la resistencia que el suelo presenta a factores como a la exposición a la intemperie, a la erosión o a la abrasión del tráfico, esta última va asociado a suelos situados cerca de la superficie de rodamientos, sin embargo, estos problemas pueden afectar a los suelos naturales como también a los suelos estabilizados. [15] La estabilización contribuye a mejorar algunas propiedades y en muchos casos afectando a las características de otras” (p.12)

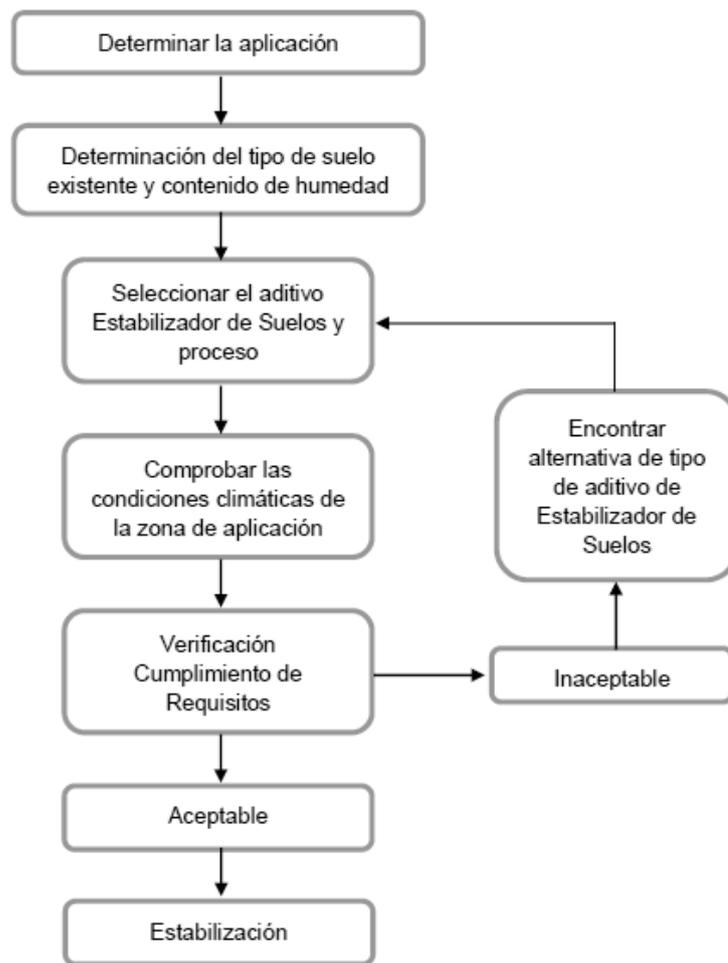
#### **2.2.9. Criterios geotécnicos para establecer la estabilización de suelos.**

Según Terrones Cruz, Andrea Thatiana (2018):

- ✓ Se considerarán como materiales aptos para las capas de la subrasante suelos con  $CBR \geq 6\%$ . En caso de ser menor (subrasante pobre o subrasante inadecuada), o se presenten zonas húmedas locales o áreas blandas, será materia de un Estudio Especial para la estabilización, mejoramiento o reemplazo.

- ✓ Cuando la capa de subrasante sea arcillosa o limosa y, al humedecerse, partículas de estos materiales puedan penetrar en las capas granulares del pavimento contaminándolas.
- ✓ La superficie de la subrasante debe quedar encima del nivel de la napa freática como mínimo a 0.60 m cuando se trate de una subrasante extraordinaria y muy buena; a 0.80 m cuando se trate de una subrasante buena y regular; a 1.00 m cuando se trate de una subrasante pobre y, a 1.20 m cuando se trate de una subrasante inadecuada.
- ✓ En zonas sobre los 4,000 msnm, se evaluará la acción de las heladas en los suelos.
- ✓ Para establecer un tipo de estabilización de suelos es necesario determinar el tipo de suelo existente.
- ✓ Los factores que se considerarán al seleccionar el método más conveniente de estabilización son: Tipo de suelo a estabilizar, uso propuesto del suelo estabilizado, tipo de aditivo estabilizador de suelos, experiencia en el tipo de estabilización que se aplicará, disponibilidad del tipo de aditivo estabilizador, disponibilidad del equipo adecuado y costos comparativos. (p.59).

**Figura 10:** Proceso de selección del tipo de estabilización



Fuente: MTC, 2013.

### 2.2.9.1. Tipo de Estabilización

Los tipos de estabilización son los siguientes:

#### a. Estabilización Mecánica

Según Terrones, Cruz Andrea Thatiana (2018), dice que la estabilización mecánica “pretende mejorar el material del suelo existente, sin cambiar la estructura y composición básica del mismo. Como herramienta para lograr el objetivo, se hace uso de la compactación”. (p.61)

Según Cañar Tiviano, Edwin Santiago (2017), “la estabilización mecánica inicia en los Estados Unidos desde la segunda década del siglo pasado, en donde se realizaron los primeros trabajos del estudio de los suelos a cargo de pioneros de la Mecánica de Suelos como: Terzaghi, Casagrande y Hogentogler. La estabilización mecánica refiere como una forma de tratamiento a la compactación, también considera a la mezcla de suelos, al diseñar la mezcla de suelos se toma en consideración la granulometría siendo el requisito más relevante puesto que tamaños muy grandes de sus partículas son difíciles de trabajar. La estabilización mecánica logra mejorar las propiedades del suelo sin que existan reacciones químicas”. (p.12).

**b. Estabilización Física**

Según Cañar Tiviano, Edwin Santiago (2017), “la estabilización física presenta como método de tratamiento a la mezcla de suelos logrando un mejoramiento y produciendo cambios físicos en el mismo, este tratamiento es muy factible, pero a pesar de obtener una mezcla diferente este debe ser compactado para obtener una masa duradera, en suelos granulares se debe mezclar con suelos de diferentes características como por ejemplo sus partículas deben ser más finas para aumentar su cohesión y que sus partículas no se muevan libremente, en cambio en suelos arcillosos se debería adicionar suelos friccionantes y así poder aprovechar la fricción interna de un suelo y la cohesión de las arcillas”. (p.12)

**c. Estabilización Química**

Cañar Tiviano, Edwin Santiago (2017), dice que existen diferentes minerales y sustancias que se puede utilizar entre las más comunes tenemos:

- ✓ El uso de cal disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos con un índice de plasticidad igual o mayor a 10. Las estabilizaciones con cal son recomendables para cualquier tipo de estructuras viales, aeropuertos, ferrocarriles y edificaciones, su ventaja es optimizar el tiempo de ejecución y su bajo costo.
- ✓ El uso de cal disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos con un índice de plasticidad igual o mayor a 10. Las estabilizaciones con cal son recomendables para cualquier tipo de estructuras viales, aeropuertos, ferrocarriles y edificaciones, su ventaja es optimizar el tiempo de ejecución y su bajo costo
- ✓ El uso de Cemento Portland ayuda a aumentar la resistencia de los suelos y se utiliza como recomendación para mezclarlos con suelos arenosos o gravas finas.
- ✓ Para materiales triturados que se requieran ser utilizados en el pavimento es aconsejable combinarlos con productos asfálticos.
- ✓ El cloruro de sodio y el cloruro de calcio brindan una impermeabilización y disminuye los polvos de los suelos, recomendables para suelos arcillosos y limosos.
- ✓ Para carpetas asfálticas los materiales a utilizar son las escorias de fundición, polímeros y hule de neumáticos éstos han logrado aumentar su resistencia significativamente, impermeabilizar su estructura y prolongar su vida útil. (p.13).

**d. Estabilización con ceniza volátiles de bagazo de caña de azúcar (CBCA)**

Según Prieto, et al (2016), dice que “la ceniza de bagazo de caña de azúcar es obtenida de los procesos agroindustriales, el cual genera subproductos

como es el bagazo de la caña en los procesos de la obtención de azúcar. Luego se hace pasar en un reactor discontinuo, cerrado, a 500°C durante 4 horas, presenta una serie de características físicas que son determinadas: densidad aparente, densidad aparente por aprisionamiento, densidad picnométrica, porosidad, compresibilidad, velocidad de flujo, esfericidad, superficie específica y tortuosidad. Esto ha sido realizado por los investigadores”

**Tabla 15:** Parámetros físicos de la ceniza volátil del bagazo de caña de azúcar

| Parámetros                            | Valores de los parámetros |
|---------------------------------------|---------------------------|
| Densidad                              | 0.5310 g/mm <sup>3</sup>  |
| Densidad aparente por aprisionamiento | 0.6505 g/mm <sup>3</sup>  |
| Densidad picnométrica                 | 2.2686 g/mm <sup>3</sup>  |
| Porosidad                             | 0.7133                    |
| Compresibilidad                       | 0.1837                    |
| Velocidad de flujo                    | 0                         |
| Esfericidad                           | 0.45                      |
| Superficie específica                 | 11.7920 m <sup>2</sup> /g |
| Tortuosidad                           | 1.47                      |

**Fuente:** Ceniza de bagazo de caña de azúcar en la remoción de zinc en soluciones acuosas, Prieto et al (2016).

- **Definición de términos** (Conceptos que no se encuentren en la base teórica, pero sean necesarios para la investigación. No más de 20. Debe describirse de lo particular a lo general, primero materiales, equipos u otros y, al final, el producto que se obtiene)

- **Marco normativo** (Normas nacionales o internacionales, que sean la base de la investigación. Consignar el título y la resolución, si hubiera, y describir el contenido relevante)

# **CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3. Materiales y métodos**

#### **3.1. Tipo de Investigación**

- Según su naturaleza: Cuasi Experimental
- Según su propósito: Aplicativa
- Según su duración: Sincrónica

#### **3.2. Nivel de Investigación**

- Explicativa – Descriptiva.

#### **3.3. Unidad de análisis**

Muestra de suelo con adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA).

##### **Ubicación:**

- **DISTRITO** : CHIMBOTE
- **PROVINCIA** : SANTA
- **DEPARTAMENTO** : ANCASH

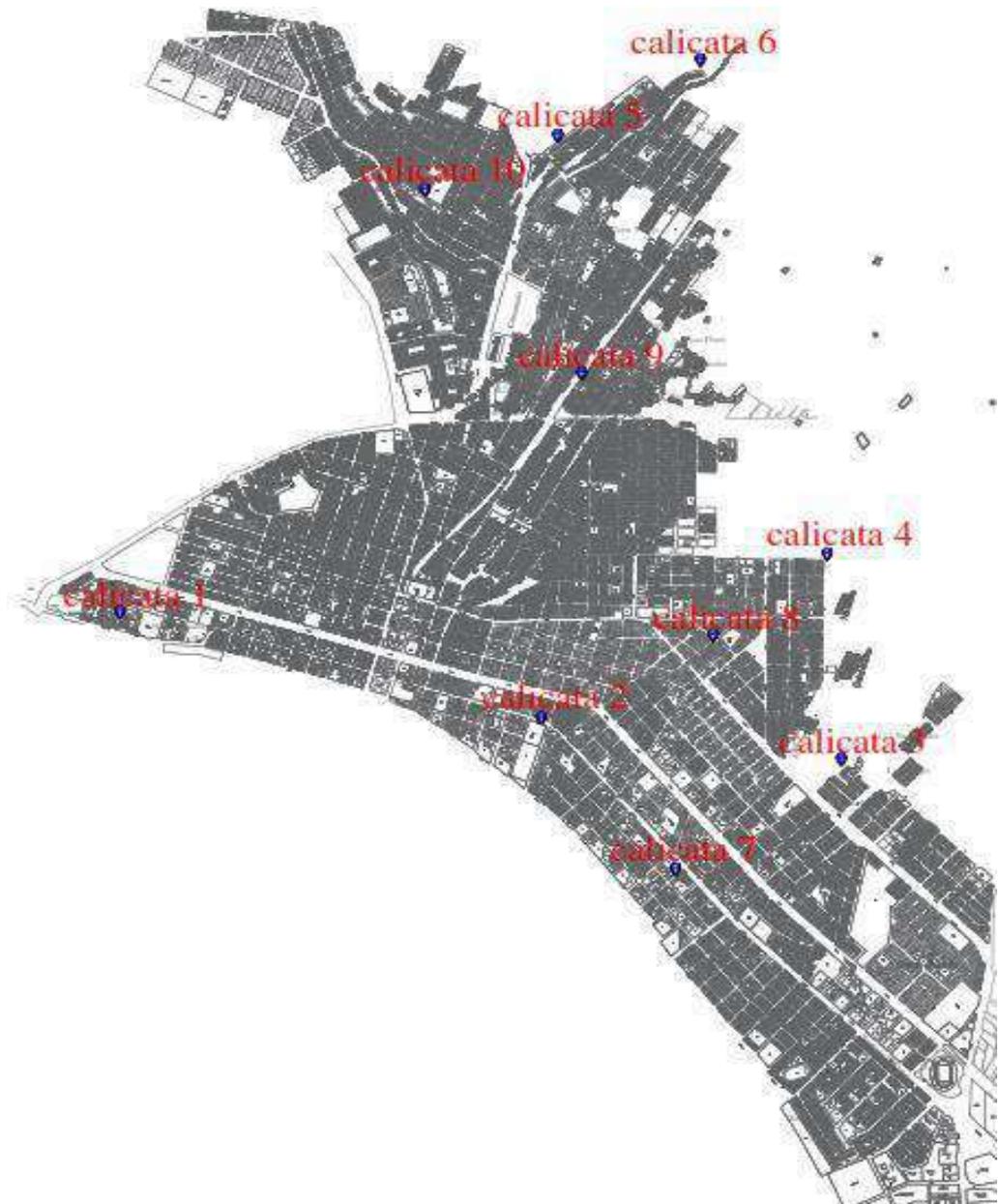
#### **3.4. Población y muestra**

En la presente investigación, la población y la muestra fueron la misma, ya que en la ciudad de Chimbote es predominante los suelos arenosos, donde los ensayos se realizaron en el laboratorio de mecánica de suelos en la Universidad Nacional del Santa, se detalla en la tabla 16:

**Tabla 16:** Selección, tamaño y tipo de la muestra

| Calicata | Ubicación                 | Prof. | Ensayo        | Uso de Muestra |                          |
|----------|---------------------------|-------|---------------|----------------|--------------------------|
|          |                           |       |               | Patrón         | CBCA<br>25%, 35%,<br>45% |
| C-01     | 9.074377 S<br>78.603837 O | 1.50m | Granulometría | Si             | No                       |
|          |                           |       | Proctor       |                |                          |
|          |                           |       | Modificado    | Si             | Si                       |
| C-02     | 9.078973 S<br>8.580762 O  | 1.50m | CBR           | Si             | Si                       |
|          |                           |       | Granulometría | Si             | No                       |
|          |                           |       | Proctor       |                |                          |
| C-03     | 9.083798 S<br>78.566855W  | 1.50m | Modificado    | No             | No                       |
|          |                           |       | CBR           | No             | No                       |
|          |                           |       | Granulometría | Si             | No                       |
| C-04     | 9.070923S<br>78.576660O   | 1.50m | Proctor       |                |                          |
|          |                           |       | Modificado    | Si             | Si                       |
|          |                           |       | CBR           | Si             | Si                       |
| C-05     | 9.118413S<br>78.506373 O  | 1.50m | Granulometría | Si             | No                       |
|          |                           |       | Proctor       |                |                          |
|          |                           |       | Modificado    | No             | No                       |
| C-06     | 9.042879S<br>78.572953O   | 1.50m | CBR           | No             | No                       |
|          |                           |       | Granulometría | Si             | No                       |
|          |                           |       | Proctor       |                |                          |
| C-07     | 9.088421S<br>78.574096O   | 1.50m | Modificado    | No             | No                       |
|          |                           |       | CBR           | No             | No                       |
|          |                           |       | Granulometría | Si             | No                       |
| C-08     | 9.075562S<br>78.572526O   | 1.50m | Proctor       |                |                          |
|          |                           |       | Modificado    | Si             | Si                       |
|          |                           |       | CBR           | Si             | Si                       |
| C-09     | 9.060947S<br>78.579691O   | 1.50m | Granulometría | Si             | No                       |
|          |                           |       | Proctor       |                |                          |
|          |                           |       | Modificado    | No             | No                       |
| C-10     | 9.053080S<br>78.584447O   | 1.50m | CBR           | No             | No                       |
|          |                           |       | Granulometría | Si             | No                       |
|          |                           |       | Proctor       |                |                          |

**Figura 11:** Ubicación de las calicatas en la ciudad de Chimbote



**Fuente:** Elaboración propia

### **3.5. Variables**

#### **3.5.1. Variable Independiente**

Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar (CBCA).

#### **3.5.2. Variable Dependiente**

Estabilización de la subrasante.

### 3.6. Matriz de consistencia

**Tabla 17:** Matriz de consistencia

| PROBLEMA   | OBJETIVOS   | VARIABLES  | HIPOTESIS  | METODO  |
|--|---|--|--|---|
| <p><b>PROBLEMA GENERAL</b></p> <p>- ¿En qué medida influye la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) en la estabilización de suelos como subrasante mejorada en los pavimentos de Chimbote y que tan viable es su uso tanto técnicamente?</p> | <p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>- Estabilizar los suelos con ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) para su uso como subrasante mejorada en los pavimentos de Chimbote.</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b></p> <p>- Determinar las características químicas de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA)</p> <p>- Determinar las propiedades mecánicas y físicas según el suelo a estabilizar.</p> <p>- Determinar las características físicas y mecánicas de los suelos estabilizadas con ceniza de bagazo de caña de azúcar en porcentajes de: 25%, 35% y 45%. (CBCA).</p> | <p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b></p> <p>- Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar (CBCA)</p> <p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b></p> <p>- Estabilización de la subrasante.</p> | <p>El uso de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) estabiliza el suelo como subrasante mejorada en los pavimentos de Chimbote.</p> | <p><b>TIPO DE INVESTIGACIÓN</b></p> <p>- Según su naturaleza: Cuasi – Experimental</p> <p>- Según su propósito: Aplicativa</p> <p>- Según su duración: Sincrónica</p> <p><b>NIVEL DE INVESTIGACIÓN</b></p> <p>Explicativa – Descriptiva</p> |

**Fuente:** Elaboración Propia.

### 3.6.1. Operacionalización de variables.

**Tabla 18:** Operacionalización de variable independiente

| VARIABLE   | DEFINICION CONCEPTUAL  | DEFINICION OPERACIONAL  | DIMENSIÓN                     | INDICADOR               | INSTRUMENTO DE MEDICION   | ESCALA DE MEDICIÓN |
|--|--|---|-------------------------------|-------------------------|---|--------------------|
| <p><b>Variable Independiente:</b><br/>Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar (CBCA).</p> | <p>La ceniza de bagazo de caña de azúcar es un subproducto de los desechos de la fabricación del azúcar. La utilización de estas cenizas en diversos campos, como la agricultura, y ahora, en la construcción, será de gran aprovechamiento. (Chávez Bazán, César Hayro. 2017)</p> | <p>El uso de diversos porcentajes de Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar (CBCA) al 25%, 35%, 45% de la muestra a estabilizar se interpretó por el método cuantitativo. Este método permitió evaluar datos mediante una serie de patrones con el fin de obtener resultados numéricos.</p> | <p>Característica Química</p> | <p>Análisis Químico</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamiz #200 (ASTM D422)</li> <li>• Balanza</li> </ul> | <p>Nominal</p>     |

**Fuente:** Elaboración Propia.



### 3.7. Instrumentos.

Se utilizó como técnica la observación, y como instrumentos se usaron protocolos que fueron validados de acuerdo a la norma ASTM, lo cual permitió recoger los resultados de manera directa y confiable de los siguientes ensayos:

Para determinar las características químicas de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA)

- Método de Fluorescencia De Rayos X (Análisis Químico) ASTM C 25

Para determinar las propiedades mecánicas y físicas según el suelo a estabilizar.

- MTC E 107 (Análisis Granulométrico por tamizado) ASTM D 422
- MTC E 108 (Humedad Natural)
- MTC E110 (Limite Liquido) ASTM D 4318
- MTC E111 - E112 (Limite Plástico e índice de plasticidad)
- MTC E116 (Proctor Modificado) ASTM D 1557
- MTC E 132 (CBR) ASTM D 1883

Para determinar las características mecánicas de los suelos estabilizadas con ceniza de bagazo de caña de azúcar en porcentajes de: 25%, 35% y 45%. (CBCA).

- MTC E115(Relación Humedad–Densidad Compactada a la energía del Proctor Modificado) ASTM D 1557
- MTC E 132 (CBR) ASTM D 1883

### **3.8. Procedimientos.**

#### **3.8.1. En Campo**

##### **3.8.1.1. Recolección de muestras**

Se realizaron 10 calicatas a una profundidad de 1.50 m en distintos en la Ciudad de Chimbote, obteniéndose 50kg de muestra por calicata para los ensayos en laboratorio Según tabla 16.

##### **3.8.1.2. Recolección de la ceniza de bagazo de caña de azúcar**

Se recolectaron las cenizas de bagazo de caña de la huerta de Agroindustrias San Jacinto S.A.A. en el centro poblado de San Jacinto, distrito de Nepeña, provincia de Santa.

##### **3.8.1.3. En laboratorio**

Las muestras extraídas (calicatas) de la ciudad de Chimbote – Santa – Ancash, las cuales fueron llevadas a laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Nacional del Santa para determinar sus características físico mecánicas, mediante los ensayos realizados al suelo en su estado natural como a las mezclas, los cuales fueron regulados bajo las normas de la American Society for Testing and Materials (ASMT), así como del Manual de Ensayo de Materiales 2000 (MTC).

##### **3.8.1.4. Análisis Granulométrico por Tamizado (ASTM D-421)**

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un suelo que se determina por análisis de tamice, el tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre aberturas cuadradas. El análisis granulométrico deriva de una curva granulométrica, donde se plantea el diámetro de Tamiz Vs Porcentaje acumulado que pasa o que retiene en el mismo,

de acuerdo al uso que se quiere dar al suelo. Los equipos necesarios para realizar este ensayo son los siguientes:

- Balanza Electrónica con aproximación de 0,1 g y sensibilidad a 0,1% del peso de la muestra que va a ser ensayada
- Juego de tamices 3", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", ⅜",  
Nº4, Nº10, Nº20, Nº40, Nº60, Nº100, Nº200
- Horno capaz de mantener una temperatura de 110 +/- 5 °C.
- Recipientes de lata o cerámica
- Lavadero de muestras.

El procedimiento que se realizó fue el siguiente:

- Se seleccionó la muestra, para luego ser lavada y colocada en el horno a una temperatura de 110 +/- 5°C durante 24 horas
- Se pesa la muestra sin lavar y se anota el peso de la muestra sacada del horno (si se pesa en un recipiente, esta se descuenta Peso de la muestra = peso total – peso del recipiente)

#### **3.8.1.5. Ensayo California Bearing Ratio CBR (ASTM D-1883)**

El procedimiento de ejecución de la prueba CBR consta de los siguientes pasos:

- Determinación de la humedad óptima y densidad máxima de las muestras de suelo mediante el ensayo Proctor modificado o normal.
- Añadir agua a una muestra de suelo para alcanzar la humedad óptima.
- Compactar la muestra en tres moldes CBR estandarizados de 15,24 cm de diámetro y 17,78 cm de altura. La muestra se compacta en 3 capas por molde siendo la energía de compactación de cada molde de 15, 30 o 60 golpes por

capa mediante una maza de 2,5 kg que se deja caer libremente desde una altura de 305 mm.

- Posteriormente se enraza el molde, se desmonta y se vuelve a montar invertido.
  - Se sumergen los moldes en agua (en algunas modalidades de ensayo no se sumerge la muestra).
  - Colocación de la placa perforada y el vástago, así como los pesos necesarios para calcular la sobrecarga calculada.
  - Colocar el trípode de medida sobre el borde del molde, coincidiendo el vástago del microcomputador.
  - Toma de medidas diarias del microcomparador durante al menos 4 días.
  - Sacar la muestra del agua, escurrir y secar exteriormente.
  - Aplicar la carga sobre el pistón de penetración mediante la prensa CBR y tomar las lecturas de la curva presión penetración.
    - Una vez finalizado el ensayo se debe presentar los resultados en una gráfica densidad seca – índice CBR similar a la mostrada a continuación.
- También conviene mostrar los datos de compactación, humedad, densidad, hinchamiento y absorción.

# **CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Análisis e interpretación de resultados

#### 4.1.1. Características químicas de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA)

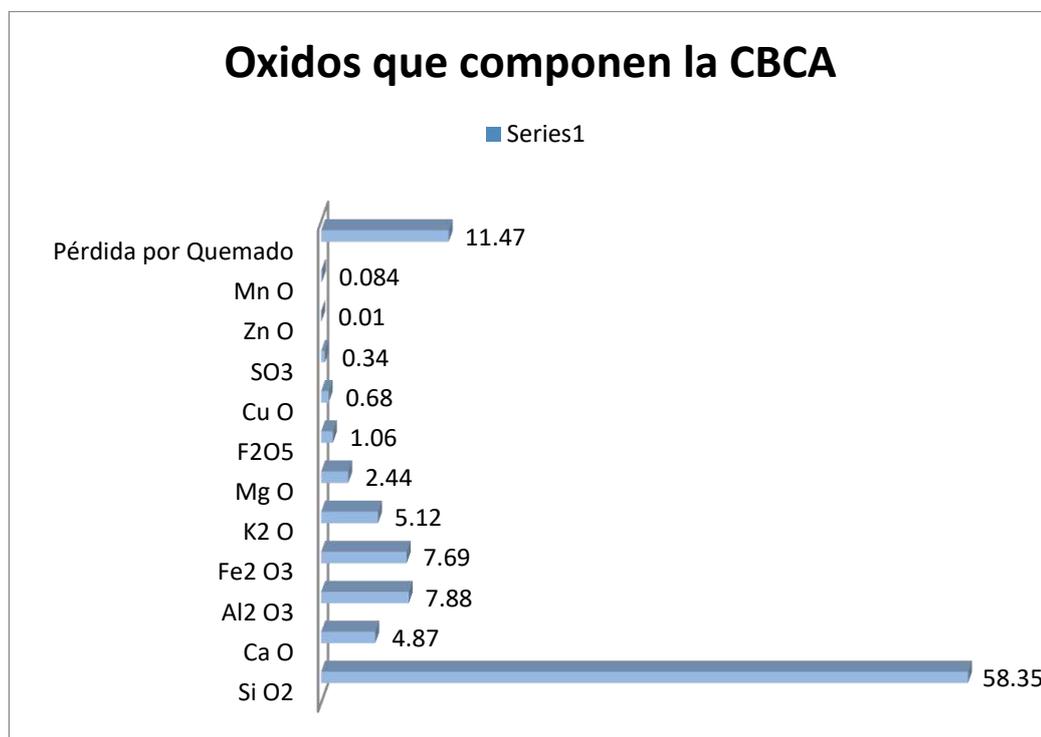
La composición mineralógica de la CBCA se ha realizado por la fluorescencia de rayos X (FRX) los resultados son detallados en la siguiente tabla:

**Tabla 20:** Composición Química de la CBCA

| Composición Química                                    | Resultados (%) |
|--|----------------|
| Dióxido de Silicio (Si O <sub>2</sub> )                | 58.35          |
| Óxido de Calcio (Ca O)                                 | 4.87           |
| Trióxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | 7.88           |
| Trióxido de Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )   | 7.69           |
| Óxido de Potasio (K <sub>2</sub> O)                    | 5.12           |
| Óxido de Magnesio (Mg O)                               | 2.44           |
| Pentóxido de Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )  | 1.06           |
| Óxido de Cobre (Cu O)                                  | 0.68           |
| Trióxido de Azufre (SO <sub>3</sub> )                  | 0.34           |
| Óxido de Zinc (Zn O)                                   | 0.01           |
| Óxido de Manganeso (Mn O)                              | 0.084          |
| Pérdida por Quemado                                    | 11.47          |

De la tabla se puede observar que de los elementos con mayor porcentaje presente en la CBCA en primer lugar tenemos al óxido de silicio (sílice) con un porcentaje de participación del 58.35% un valor elevado en comparación con los demás elementos, entre las propiedades que presenta este compuesto; una de ellas es actuar como desecante (absorber la humedad) lo cual permite reducir el contenido de humedad de un suelo por consiguiente disminuye la permeabilidad así como eflorescencia, de igual modo debemos mencionar que este compuesto también es usado en la elaboración de cemento ya que sus partículas son

extremadamente finas y tiene la finalidad de darle mayor durabilidad, resistir a los ataques químicos y a la corrosión.



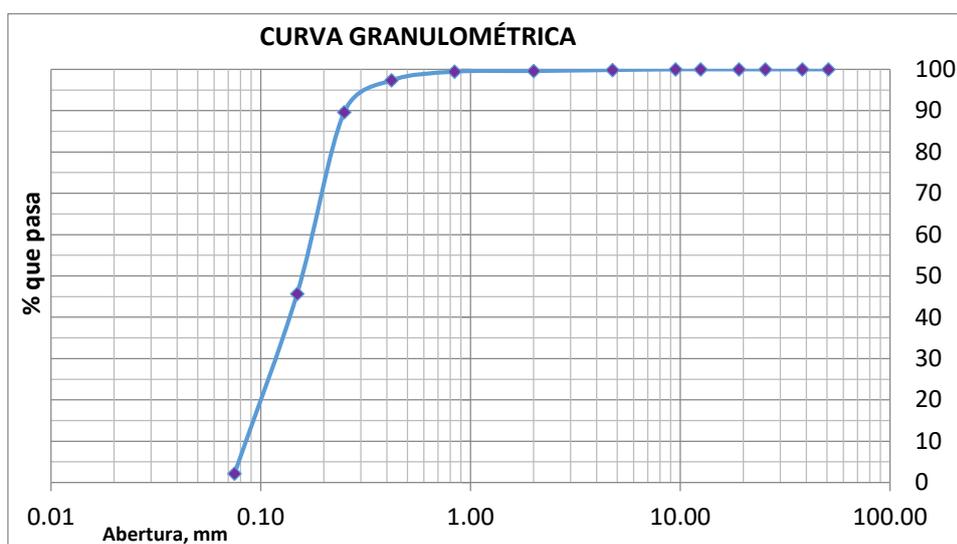
**Figura 12:** Composición química (óxidos) de la CBCA

En segundo lugar el trióxido de aluminio con el 7.88% como se puede visualizar de la figura, este es un compuesto de gran dureza en la escala de Mohs cuyo valor es de 9 (coroidon) químicamente es inerte y también presenta resistencia a la corrosión, el tercer lugar ocupado por el trióxido de hierro 7.69% y en un cuarto lugar el óxido de potasio 5.12%, en quinto lugar el óxido de calcio 4.87%, este material ampliamente usado en la estabilización de suelos, este es un compuesto inorgánico que contiene calcio y oxígeno (formas iónicas) este elemento tiene la capacidad de transformar los suelos inestables ya que actúa como un conglomerante capaz de adherirse y dar cohesión a los materiales presentes en los suelos transformando su composición química. Además, el óxido de calcio tiene

la capacidad de reaccionar con los silicatos (sílice) y posee la propiedad higroscópica (capacidad de absorber la humedad).

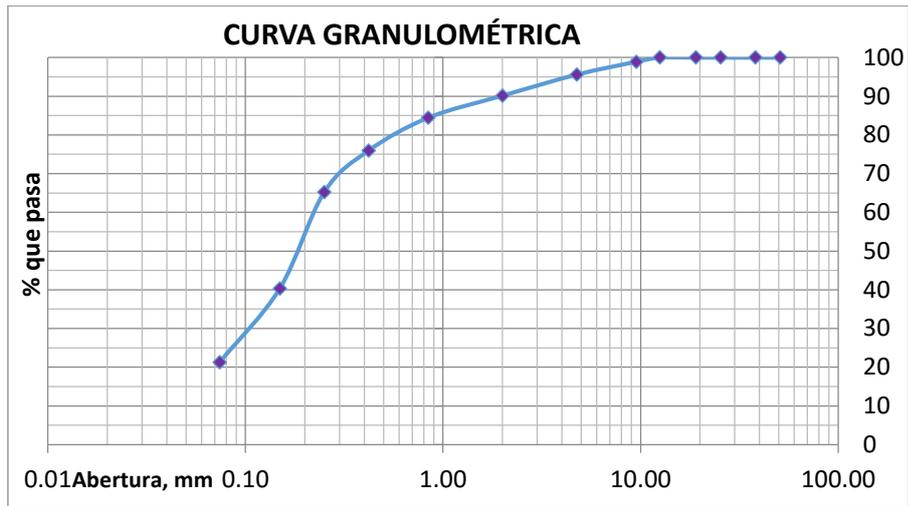
#### 4.1.2. Propiedades mecánicas y físicas según el suelo a estabilizar

En cuanto a las propiedades del suelo se realizaron los ensayos exigidos por el MTC (Para Pavimentos); el análisis granulométrico por tamizado permitió medir los tamaños de partículas de las muestras distribuidas, como se muestra en la figura 13:



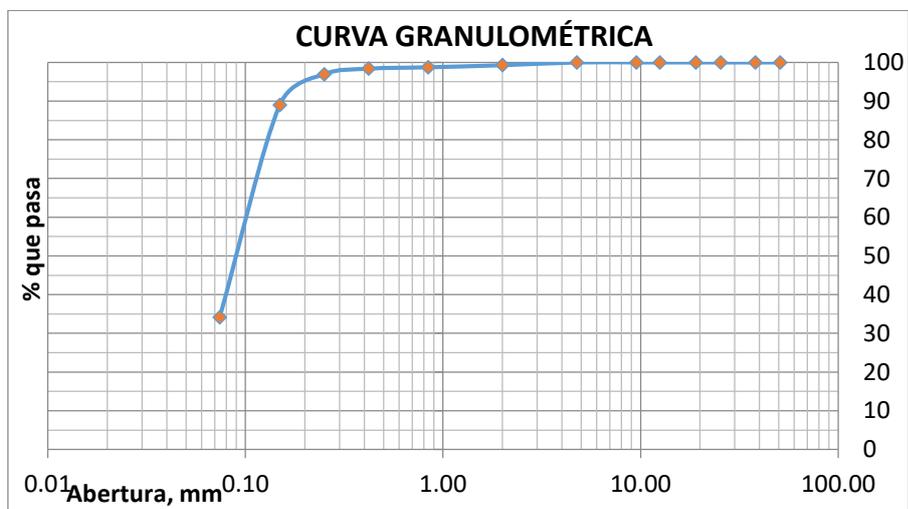
**Figura 13:** Granulometría de la Calicata C- 01. Entre Jr. Los Ficus Y Psje. Los Cactus - AHIS La Caleta

La representación gráfica de los resultados del análisis granulométrico para esta muestra evidencia que el suelo está mal graduado por tener el  $C_u=2.02$  y  $C_c= 1.05$  como se puede apreciar sus partículas están por debajo de 3 el tamaño de las partículas son muy uniformes; es decir existe muchos vacíos y la densidad baja, por otro lado podemos ver que el 99.84 % pasa el tamiz # 4 lo cual indica que es una agregado fino (arenas= 97.81%) ya que 2.19 % pasa por la malla #200, entonces se clasifica como una Arena Mal Graduada.

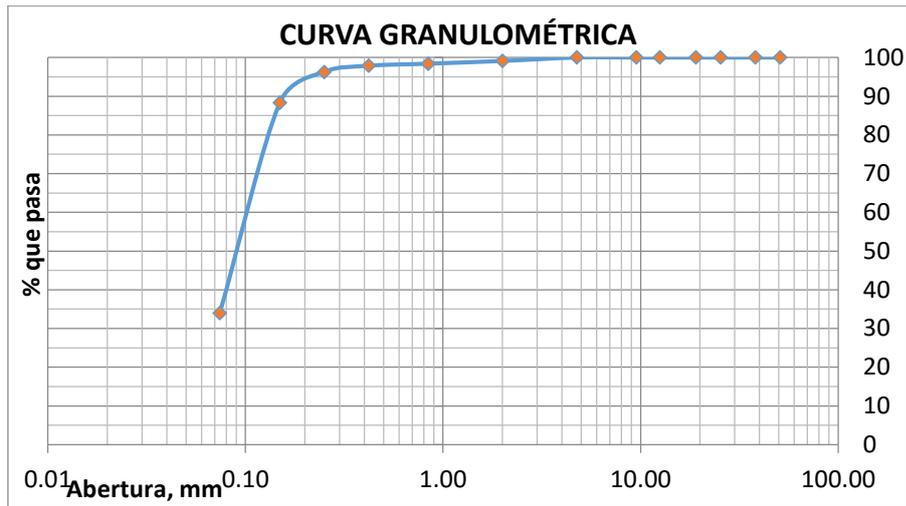


**Figura 14:** Granulometría de la Calicata C- 02 / Av. Enrique Meiggs. Entre la Jv. San Pedro y Jr. Casma

En la Figura 14, la curva granulométrica del suelo C- 02, presentó 4.4 % de grava, 78.72 % de arena ya que se tiene 21.28 % de finos, asimismo,  $C_u = N.P$ ,  $C_c = N.P$  el suelo en esta zona es ARENA LIMOSA

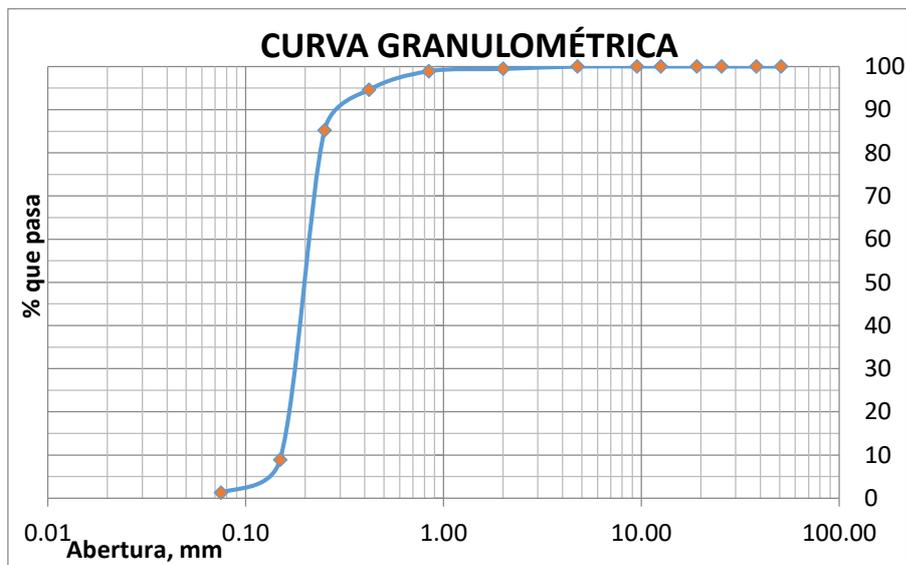


**Figura 15:** Granulometría de la Calicata C- 03 Av. Amazonas - Tres Estrellas  
La calicata C- 03, presentó 0.0 % de grava, 65.83 % de arena ya que se tiene 34.17% de finos, asimismo, no presentó un Coeficiente de Uniformidad ( $C_u$ ) ni un Coeficiente de Curvatura ( $C_c$ ). ARENA LIMOSA



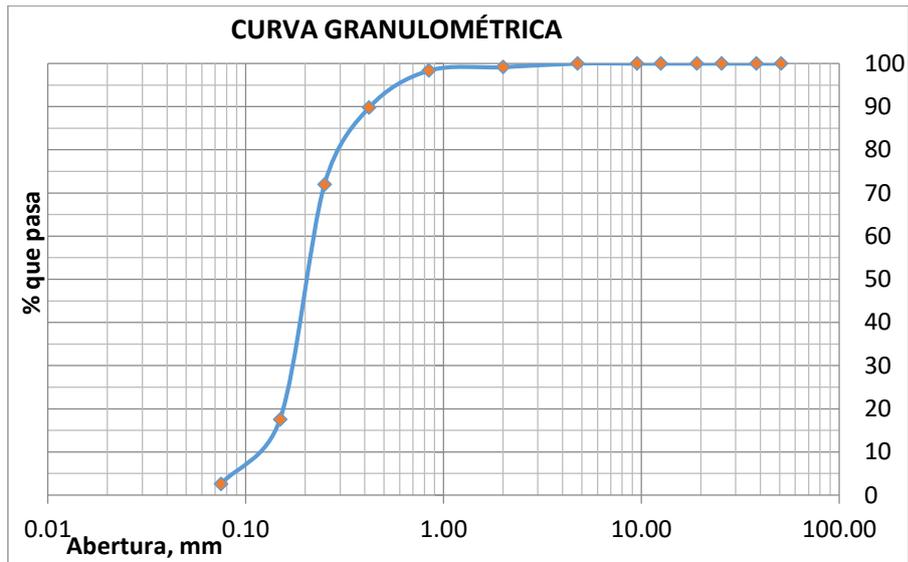
**Figura 16:** Granulometría de la Calicata C- 04 Entre Av Peru Y Av. 1 - San Miguel

La calicata C- 04, presentó 0.00 % de grava, 66.07 % de arena ya que se tiene 33.93 % de finos, asimismo,  $C_u=N.P$ ,  $CC.= N.P$ , por lo cual el suelo en esta zona es ARENA LIMOSA



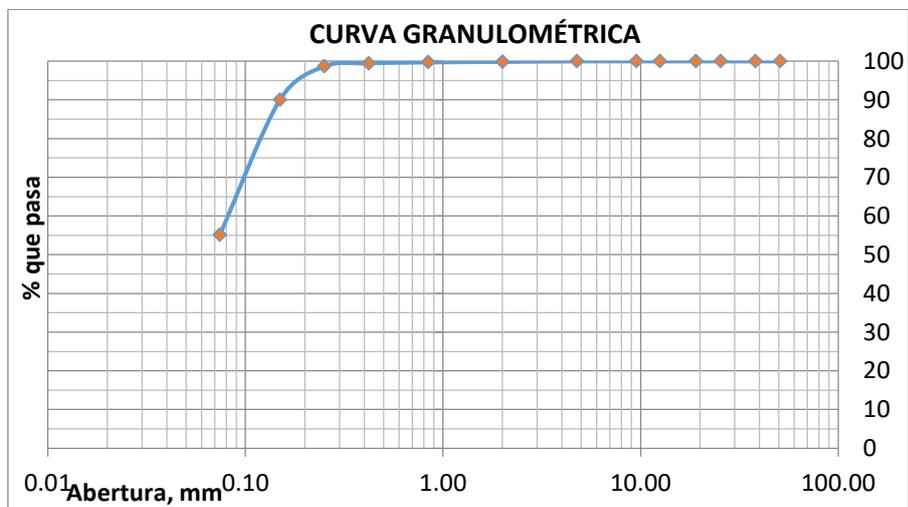
**Figura 17:** Granulometría de la Calicata C- 05. Espalda de la Av. Agraria, a la altura de Psje. Milagros en Primavera Alta

La calicata C- 05, presentó 0.00 % de grava, 98.77 % de arena ya que se tiene 1.23 % de finos, asimismo, presentó un Coeficiente de Uniformidad ( $C_u$ ) de 1.24 y un Coeficiente de Curvatura ( $C_c$ ) de 1.01, entonces, el suelo de esta zona es una ARENA MAL GRADUADA



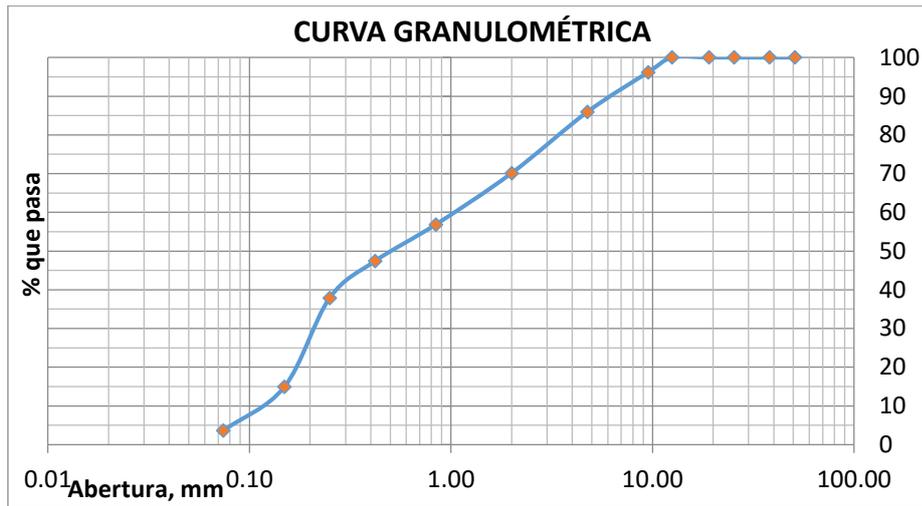
**Figura 18:** Granulometría de la Calicata C- 06 PASAJE 14 - AMP. LA UNIÓN

En la Figura 20, se muestra la curva granulométrica del suelo extraído de la calicata C- 06, la cual presentó 0.00 % de grava, 97.39 % de arena y 2.61 % de finos, asimismo,  $C_u=1.85$  y  $C_c= 1.03$  es una ARENA MAL GRADUADA



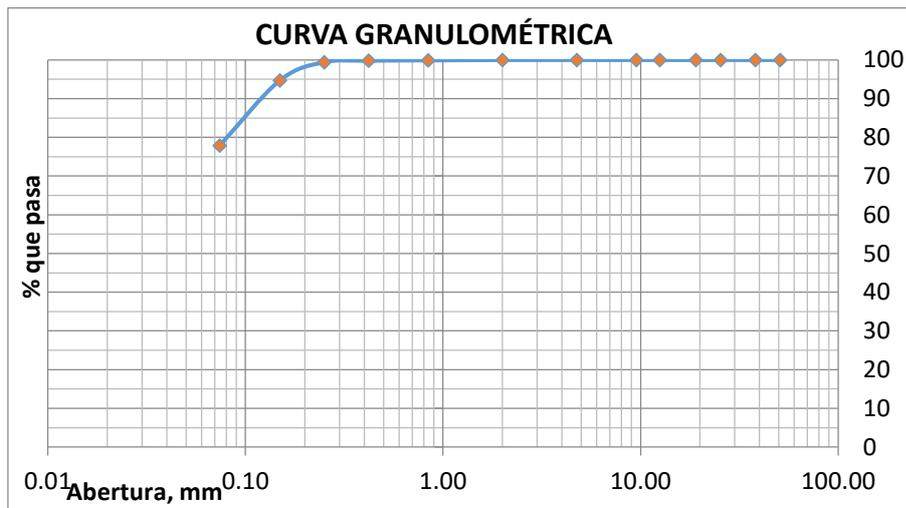
**Figura 19:** Granulometría de la Calicata C- 07. Entre Jr Callao y Jr. Lima, en Florida Baja

La calicata C- 07 presentó 0.00 % de grava, 44.87 % de arena y 55.13 % de finos, asimismo, no presentó Coeficiente de Uniformidad ( $C_u$ ) ni Coeficiente de Curvatura ( $C_c$ ). LIMO INORGÁNICO



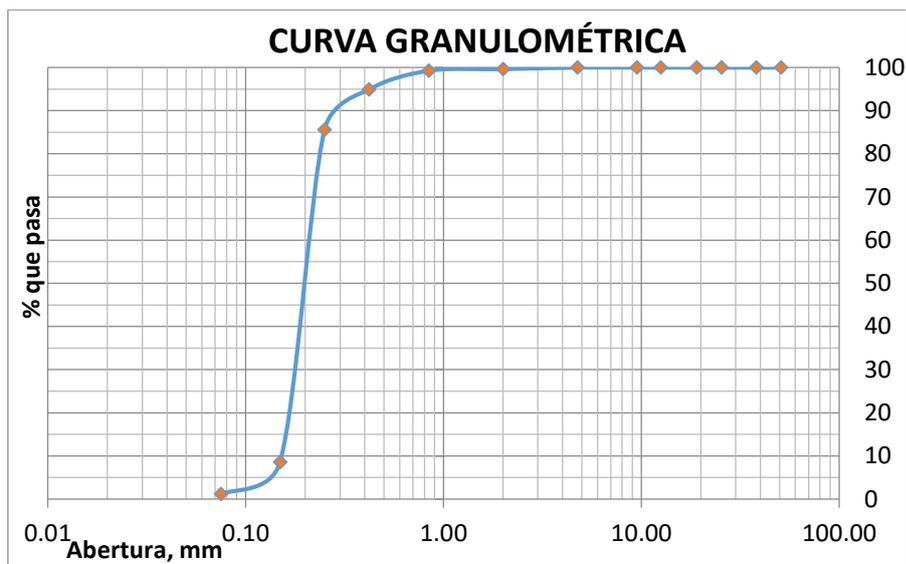
**Figura 20:** Granulometría de la Calicata C- 08. Entre Jr. Ica y Jr. Miguel Grau, en alto Perú

La calicata C- 08 presentó 14.08 % de grava, 96.41% de arena y 3.59 % de finos, asimismo,  $C_u=8.3$  y  $C_c= 0.33$ . ARENA GRUESA MAL GRADUADA



**Figura 21:** Granulometría de la Calicata C- 09 Entre Av. Buenos Aires Y Jr. Ramón Castilla - El Carmen

La calicata C- 09 presentó 0.00 % de grava, 22.09 % de arena y 77.91% de finos, asimismo, no presentó Coeficiente de Uniformidad ( $C_u$ ) ni Coeficiente de Curvatura ( $C_c$ ). LIMO INORGÁNICO



**Figura 22:** Granulometría de la Calicata C- 10 Entre Jr. Los Ángeles Y Psje Sn - Esperanza Alta

La calicata C- 10 presentó 0.00 % de grava, 98.82 % de arena y 1.18 % de finos, asimismo, presentó  $C_u=1.3$  y  $C_c= 0.97$  es ARENA MAL GRADUADA

Se utilizó método AASHTO y SUCS para determinar el tipo de suelo veamos a continuación:

**Tabla 21:** Clasificación de suelos

| Calicata | Tipo de suelo |    |                    |
|----------|---------------|----|--------------------|
|          | AASHTO        |    | SUCS               |
| C-01     | A-3(0)        | SP | Arena mal graduada |
| C-02     | A-2-4         | SM | Arena limosa       |
| C-03     | A-2-4         | SM | Arena limosa       |
| C-04     | A-2-4         | SM | Arena limosa       |
| C-05     | A-3(0)        | SP | Arena mal graduada |
| C-06     | A-3(0)        | SP | Arena mal graduada |
| C-07     | A-4(4)        | ML | Limo Inorgánico    |
| C-08     | A-1-b (0)     | SP | Arena mal graduada |
| C-09     | A-4(8)        | ML | Limo Inorgánico    |
| C-10     | A-3(0)        | SP | Arena mal graduada |

**Tabla 22:** Límites de consistencia

| Tipo de suelo | W% | LL |
|---------------|----|----|
|---------------|----|----|

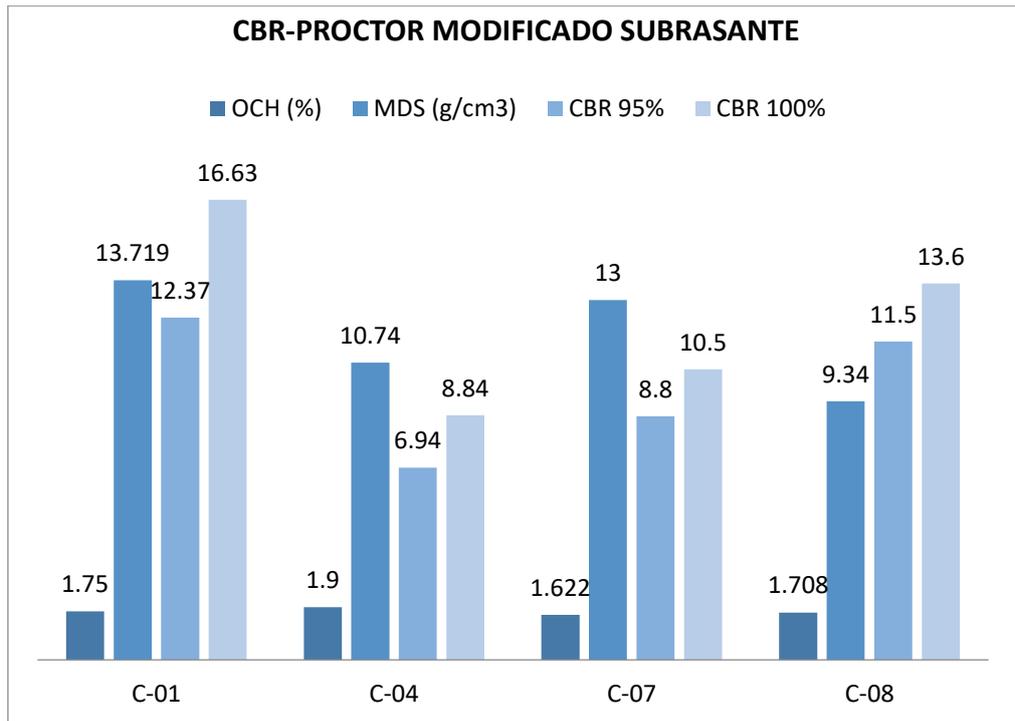
| <b>Calicata</b> | <b>AASHTO</b> | <b>SUCS</b> |       |       | <b>LP</b> | <b>IP</b> |
|-----------------|---------------|-------------|-------|-------|-----------|-----------|
| C-01            | A-3(0)        | SP          | 0.90  | NP    | NP        | NP        |
| C-02            | A-2-4         | SM          | 9.848 | 25.00 | 23.30     | 1.70      |
| C-03            | A-2-4         | SM          | 9.566 | 27.00 | 22.14     | 4.86      |
| C-04            | A-2-4         | SM          | 9.683 | 26.00 | 22.24     | 3.76      |
| C-05            | A-3(0)        | SP          | 0.343 | NP    | NP        | NP        |
| C-06            | A-3(0)        | SP          | 0.420 | NP    | NP        | NP        |
| C-07            | A-4(4)        | ML          | 5.361 | 24.00 | 20.19     | 3.81      |
| C-08            | A-1-b(0)      | SP          | 3.315 | 30.00 | 23.41     | 6.59      |
| C-09            | A-4(8)        | ML          | 4.424 | 27.00 | 22.96     | 4.04      |
| C-10            | A-3(0)        | SP          | 0.42  | NP    | NP        | NP        |

En cuanto a los resultados de la tabla 22 se aprecia que la calicata C- 08 (zona que pertenece el Alto Perú) tiene el mayor índice plástico de 6.59%, lo que significa que mayor será la compresibilidad del suelo. Las zonas de La Caleta, Primavera Alta, Ampl. La Unión y Esperanza Alta son suelos que no tienen arcillas son arenas es importante identificar la composición ya que influye en el comportamiento mecánico del suelo como veremos en la tabla 23

**Tabla 23:** Resultados del Ensayo CBR/ Proctor Modificado de la subrasante

| <b>Calicata</b> | <b>MDS (g/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>OCH (%)</b> | <b>CBR 0.1” (Kg/Cm<sup>2</sup>)</b> |       |
|-----------------|-------------------------------|----------------|-------------------------------------|-------|
|                 |                               |                | 95%                                 | 100%  |
| C-01            | 1.750                         | 13.72          | 12.37                               | 16.63 |
| C-04            | 1.900                         | 10.74          | 6.94                                | 8.84  |
| C-07            | 1.622                         | 13.00          | 8.80                                | 10.50 |
| C-08            | 1.708                         | 9.34           | 11.50                               | 13.60 |

Los resultados del ensayo de CBR, tanto al 95% como al 100% determinaron que la calicata C-04, presenta los valores más bajos de 6.94% a comparación de los demás.



**Figura 23:** CBR-PROCTOR MODIFICADO DE LA SUBRASANTE

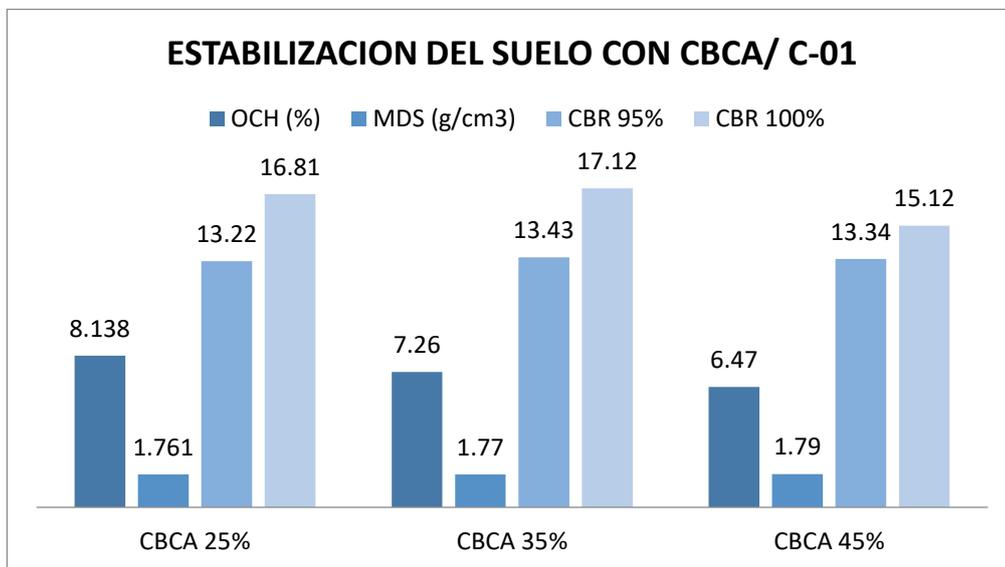
En figura se puede ver que el CBR de los suelos evaluados varían de 6.94 a 16.63% lo que significa que la calidad en cuanto a la resistencia es buena.

#### 4.1.3. Características mecánicas de los suelos estabilizadas con ceniza de bagazo de caña de azúcar en porcentajes de: 25%, 35% y 45%. (CBCA).

Las características mecánicas de las muestras estabilizadas con 25%, 35% y 45% CBCA se muestran en la tabla siguiente:

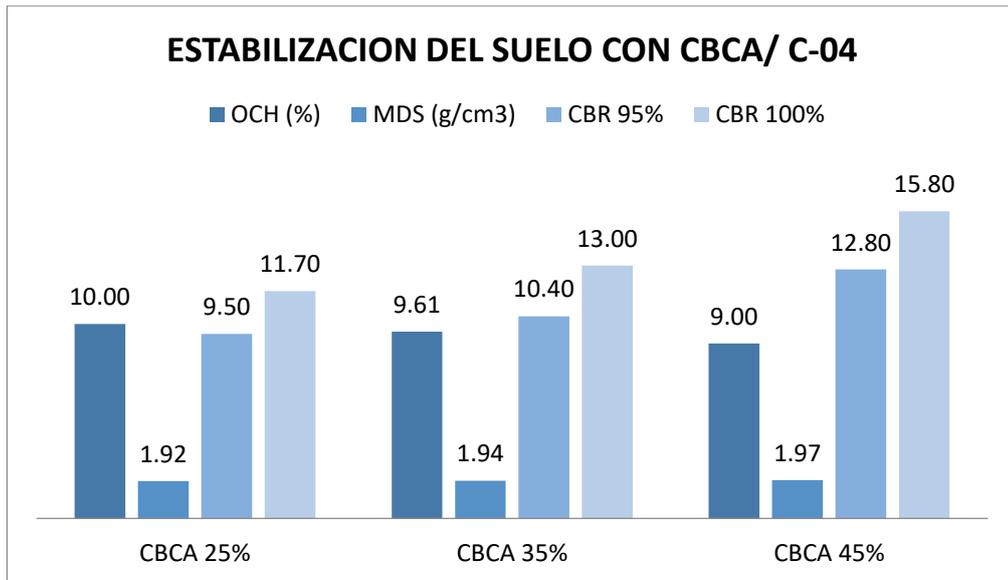
**Tabla 24:** Resultados del Ensayo CBR del suelo estabilizado

| CBCA |      | Proctor Modificado |             | CBR 0.1'' (Kg/Cm2) |       |
|------|------|--------------------|-------------|--------------------|-------|
|      |      | OCH (%)            | MDS (g/cm3) | 95%                | 100%  |
| 25%  | C-01 | 8.14               | 1.761       | 13.22              | 16.81 |
|      | C-04 | 10.00              | 1.920       | 9.50               | 11.70 |
|      | C-07 | 12.1               | 1.640       | 9.00               | 12.00 |
|      | C-08 | 8.86               | 1.725       | 12.40              | 14.50 |
| 35%  | C-01 | 7.26               | 1.770       | 13.43              | 17.12 |
|      | C-04 | 9.61               | 1.940       | 10.40              | 13.00 |
|      | C-07 | 11.21              | 1.660       | 10.80              | 12.40 |
|      | C-08 | 8.07               | 1.752       | 13.69              | 17.91 |
| 45%  | C-01 | 6.47               | 1.790       | 13.34              | 15.12 |
|      | C-04 | 9.00               | 1.970       | 12.80              | 15.80 |
|      | C-07 | 10.04              | 1.690       | 9.88               | 12.59 |
|      | C-08 | 7.07               | 1.788       | 10.74              | 14.12 |

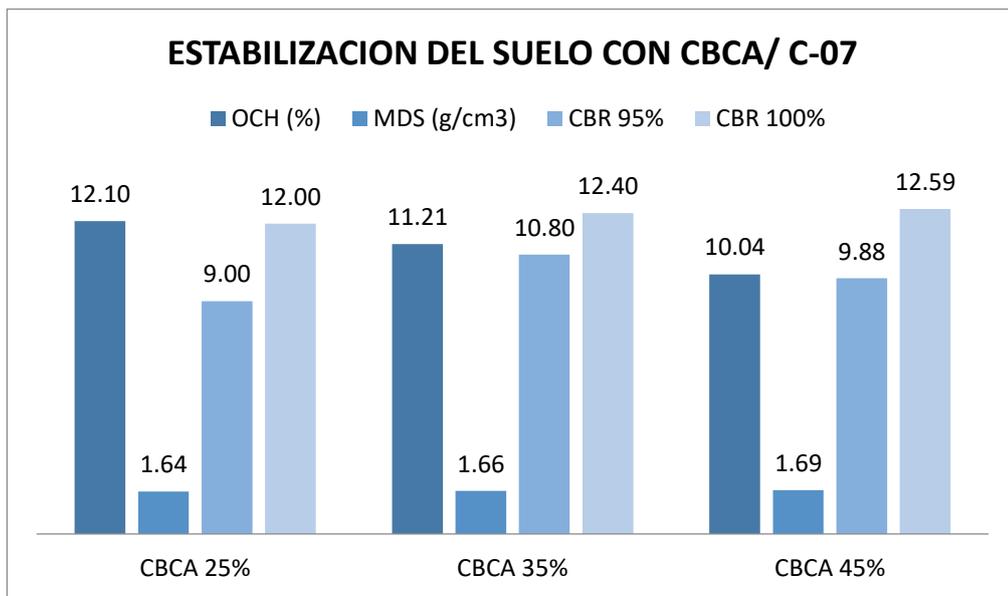


**Figura 24:** Estabilización Del Suelo Con CBCA para la C- 01. Entre Jr. Los Ficus Y Psje. Los Cactus - AHIS La Caleta

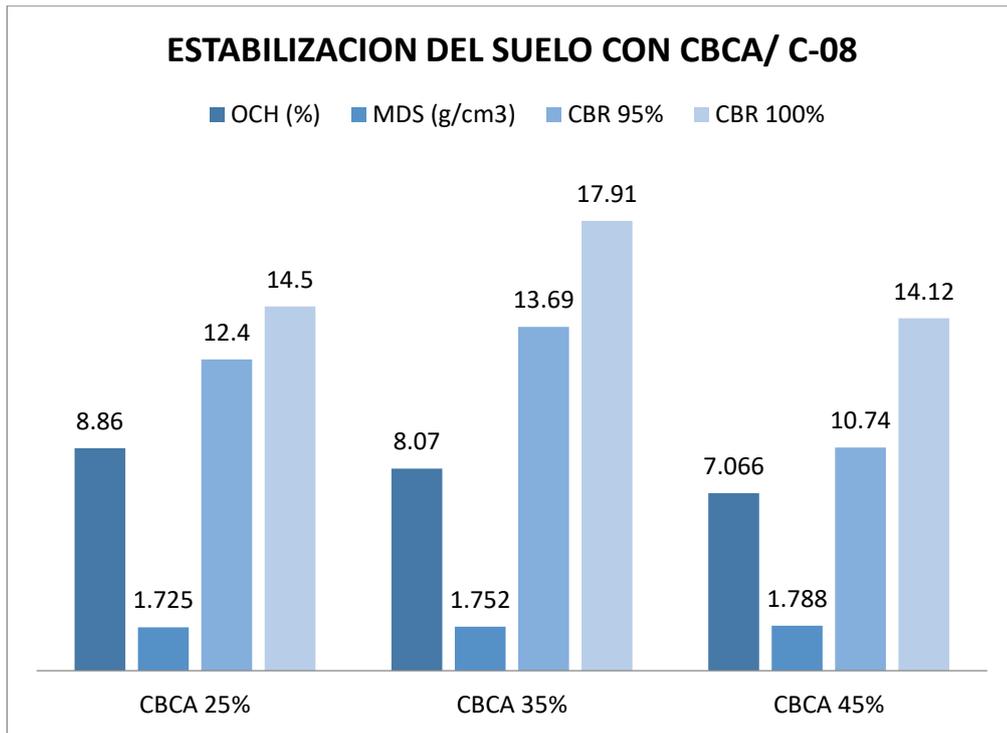
La representación gráfica de los resultados al estabilizar la subrasante de la zona de estudio (*La Caleta*) clasificada como **Arena Mal Graduada** alcanza su máxima CBR al adicionar el 35% de CBCA, Así mismo se puede ver conforme se aumenta la cantidad de CBCA también aumenta el OCH.



**Figura 25:** Estabilización Del Suelo Con CBCA para la C- 04



**Figura 26:** Estabilización Del Suelo Con CBCA para la C- 07



**Figura 27:** Estabilización Del Suelo Con CBCA para la C- 08

Para la muestra C- 04 se determinó como ARENA LIMOSA esta alcanza su mejor calidad en cuanto a resistencia con 45% de CBCA y con el menor valor OCH, como se ha podido observar en la tabla 21 debido a la presencia de óxido de sílice (SiO<sub>2</sub>) y el óxido de calcio (SiO<sub>2</sub>) preferentemente ya que este último al mezclar la arena y el agua se apelmaza formando una masa compacta. Por otro lado, la muestra C- 07 clasificado como LIMO INORGÁNICO presenta el mejor comportamiento en cuanto a la resistencia con 45% CBCA sin embargo la muestra C-08 muestra el mejor comportamiento con 35% de CBCA como bien se ha mencionado, el principal efecto de estos óxidos es la capacidad para absorber la humedad disuelta siendo este uno de los factores que se atribuye para mejorar la resistencia al corte de los suelos ensayados.

## 4.2. Discusión

O. Ojeda-Farías, J.M. Mendoza-Rangel, M. A. Baltazar-Zamora (2018), en la investigación: “Influencia de la inclusión de ceniza de bagazo de caña de azúcar sobre la compactación, CBR y resistencia a la compresión simple de un material granular tipo subrasante”, concluyó que las propiedades químicas del CBCA, contiene los siguientes componentes químicos: Dióxido de Silicio ( $\text{SiO}_2$ ) con una concentración de 62.66%, Trióxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) con una concentración de 5.20%, Trióxido de Hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) con una concentración de 5.19%, Óxido de Titanio ( $\text{TiO}_2$ ) con una concentración de 0.64%, Óxido de Calcio ( $\text{CaO}$ ) con una concentración de 4.87%, Óxido de Magnesio ( $\text{MgO}$ ) con una concentración de 2.19%, Óxido de Azufre ( $\text{SO}_3$ ) con una concentración de 0.30%, Óxido de Potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) con una concentración de 13.93%, Óxido de Sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) con una concentración de 0.56%, Óxido de Fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) con una concentración de 3.36%. En comparación con la presente investigación se Obtuvieron del análisis químico del CBCA los siguientes resultados, con menor cantidad de Dióxido de Silicio ( $\text{SiO}_2$ ) con un porcentaje de 58.35%, igual cantidad de Óxido de Calcio ( $\text{CaO}$ ) con un porcentaje de 4.87%, mayor cantidad de Trióxido de Aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) con un porcentaje de 7.88%, mayor cantidad de Trióxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) con un porcentaje de 7.69%, menor cantidad de Óxido de Potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) con un porcentaje de 5.12%, mayor cantidad Óxido de Magnesio ( $\text{MgO}$ ) con un porcentaje de 2.44%, menor cantidad Pentóxido de Fosforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) con un porcentaje de 1.06%, Óxido de Cobre ( $\text{CuO}$ ) con un porcentaje de 0.68%, mayor cantidad de Trióxido de Azufre ( $\text{SO}_3$ ) con un porcentaje de 0.34%, Óxido de Zinc ( $\text{ZnO}$ ) con un porcentaje de 0.01%, Óxido de Manganeseo ( $\text{MnO}$ ) con un porcentaje de 0.084%.

Landa Alarcon, Jacques Yitzhak y Torres Montesinos, Sergio Feliciano (2019) en el proyecto de investigación “Mejoramiento de Suelos Arcillosos en Subrasante mediante el uso de Cenizas Volantes de Bagazo de Caña de Azúcar y Cal” concluyó que para un tipo de suelo patrón clasificado según SUCS como una “arcilla de baja plasticidad” o CL y en base al sistema de clasificación ASSHTO como un A-6 con índice de grupo 8 el valor máximo registrado se dio con la Combinación de 75% Cal y 25% CBCA con una proporción global como material estabilizante de 25%, obteniendo un OCH de 19.5% y una máxima densidad seca de 2.218 g/cm<sup>3</sup>, teniendo un aumento de CBR de 3.7% a 8.7%. El aumento del CBR es debido a que la Cal es un material que genera reacciones químico puzolánicas en adición a la arcilla; así mismo, al mezclarlas con cenizas volantes son capaces de producir productos de características cementosas. En comparación con la presente investigación titulada “Estabilización de suelos con cenizas de bagazo de caña de azúcar para uso como subrasante mejorada en los pavimentos de Chimbote”. El mayor valor de CBR se obtuvo en el suelo patrón clasificado según SUCS como una “arena mal graduada” o SP y en base al sistema de clasificación ASSHTO como un A-1-b con índice de grupo 0 el valor máximo registrado se dio con la Combinación de 35% de CBCA teniendo un aumento de CBR de 13.6% a 17.91%, se logra ver que mejora debido a la reacción de los Puzolánicos que están presentes en CBCA y la densidad de los suelos aumenta en cuanto a las combinaciones de todos los suelos ensayados, para una Arena Gruesa Mal Graduada, se encontró OCH de 8.07% que alcanzo una densidad de 1752 kg/m<sup>3</sup> así mismo la variación de la humedad más alta en los suelos con porcentajes de suelos finos.

Terrones Cruz, Andrea Thatiana (2018), en el proyecto “Estabilización de Suelos Arcillosos Adicionando Cenizas de Bagazo de Caña para el Mejoramiento de Subrasante en el Sector Barraza, Trujillo – 2018.”, se determinó que los suelos evaluados fueron una arcilla de baja plasticidad (CL) y limo de baja plasticidad (ML) acorde a la clasificación SUCS, mientras que en la clasificación ASSHTO, se encontró la predominación de suelos de tipo A-4, A-6 y A-7-6, también concluyó que la CBCA mejora las propiedades mecánicas del suelo y con la adición del 15% de CBCA se notan mejores resultados en la capacidad de soporte. Esto se vio reflejado en los tres puntos evaluados de la carretera, donde inicialmente el suelo era inadecuado, a los cuales le adicionó el 15 % de CBCA, de tal manera que el CBR del Km 0+011 aumentó de 1.888% a 22.5%, del km 1+524 aumentó de 1.843% a 22.4% y del Km 3+529 aumentó de 1.739% a 21.9%, lo cual indicó que la CBCA aumentó el CBR del suelo en más de 10 veces. Del cual se pudo ver que se mejoró de una subrasante promedio de 1.823% (subrasante muy mala), a obtener un CBR promedio de 22.267% (subrasante muy buena). En comparación con la presente investigación titulada “Estabilización de suelos con cenizas de bagazo de caña de azúcar para uso como subrasante mejorada en los pavimentos de Chimbote”. Se realizó la evaluación de los suelos como arena mal graduada (SP), arena limosa (SM), limo inorgánico (ML), arena gruesa mal graduada (SP), según clasificación SUCS y A-3, A-2-4, A-4, A-1-b respectivamente según clasificación ASSHTO desarrollando así la estabilización de suelos, con porcentaje de CBCA de 25%, 35% y 45%. Para el suelo A-3 con un 35% de material estabilizante de CBCA se pudo ver una mejora en el CBR de 16.13% a 17.12%. Para el suelo A-2-4 con un 45% de material estabilizante de CBCA se pudo ver una mejora en el CBR de 8.84% a 15.80%. Para el suelo A-4

con un 45% de material estabilizante de CBCA se pudo ver una mejora en el CBR de 10.50% a 12.59%. Para el suelo A-1-b con un 35% de material estabilizante de CBCA se pudo ver una mejora en el CBR de 13.60% a 17.91%.

Danny Alessandro, Carrasco Mejilla (2017) en la tesis “Estabilización de los Suelos Arcillosos Adicionando Ceniza de Caña de Azúcar en el Tramo de Moro a Virahuanca en el Distrito de Moro – Provincia del Santa - 2017”, concluyó que la resistencia y capacidad de carga del suelo arcilloso (SC) según ASSTHO, logró estabilizar con la adición al 35% de ceniza de caña de azúcar, en relación al peso seco de la muestra del suelo y el óptimo contenido de humedad, donde alcanzó un CBR al 16.21%. Con una muestra patrón no favorable, pues su resistencia en comparación alcanza un valor de 4.16% de CBR. En comparación con la presente investigación titulada “Estabilización de suelos con cenizas de bagazo de caña de azúcar para uso como subrasante mejorada en los pavimentos de Chimbote” el mayor porcentaje de mejora en el CBR se obtuvo con un 45% de material estabilizante de CBCA en el suelo A-2-4 logrando un aumento en el CBR de 8.84% a 15.80%, así mismo usando un 35% de material estabilizante de CBCA, haciendo una comparación con la tesis de Danny Alessandro, Carrasco Mejilla, en nuestra investigación se logró una mejora en el CBR de 13.60% a 17.91% para un suelo A-1-b.

# **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- Se da como aceptada la hipótesis “El uso de ceniza de caña de azúcar (CBCA) estabiliza los suelos, y las propiedades de la subrasante.
- Las características químicas de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) encontrándose la presencia de sílice con un porcentaje de 58.99%, óxido de calcio el 4.87% y óxido de aluminio con 7.88% cuyos elementos permiten reducir el contenido de humedad por consiguiente disminuye la eflorescencia, como la permeabilidad en el suelo natural, así como aumentar la resistencia del suelo.
- Se determinó las propiedades mecánicas y físicas del suelo a estabilizar en diferentes puntos, donde el CBR varía de 6.94 a 16.63% donde la calidad en cuanto a su resistencia es buena, el contenido de humedad tiene 0.343% como el valor más bajo y 9.848% el más alto correspondiente a una arena limosa, el índice de plasticidad es 6.59% como el valor más alto y 1.70% como el más bajo.
- Se determinó el aumento de la capacidad de soporte hallándose el mejor comportamiento al utilizar la proporción de 45% cuyo valor de CBR fue de 15.80% (suelo estabilizado), en comparación con el sin estabilizar (CBR 8.84%) incrementando en 6.96% debido a las propiedades de la CBCA.
- De las características mecánicas de los suelos estabilizados con ceniza de bagazo de caña de azúcar en porcentajes de: 25% 35% y 45% de CBCA se determinó que para una ARENA MAL GRADUADA alcanzó el máximo valor

con el 35% de CBCA para un CBR de 17.91% con el OCH de 7.26% y MDS de 1770kg/m<sup>3</sup>, para una ARENA LIMNOSA se logró el valor más alto de CBR con el 45% siendo éste valor de CBR 15.80 , y para un LIMO ORGANICO alcanza su mejor comportamiento en cuanto 45% de CBCA obteniéndose un CBR de 12.59 %

## **5.2. Recomendaciones**

- Se recomienda la verificación de la calibración de los instrumentos de laboratorio, para tener obtener buenos resultados a los futuros investigadores.
- Se recomienda a los investigadores, utilizar otros porcentajes de cenizas de bagazo de la caña de azúcar, para evaluar sus propiedades y el comportamiento que tiene.
- Se recomienda a los investigadores, aplicar las dosificaciones empleadas en la presente tesis en otro tipo de suelo diferente al que se estudió, ya que se puede encontrar porcentajes mayores que podrían dar mejores resultados de los que se obtuvieron en este proyecto de investigación.

# **CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES**

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES

- Allauca, L., Amen, H., & Lung, J. (2009). *Uso de Sílice en hormigones de Alto Desempeño*. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería en Ciencias de La Tierra. Guayaquil, Ecuador.
- Bañón, L. & Bevia, J. (2000). *Manual de Carreteras. Volumen II: Construcción y Mantenimiento*. Alicante, España: Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A.
- Braja, M. (2001) *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. California, Estados Unidos: International Thomson Editoriales.
- Carrasco D. (2017) *Estabilización de los Suelos Arcillosos Adicionando Ceniza de Caña de Azúcar en el Tramo de Moro a Virahuanca en el Distrito de Moro – Provincia del Santa – 2017. Chimbote, Perú*
- Crespo, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. Ciudad de México, México: Limusa.
- Cubas k y Chávez A (2016). “*Evaluación de las Cenizas de Carbón para la Estabilización de suelos Mediante Activación Alcalina y Aplicación en Carreteras no Pavimentadas.chiclayo,peru*
- GEOSUPPORT. (2012). *Estudios geotécnicos en los ámbitos de la edificación y la ingeniería civil*
1. Hernández (2011), *Comportamiento Mecánico y Físico del Mortero a base de CBCA como árido en Aplanados en Muros*
- Juárez, B. (2010). *La utilización de cáscara de arroz bajo el proceso de calcinación controlada como puzolana artificial en el diseño de morteros para acabados*. (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos, Guatemala.

Juárez, E. y Rico, A. (2011). *Mecánica de Suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. Ciudad de México, México: Editorial Limusa.

Juárez Badillo y Alfonso Rodríguez. 1973 *Mecánica de suelos*, Tomo I

Juliano, B. (1985). *Rice: Chemistry and Technology [Arroz: Química y Tecnología]*. American Association of Cereal Chemists. Saint Paul, Minnesota, Estados Unidos.

Landa , Torres M, & Sergio F. (2019) Civil “*Mejoramiento de Suelos Arcillosos en Subrasante mediante el uso de Cenizas Volantes de Bagazo de Caña de Azúcar y Cal*”

Llamoga, L. (2017). *Evaluación del potencial de expansión y capacidad portante de suelos arcillosos usados en subrasantes al adicionar ceniza de cascarilla de arroz, Cajamarca 2016*. Universidad Privada del Norte. Facultad de Ingeniería. Cajamarca, Perú.

López, A. (1983). *Mejora geotécnica del suelo*. Conferencia pronunciada en el Colegio de Arquitectos, de Las Palmas.

Mehta, P.K. (1977). *Properties of blended cements made from rice husk ash [Propiedades de los cementos mezclados con cascara de arroz]*. Journal American Concrete Institute.

Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), (2019). Boletín de publicación trimestral enero. Observatorio de COMMODITIES: Arroz-2019. Dirección General de Políticas Agrarias – Dirección de Estudios Económicos e Información Agraria (DGPA-DEEIA).

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). *Especificaciones Técnicas Generales para construcción de carreteras EG-2013*. Lima, Perú.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2014). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos*. Lima, Perú.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2016). *Manual de Ensayos de Materiales*. Lima, Perú.

Ojeda Farías O. et. al,( 2018 )“*Influencia de la incursión de ceniza de bagazo de caña de azúcar sobre compactación, CBR y resistencia a la compresión simple de un material granular tipo subrasante*”

Prieto, et al (2016), *Ceniza de bagazo de caña de azúcar en la remoción de zinc en soluciones acuosas*

Reglamento Nacional de Edificaciones (2012). *CE.020 Estabilización de Suelos y Taludes*. Lima, Perú.

Rodríguez E. (2009), Valencia (España), el tema de investigación llevando por título “*Eficiencia de Activadores Alcalinos basados en diferentes fuentes de Sílice para la Producción de Sistemas Geopoliméricos de Ceniza de Carbón*”, Salazar (2011

Terrones A. (2018). “*Estabilización de Suelos Arcillosos Adicionando Cenizas de Bagazo de Caña para el Mejoramiento de Subrasante en el Sector Barraza, Trujillo – 2018.*”

# **CAPÍTULO VII: ANEXOS**

# PLANO DE CALICATAS

# CIUDAD DE CHIMBOTE



**PLANO DE CALICATAS**  
ESCALA 1/10 000



## LEYENDA



CALICATA

## CUADRO DE UBICACION

| CALICATA | UBICACIÓN   | COORDENADAS |              |
|----------|---|-------------|--------------|
|          |   | X           | Y            |
| C-1      | ENTRE JR. LOS FICUS Y PSJ. LOS CACTUS - AHIS LA CALETA  | 763400.5876 | 8996029.8109 |
| C-2      | AV. ENRIQUE MEIGGS                                      | 765822.1011 | 8995371.3738 |
| C-3      | AV. AMAZONAS - TRES ESTRELLAS                           | 767549.5781 | 8995116.3083 |
| C-4      | ENTRE AV PERU Y AV. 1 - SAN MIGUEL                      | 767468.1696 | 8996389.7322 |
| C-5      | AV. AGRARIA - LADERA DE LOS JARDINES                    | 765918.477  | 8998987.1812 |
| C-6      | PASAJE 14 - AMP. LA UNION                               | 766742.1284 | 8999453.3874 |
| C-7      | ENTRE JR. CALLAO Y AV. ENRIQUE MEIGGS - FLORIDA BAJA    | 766595.8224 | 8994434.2736 |
| C-8      | ENTRE JR. ICA Y JR. MIGUEL GRAU - ALTO PERU             | 766811.5549 | 8995884.8063 |
| C-9      | ENTRE AV. BUENOS AIRES Y JR. RAMON CASTILLA - EL CARMEN | 766056.4822 | 8997510.6797 |
| C-10     | ENTRE JR. LOS ANGELES Y PSJE SN - ESPERANZA ALTA        | 765154.4691 | 8998648.7145 |



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

PROYECTO:  
"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR  
PARA SU USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE  
CHIMBOTE"

TESISTAS:  
BACH. CAPUÑAY AGUIRRE CHRISTIAAN EDUARDO  
BACH. PASTOR OLASCUAGA CRISTIAN JHAROL

UBICACIÓN:  
CHIMBOTE - PERU

PLANO:  
SUELOS  
UBICACIÓN DE CALICATAS

LÁMINA:

# A-1

ASESOR:  
MS. JULIO CESAR RIVASPLATA DIAZ

ESCALA:  
1/10000

FECHA:  
10 OCTUBRE DEL 2020

DIBUJO:  
C. CAPUÑAY

# **ENSAYO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X**



**LASACI**  
**REPORTE DE MEDICION Y ANALISIS DE**  
**MUESTRA POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X**

|                    |  |
|--------------------|--|
| <b>SOLICITANTE</b> | Bach. CRISTIAN JHAROL PASTOR OLASCUAGA<br>Bach. CHRISTIAAN EDUARDO CAPUÑAY AGUIRRE   |
| <b>TESIS</b>       | "ESTABILIZACION DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE" |
| <b>MUESTRA</b>     | CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR   |
| <b>FECHA</b>       | 24 DE JUNIO DEL 2021   |

**MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO**

**1. CONSIDERACIONES EXPERIMENTALES**

**CONDICIONES DE LA MEDICION:**

El análisis se realizó en un espectrómetro de fluorescencia total de rayos x marca

**BRUKER, MODELO S2-PICOFOX.**

Fuente de rayos x: tubo de Mo.

Tiempo de medida: 2000 segundos.

**ESTANDAR INTERNACIONAL PARA**

**CUANTIFICACION: Elemento: Galio (Ga)**

Concentración: g/l.

**2. CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA ANALIZADA**

Se analizó 25 mg de la muestra de CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA, la cual fue tamizada previamente a malla 200.

**3. METODO**

- **BASADO EN LA NORMA** : ASTM C25
- **VOLUMETRIA** : USAQ-ME06

JEFE DE LABORATORIO  
ANALISTA RESPONSABLE

ING. CARLOS VALQUI MENDOZA  
ING. CARLOS VALQUI MENDOZA





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION



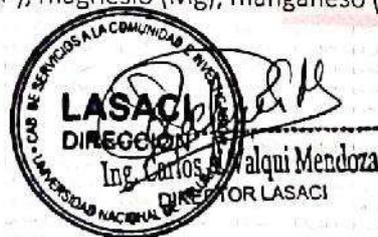
## LASACI

### 4. RESULTADOS

| COMPOSICION QUIMICA                                    | RESULTADOS (%) | METODO UTILIZADO                           |
|--|----------------|--|
| DIOXIDO DE SILICIO (Si O <sub>2</sub> )                | 58.35          | Espectrometría de fluorescencia de rayos x |
| OXIDO DE CALCIO (Ca O)                                 | 4.87           |  |
| TRIOXIDO DE ALUMINIO (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | 7.88           |  |
| TRIOXIDO DE HIERRO (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )   | 7.69           |  |
| OXIDO DE POTASIO (K <sub>2</sub> O)                    | 5.12           |  |
| OXIDO DE MAGNESIO (Mg O)                               | 2.44           |  |
| PENTOXIDO DE FOSFORO (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )  | 1.06           |  |
| OXIDO DE COBRE (Cu O)                                  | 0.68           |  |
| TRIOXIDO DE AZUFRE (SO <sub>3</sub> )                  | 0.34           |  |
| OXIDO DE ZINC (Zn O)                                   | 0.01           |  |
| OXIDO DE MANGANESO (Mn O)                              | 0.084          |  |
| PÉRDIDA POR QUEMADO                                    | 11.47          |  |

### 5. CONCLUSION

- Al realizar la comparación del espectro de la muestra analizada con las energías características de los elementos de la tabla periódica a partir del sodio, se encontraron principalmente sílice (Si), Calcio (Ca), Potasio (K), Aluminio (Al) y hierro (Fe) con un alto porcentaje. Y en menores porcentajes se encontró; fósforo (P), magnesio (Mg), manganeso (Mn), cobre (Cu), azufre (S) y zinc (Zn).



Trujillo, 30 de Junio del 2021

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBON - CAL

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

✉ lasaciunt@gmail.com ☎ 949959632

# **PERFIL ESTRATIGRÁFICO**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**E.A.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TESIS** : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR PARA SU USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"

**TESISTAS** Bach. CAPUÑAY AGUIRRE, Christian Eduardo  
 Bach. PASTOR OLASCUAGA, Cristian Jharol

**UBICACIÓN** : ENTRE JR. LOS FICUS Y PSJ. LOS CACTUS - AHIS LA CALETA **FECHA:** 19/08/2019  
**LOCALIDAD** : CHIMBOTE  
**CALICATA** : C - 01  
**PROFUND** : -1.500 m **NIVEL FREÁTICO** : N.R.

**REGISTRO DE SONDAJE (ASTM D-420)**

| Profundidad Total (metros) | Profundidad (metros) | Tipo de excavación | Muestras obtenidas  | SÍMBOLO | DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL   | CLASIFICACIÓN (SUCS) | CARACT. IN SITU (%w) |
|----------------------------|----------------------|--------------------|---|---------|--|----------------------|----------------------|
| -1.50                      | 0.00                 | CALICATA           | M-01  |         | <b>Arena Mal Graduada (SP):</b> Estrato conformado por 98.84 % de arenas de grano grueso a fino, con partículas redondeadas o subangulosas, mal graduada, alrededor de 2.19% de finos no plásticos como limos, de baja humedad, color beige amarillento. | SP                   | 0.94%                |
|                            | -0.60                |                    |   |         |  |                      |                      |
|                            | -0.90                |                    |   |         |  |                      |                      |
|                            | -1.20                |                    |   |         |  |                      |                      |
| -1.50                      | M-04                 |                    | <b>Arena Mal Graduada (SP):</b> Estrato conformado por 96.10 % de arenas de grano grueso a fino, con partículas redondeadas o subangulosas, mal graduada, alrededor de 3.90 % de finos no plásticos como limos, de baja humedad, color beige amarillento. | SP      | 0.98%  |                      |                      |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**E.A.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TESIS :** "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR PARA SU USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"

**TESISTAS** Bach. CAPUÑAY AGUIRRE, Christian Eduardo  
 Bach. PASTOR OLASCUAGA, Cristian Jharol

**UBICACIÓN :** AV. ENRIQUE MEIGGS

**FECHA:** 19/08/2019

**LOCALIDAD :** CHIMBOTE

**CALICATA :** C - 02

**PROFUND :** :- 1.50 m

**NIVEL FREÁTICO :** N.R.

**REGISTRO DE SONDAJE (ASTM D-420)**

| Profundidad Total (metros) | Profundidad (metros) | Tipo de excavación                   | Muestras obtenidas | SÍMBOLO | DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL  | CLASIFICACIÓN (SUCS) | CARACT. IN SITU (%w) |
|----------------------------|----------------------|--------------------------------------|--------------------|---------|---|----------------------|----------------------|
|                            | 0.00                 | C<br>A<br>L<br>I<br>C<br>A<br>T<br>A |                    |         |   |                      |                      |
|                            | -0.60                |                                      | M-02               |         | Arena Limosa (SM): Estrato conformado por arena limosa de baja plasticidad con poca presencia de grava, poco compacto, no presenta Nivel freático | SM                   | 9.85%                |
| -1.50                      | -0.90                |                                      | M-02               |         | Arena Limosa (SM): Estrato conformado por arena limosa con poca presencia de gravas. No presenta nivel freático                                   | SM                   | 9.88%                |
|                            | -1.50                |                                      | M-03               |         |   |                      |                      |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**E.A.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TESIS** "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR PARA SU USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"

**TESISTAS** Bach. CAPUÑAY AGUIRRE, Christiaan Eduardo  
 Bach. PASTOR OLASCUAGA, Cristian Jharol

**UBICACIÓN** : AV. AMAZONAS - TRES ESTRELLAS  
**LOCALIDAD** : CHIMBOTE  
**CALICATA** : C - 03  
**PROFUND** : - 1.50 m

**FECHA:** 19/08/2019

**NIVEL FREÁTICO** : N.R.

**REGISTRO DE SONDAJE (ASTM D-420)**

| Profundidad Total (metros) | Profundidad (metros) | Tipo de excavación                   | Muestras obtenidas | SÍMBOLO | DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL   | CLASIFICACIÓN (SUCS) | CARACT. IN SITU (%w) |
|----------------------------|----------------------|--------------------------------------|--------------------|---------|--|----------------------|----------------------|
|                            | 0.00                 | C<br>A<br>L<br>I<br>C<br>A<br>T<br>A |                    |         |  |                      |                      |
|                            | -0.60                |                                      | M-02               |         | <b>Arena Limosa (SM):</b> Estrato conformado por arena limosa de baja plasticidad con poca presencia de grava, poco compacto, no presenta Nivel freático | SM                   | 9.57%                |
| -1.50                      | -0.90                |                                      | M-02               |         |  |                      |                      |
|                            | -1.50                |                                      | M-03               |         | <b>Arena Limosa (SM):</b> Estrato conformado por arena limosa con poca presencia de gravas. No presenta nivel freático                                   | SM                   | 9.88%                |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**E.A.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TESIS** "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR PARA SU USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"

**TESISTAS** Bach. CAPUÑAY AGUIRRE, Christiaan Eduardo  
 Bach. PASTOR OLASCUAGA, Cristian Jharol

**UBICACIÓN** : ENTRE AV PERU Y AV. 1 - SAN MIGUEL **FECHA:** 19/08/2019  
**LOCALIDAD** : CHIMBOTE  
**CALICATA** : C - 04  
**PROFUND** : - 1.50 m **NIVEL FREÁTICO** : N.R.

**REGISTRO DE SONDAJE (ASTM D-420)**

| Profundidad Total (metros) | Profundidad (metros) | Tipo de excavación                   | Muestras obtenidas | SÍMBOLO | DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL   | CLASIFICACIÓN (SUCS) | CARACT. IN SITU (%w) |
|----------------------------|----------------------|--------------------------------------|--------------------|---------|--|----------------------|----------------------|
|                            | 0.00                 | C<br>A<br>L<br>I<br>C<br>A<br>T<br>A |                    |         |  |                      |                      |
|                            | -0.60                |                                      | M-02               |         | <b>Arena Limosa (SM):</b> Estrato conformado por arena limosa de baja plasticidad con poca presencia de grava, poco compacto, no presenta Nivel freático | SM                   | 9.68%                |
| -1.50                      | -0.90                |                                      | M-02               |         | <b>Arena Limosa (SM):</b> Estrato conformado por arena limosa con poca presencia de gravas. No presenta nivel freático                                   | SM                   | 9.93%                |
|                            | -1.50                |                                      | M-03               |         |  |                      |                      |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**E.A.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TESIS** "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR PARA SU USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"

**TESISTAS** Bach. CAPUÑAY AGUIRRE, Christian Eduardo  
 Bach. PASTOR OLASCUAGA, Cristian Jherol

**UBICACIÓN** : AV. AGRARIA - LADERA DE LOS JARDINES **FECHA:** 19/08/2019  
**LOCALIDAD** : NUEVO CHIMBOTE  
**CALICATA** : C - 05  
**PROFUND** : -1.500 m **NIVEL FREÁTICO** : N.R.

**REGISTRO DE SONDAJE (ASTM D-420)**

| Profundidad Total (metros) | Profundidad (metros) | Tipo de excavación                   | Muestras obtenidas | SÍMBOLO  | DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL  | CLASIFICACIÓN (SUCS) | CARACT. IN SITU (%w) |
|----------------------------|----------------------|--------------------------------------|--------------------|--|---|----------------------|----------------------|
| -1.50                      | 0.00                 | C<br>A<br>L<br>I<br>C<br>A<br>T<br>A | M-01               |  | Arena Mal Graduada (SP): Estrato conformado por 100 % de arenas de grano grueso a fino, con partículas redondeadas o subangulosas, mal graduada, alrededor de 1.23% de finos no plásticos como limos, de baja humedad, color beige amarillento. | SP                   | 0.34%                |
|                            | -0.60                |                                      |                    |  |   |                      |                      |
|                            | -0.90                |                                      |                    |  |   |                      |                      |
|                            | -1.20                |                                      |                    |  |   |                      |                      |
| -1.50                      | M-02                 | M-03                                 | M-04               | Arena Mal Graduada (SP): Estrato conformado por 96.10% de arenas de grano grueso a fino, con partículas redondeadas o subangulosas, mal graduada, alrededor de 1.76% de finos no plásticos como limos, de baja humedad, color beige amarillento. | SP  | 0.66%                |                      |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**E.A.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TESIS** "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR PARA SU USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"

**TESISTAS** Bach. CAPUÑAY AGUIRRE, Christiaan Eduardo  
 Bach. PASTOR OLASCUAGA, Cristian Jharol

**UBICACIÓN** : PASAJE 14 - AMP. LA UNION **FECHA:** 19/08/2019  
**LOCALIDAD** : CHIMBOTE  
**CALICATA** : C - 06  
**PROFUND** : -1.500 m **NIVEL FREÁTICO** : N.R.

**REGISTRO DE SONDAJE (ASTM D-420)**

| Profundidad Total (metros) | Profundidad (metros) | Tipo de excavación                   | Muestras obtenidas | SÍMBOLO                | DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL   | CLASIFICACIÓN (SUCS) | CARACT. IN SITU (%w) |      |
|----------------------------|----------------------|--------------------------------------|--------------------|------------------------|--|----------------------|----------------------|------|
| -1.50                      | 0.00                 | C<br>A<br>L<br>I<br>C<br>A<br>T<br>A | M-01               | [Symbol: grid of dots] | <p><b>Arena Mal Graduada (SP):</b> Estrato conformado por 100 % de arenas de grano grueso a fino, con partículas redondeadas o subangulosas, mal graduada, alrededor de 2.61% de finos no plásticos como limos, de baja humedad, color beige amarillento.</p>    | SP                   | 0.42%                |      |
|                            | -0.60                |                                      |                    |                        |  |                      |                      | M-02 |
|                            | -0.90                |                                      |                    |                        |  |                      |                      | M-03 |
|                            | -1.20                |                                      |                    |                        |  |                      |                      | M-04 |
|                            | -1.50                |                                      |                    |                        | <p><b>Arena Mal Graduada (SP):</b> Estrato conformado por 98.10 % de arenas de grano grueso a fino, con partículas redondeadas o subangulosas, mal graduada, alrededor de 2.11 % de finos no plásticos como limos, de baja humedad, color beige amarillento.</p> | SP                   | 0.57%                |      |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**E.A.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TESIS** "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR PARA SU USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"

**TESISTAS** Bach. CAPUÑAY AGUIRRE, Christian Eduardo  
Bach. PASTOR OLASCUAGA, Cristian Jherol

**UBICACIÓN** : ENTRE JR. CALLAO Y AV. ENRIQUE MEIGGS - FLORIDA BAJA **FECHA:** 19/08/2019  
**LOCALIDAD** : CHIMBOTE  
**CALICATA** : C - 07  
**PROFUND** : -1.500 m **NIVEL FREÁTICO** : N.R.

**REGISTRO DE SONDAJE (ASTM D-420)**

| Profundidad Total (metros) | Profundidad (metros) | Tipo de excavación                   | Muestras obtenidas                       | SÍMBOLO | DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL  | CLASIFICACIÓN (SUCS) | CARACT. IN SITU (%w) |  |  |
|----------------------------|----------------------|--------------------------------------|--|---------|---|----------------------|----------------------|--|--|
| -1.50                      | 0.00                 | C<br>A<br>L<br>I<br>C<br>A<br>T<br>A | M-01<br><br>M-02<br><br>M-03<br><br>M-04 |         | Limo Inorgánico (ML): Estrato conformado por limo inorgánico de baja compresibilidad, medianamente compacta, color café oscuro. | ML                   | 5.36%                |  |  |
| -1.50                      | -0.60                |                                      |  |         | Limo Inorgánico (ML): Estrato conformado por limo inorgánico de baja compresibilidad, medianamente compacta, color café oscuro. | ML                   | 5.65%                |  |  |
| -1.50                      | -0.90                |                                      |  |         |   |                      |                      |  |  |
| -1.50                      | -1.20                |                                      |  |         |   |                      |                      |  |  |
| -1.50                      | -1.50                |                                      |  |         |   |                      |                      |  |  |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**E.A.P. INGENIERÍA CIVIL**

**LABORATORIO DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TESIS** "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR PARA SU USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"

**TESISTAS** Bach. CAPUÑAY AGUIRRE, Christiaan Eduardo  
 Bach. PASTOR OLASCUAGA, Cristian Jharol

**UBICACIÓN** : ENTRE JR. ICA Y JR. MIGUEL GRAU - ALTO PERU **FECHA:** 19/08/2019  
**LOCALIDAD** : CHIMBOTE  
**CALICATA** : C - 08  
**PROFUND** : -1.500 m **NIVEL FREÁTICO** : N.R.

**REGISTRO DE SONDAJE (ASTM D-420)**

| Profundidad Total (metros) | Profundidad (metros) | Tipo de excavación                   | Muestras obtenidas | SÍMBOLO | DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL  | CLASIFICACIÓN (SUCS) | CARACT. IN SITU (%W) |
|----------------------------|----------------------|--------------------------------------|--------------------|---------|---|----------------------|----------------------|
|                            | 0.00                 | C<br>A<br>L<br>I<br>C<br>A<br>T<br>A |                    |         |   |                      |                      |
|                            | -0.60                |                                      | M-01               |         | <b>Arena mal graduada (SP):</b> Estrato conformado por arena mal graduada con finos y gravas de alta compacidad, material color marrón claro y muy bajo contenido de humedad. | SP                   | 3.32%                |
| -1.50                      | -0.90                |                                      | M-02               |         |   |                      |                      |
|                            | -1.20                |                                      | M-03               |         | <b>Arena mal graduada (SP):</b> Estrato conformado por arena mal graduada con gravas y poco fino, no plástico, medianamente compactado, color marrón oscuro, poco húmedo.     | SP                   | 3.85%                |
|                            | -1.50                |                                      | M-04               |         |   |                      |                      |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**E.A.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TESIS** "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR PARA SU USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"

**TESISTAS** Bach. CAPUÑAY AGUIRRE, Christiaan Eduardo  
 Bach. PASTOR OLASCUAGA, Cristian Jharol

**UBICACIÓN** : ENTRE AV. BUENOS AIRES Y JR. RAMON CASTILLA - EL CARMEN **FECHA:** 19/08/2019  
**LOCALIDAD** : CHIMBOTE  
**CALICATA** : C - 09  
**PROFUND** : -1.500 m **NIVEL FREÁTICO** : N.R.

**REGISTRO DE SONDAJE (ASTM D-420)**

| Profundidad Total (metros) | Profundidad (metros) | Tipo de excavación                   | Muestras obtenidas | SÍMBOLO | DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL  | CLASIFICACIÓN (SUCS) | CARACT. IN SITU (%w) |
|----------------------------|----------------------|--------------------------------------|--------------------|---------|---|----------------------|----------------------|
|                            | 0.00                 |                                      |                    |         |   |                      |                      |
| -1.50                      | -0.60                | C<br>A<br>L<br>I<br>C<br>A<br>T<br>A | M-01               |         | Limo Inorgánico (ML): Estrato conformado por limo inorgánico de baja compresibilidad, medianamente compacta, color café oscuro. | ML                   | 4.42%                |
|                            | -0.90                |                                      | M-02               |         |   |                      |                      |
|                            | -1.20                |                                      | M-03               |         | Limo Inorgánico (ML): Estrato conformado por limo inorgánico de baja compresibilidad, medianamente compacta, color café oscuro. | ML                   | 4.85%                |
|                            | -1.50                |                                      | M-04               |         |   |                      |                      |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**E.A.P. INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TESIS** "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR PARA SU USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"

**TESISTAS** Bach. CAPUÑAY AGUIRRE, Christian Eduardo  
 Bach. PASTOR OLASCUAGA, Cristian Jharol

**UBICACIÓN** : ENTRE JR. LOS ANGELES Y PSJE SN - ESPERANZA ALTA **FECHA:** 19/08/2019  
**LOCALIDAD** : CHIMBOTE  
**CALICATA** : C - 10  
**PROFUND** : -1.500 m **NIVEL FREÁTICO** : N.R.

**REGISTRO DE SONDAJE (ASTM D-420)**

| Profundidad Total (metros) | Profundidad (metros) | Tipo de excavación | Muestras obtenidas   | SÍMBOLO | DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL  | CLASIFICACIÓN (SUCS) | CARACT. IN SITU (%w) |
|----------------------------|----------------------|--------------------|--|---------|---|----------------------|----------------------|
| -1.50                      | 0.00                 | CALICATA           | M-01   |         | <b>Arena Mal Graduada (SP):</b> Estrato conformado por arena mal graduada con fino y gravas de alta compacidad, material color marrón claro y muy bajo contenido de humedad | SP                   | 0.42%                |
|                            | -0.60                |                    |  |         |   |                      |                      |
|                            | -0.90                |                    |  |         |   |                      |                      |
|                            | -1.20                |                    |  |         |   |                      |                      |
| -1.50                      | M-04                 |                    | <b>Arena Mal Graduada (SP):</b> Estrato conformado por 99.35% de arenas de grano grueso a fino, con partículas redondeadas o subangulosas, mal graduada, alrededor de 1.18 % de finos no plásticos como limos, de baja humedad, color beige amarillento. | SP      | 0.42%   |                      |                      |



# **GRANULOMETRÍA**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON  
CENIZAS DE BAGAJO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS  
PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"

TESISTAS: Capuñay Aguirre Christian Eduardo

JEFE DE LABORATORIO: Ing. Julio César Rivasplata Diaz

Pastor Olascuaga Cristian Jharol

LUGAR: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

ASESOR: Ing. Julio César Rivasplata Diaz

FECHA: 10/10/2020

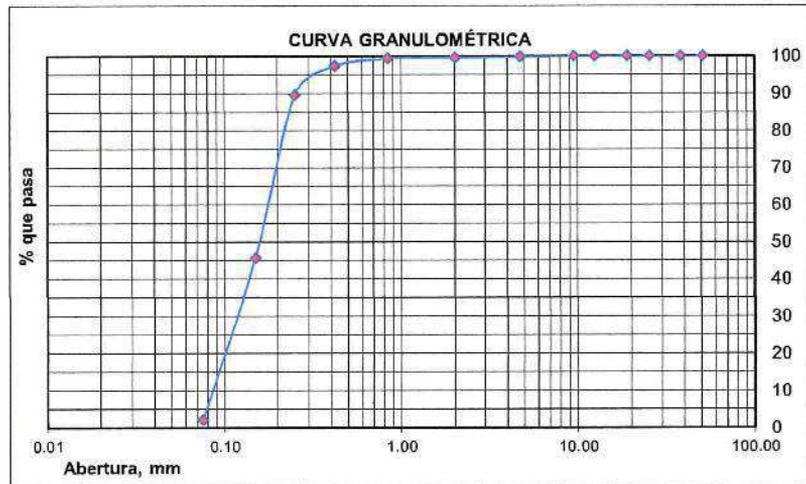
### CALICATA N° 1

PROFUNDIDAD : De -0.00 m. A -0.60m

### 1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)

Peso Inicial Seco, [gr] 1235.000

| Mallas   | Abertura [mm] | Peso retenido [grs] | % pasa |
|----------|---------------|---------------------|--------|
| 2"       | 50.800        | 0                   | 100.00 |
| 1 1/2"   | 38.100        | 0                   | 100.00 |
| 1"       | 25.400        | 0                   | 100.00 |
| 3/4"     | 19.050        | 0                   | 100.00 |
| 1/2"     | 12.500        | 0                   | 100.00 |
| 3/8"     | 9.500         | 0                   | 100.00 |
| N° 04    | 4.750         | 2                   | 99.84  |
| N° 10    | 2.000         | 3                   | 99.60  |
| N° 20    | 0.840         | 2                   | 99.43  |
| N° 40    | 0.420         | 26                  | 97.33  |
| N° 60    | 0.250         | 95                  | 89.64  |
| N° 100   | 0.149         | 543                 | 45.67  |
| N° 200   | 0.075         | 537                 | 2.19   |
| < N° 200 | -             | 27.00               | -      |



Cu=2.02

Cc= 1.05

SUELO MAL GRADUADO

### 2. LÍMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERBERG (ASTM - D4318)

#### A. LÍMITE LÍQUIDO

| Procedimiento                     |  |  |             |
|-----------------------------------|--|--|-------------|
| 1. No de Golpes                   |  |  |             |
| 2. Peso Tara, [gr]                |  |  |             |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] |  |  |             |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   |  |  | NO PRESENTA |
| 5. Peso Agua, [gr]                |  |  |             |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          |  |  |             |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      |  |  |             |

#### ARENA MAL GRADUADA

|                      |     |
|----------------------|-----|
| Límite Líquido %     | NP  |
| Límite Plástico %    | NP  |
| Índice Plasticidad % | NP  |
| Índice de Grupo      | 0   |
| Clasif. SUCS         | SP  |
| Clasif. AASHTO       | A-3 |

#### B. LÍMITE PLÁSTICO

| Procedimiento                     |  |  |             |
|-----------------------------------|--|--|-------------|
| 1. No de Golpes                   |  |  |             |
| 2. Peso Tara, [gr]                |  |  |             |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] |  |  | NO PRESENTA |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   |  |  |             |
| 5. Peso Agua, [gr]                |  |  |             |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          |  |  |             |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      |  |  |             |

### 3. CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM - D2216)

| Procedimiento                     | Tara No |
|-----------------------------------|---------|
| 1. Peso Tara, [gr]                | 27.260  |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 53.030  |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 52.790  |
| 4. Peso Agua, [gr]                | 0.240   |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr]          | 25.530  |
| 6. Contenido de Humedad, [%]      | 0.940   |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"

TESISTAS: Capuñay Aguirre Christian Eduardo  
Pastor Olascuaga Cristian Jharol

JEFE DE LABORATORIO: Ing. Julio César Rivasplata Diaz

LUGAR: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

ASESOR: Ing. Julio César Rivasplata Diaz

FECHA: 10/10/2020

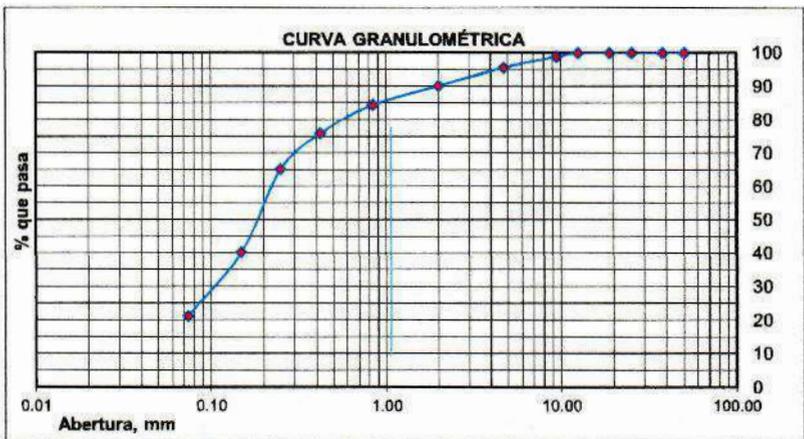
**CALICATA N° 2**

PROFUNDIDAD : De -0.00 m. a -0.60 m.

**1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)**

Peso Inicial Seco, [gr] 1819.000

| Mallas   | Abertura [mm] | Peso retenido [grs] | % pasa |
|----------|---------------|---------------------|--------|
| 2"       | 50.800        | 0.000               | 100.00 |
| 1 1/2"   | 38.100        | 0.000               | 100.00 |
| 1"       | 25.400        | 0.000               | 100.00 |
| 3/4"     | 19.050        | 0.000               | 100.00 |
| 1/2"     | 12.500        | 0.000               | 100.00 |
| 3/8"     | 9.500         | 20.000              | 98.90  |
| N° 04    | 4.750         | 60.000              | 95.60  |
| N° 10    | 2.000         | 99.000              | 90.16  |
| N° 20    | 0.840         | 104.000             | 84.44  |
| N° 40    | 0.420         | 154.000             | 75.98  |
| N° 60    | 0.250         | 196.000             | 65.20  |
| N° 100   | 0.149         | 453.000             | 40.30  |
| N° 200   | 0.074         | 346.000             | 21.28  |
| < N° 200 | -             | 387.000             | -      |



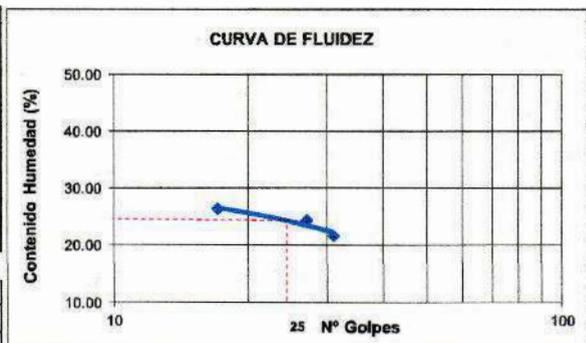
Cu=N.P Cc= N.P

**2. LÍMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERGBER (ASTM - D4318)**

ARENA LIMOSA

**A. LÍMITE LÍQUIDO**

| Procedimiento                     | Tara No. 01 | Tara No. 02 | Tara No. 03 |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 1. No de Golpes                   | 31          | 27          | 17          |
| 2. Peso Tara, [gr]                | 27.380      | 27.490      | 27.412      |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 38.640      | 42.480      | 44.256      |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 36.640      | 39.541      | 40.745      |
| 5. Peso Agua, [gr]                | 2.000       | 2.939       | 3.511       |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          | 9.260       | 12.051      | 13.333      |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      | 21.598      | 24.388      | 26.333      |



**B. LÍMITE PLÁSTICO**

| Procedimiento                     | Tara No. 01 | Tara No. 02 | Tara No. 03 |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 1. No de Golpes                   |             |             |             |
| 2. Peso Tara, [gr]                | 26.980      | 27.070      | 27.120      |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 28.220      | 28.450      | 28.654      |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 27.987      | 28.187      | 28.365      |
| 5. Peso Agua, [gr]                | 0.233       | 0.263       | 0.289       |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          | 1.007       | 1.117       | 1.245       |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      | 23.138      | 23.545      | 23.213      |

|                      |       |
|----------------------|-------|
| Límite Líquido %     | 25.00 |
| Límite Plástico %    | 23.30 |
| Índice Plasticidad % | 1.70  |
| Clasif. SUCS         | SM    |
| Clasif. AASHTO       | A-2-4 |

**3. CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM - D2216)**

| Procedimiento                     | Tara No |
|-----------------------------------|---------|
| 1. Peso Tara, [gr]                | 27.260  |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 78.660  |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 74.052  |
| 4. Peso Agua, [gr]                | 4.608   |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr]          | 46.792  |
| 6. Contenido de Humedad, [%]      | 9.848   |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

**TESISTAS:** Capuñay Aguirre Christian Eduardo  
Pastor Olascuaga Cristian Jharol

**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Diaz

**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

**ASESOR:** Ing. Julio César Rivasplata Diaz

**FECHA:** 10/10/2020

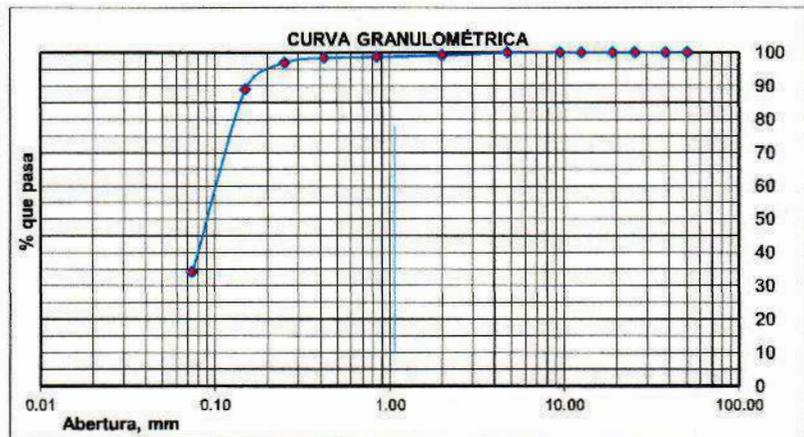
**CALICATA Nº3  
PROFUNDIDAD**

de -0.00m. a -0.60 m.

**1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)**

Peso Inicial Seco, [gr] 556.000

| Mallas   | Abertura [mm] | Peso retenido [grs] | % pasa |
|----------|---------------|---------------------|--------|
| 2"       | 50.800        | 0.000               | 100.00 |
| 1 1/2"   | 38.100        | 0.000               | 100.00 |
| 1"       | 25.400        | 0.000               | 100.00 |
| 3/4"     | 19.050        | 0.000               | 100.00 |
| 1/2"     | 12.500        | 0.000               | 100.00 |
| 3/8"     | 9.500         | 0.000               | 100.00 |
| Nº 04    | 4.750         | 0.000               | 100.00 |
| Nº 10    | 2.000         | 4.000               | 99.28  |
| Nº 20    | 0.840         | 3.000               | 98.74  |
| Nº 40    | 0.420         | 2.000               | 98.38  |
| Nº 60    | 0.250         | 8.000               | 96.94  |
| Nº 100   | 0.149         | 44.000              | 89.03  |
| Nº 200   | 0.074         | 305.000             | 34.17  |
| < Nº 200 | -             | 190.000             | -      |



Cu=N.P

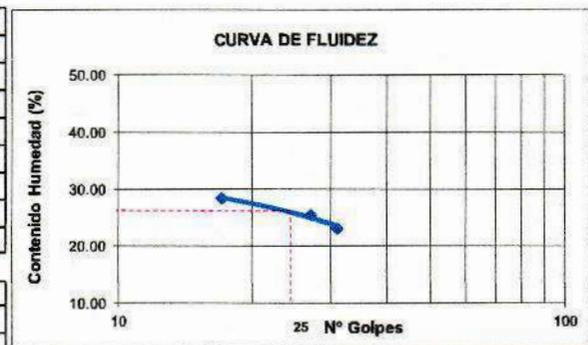
Cc= N.P

**2. LÍMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERGBER (ASTM - D4318)**

ARENA LIMOSA

**A. LÍMITE LÍQUIDO**

| Procedimiento                     | Tara No. 01 | Tara No. 02 | Tara No. 03 |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 1. No de Golpes                   | 31          | 27          | 17          |
| 2. Peso Tara, [gr]                | 27.000      | 27.210      | 27.380      |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 45.370      | 39.760      | 37.990      |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 41.920      | 37.210      | 35.645      |
| 5. Peso Agua, [gr]                | 3.450       | 2.550       | 2.345       |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          | 14.920      | 10.000      | 8.265       |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      | 23.123      | 25.500      | 28.373      |



**B. LÍMITE PLÁSTICO**

| Procedimiento                     | Tara No. 01 | Tara No. 02 | Tara No. 03 |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 1. No de Golpes                   |             |             |             |
| 2. Peso Tara, [gr]                | 27.260      | 27.260      | 27.120      |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 31.880      | 31.745      | 31.125      |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 31.037      | 30.935      | 30.401      |
| 5. Peso Agua, [gr]                | 0.843       | 0.810       | 0.724       |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          | 3.777       | 3.675       | 3.281       |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      | 22.319      | 22.041      | 22.066      |

|                      |       |
|----------------------|-------|
| Límite Líquido %     | 27.00 |
| Límite Plástico %    | 22.14 |
| Índice Plasticidad % | 4.86  |
| Clasif. SUCS         | SM    |
| Clasif. AASHTO       | A-2-4 |

**3. CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM - D2216)**

| Procedimiento                     | Tara No |
|-----------------------------------|---------|
| 1. Peso Tara, [gr]                | 27.380  |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 47.080  |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 45.360  |
| 4. Peso Agua, [gr]                | 1.720   |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr]          | 17.980  |
| 6. Contenido de Humedad, [%]      | 9.566   |





# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"

TESISTAS: Capuñay Aguirre Christian Eduardo  
Pastor Olascuaga Cristian Jharol

JEFE DE LABORATORIO: Ing. Julio César Rivasplata Diaz  
LUGAR: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS  
FECHA: 10/10/2020

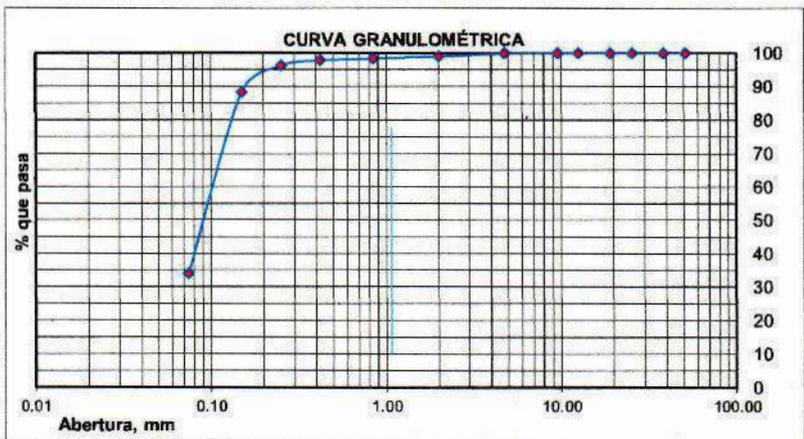
CALICATA N° 4  
PROFUNDIDAD

de -0.00 m. a -0.60 m.

## 1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)

Peso Inicial Seco, [gr] 563.000

| Mallas   | Abertura [mm] | Peso retenido [grs] | % pasa |
|----------|---------------|---------------------|--------|
| 2"       | 50.800        | 0.000               | 100.00 |
| 1 1/2"   | 38.100        | 0.000               | 100.00 |
| 1"       | 25.400        | 0.000               | 100.00 |
| 3/4"     | 19.050        | 0.000               | 100.00 |
| 1/2"     | 12.500        | 0.000               | 100.00 |
| 3/8"     | 9.500         | 0.000               | 100.00 |
| N° 04    | 4.750         | 0.000               | 100.00 |
| N° 10    | 2.000         | 5.000               | 99.11  |
| N° 20    | 0.840         | 4.000               | 98.40  |
| N° 40    | 0.420         | 3.000               | 97.87  |
| N° 60    | 0.250         | 9.000               | 96.27  |
| N° 100   | 0.149         | 45.000              | 88.28  |
| N° 200   | 0.074         | 306.000             | 33.93  |
| < N° 200 | -             | 191.000             | -      |



Cu=N.P

Cc=N.P

## 2. LÍMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERGBER (ASTM - D4318)

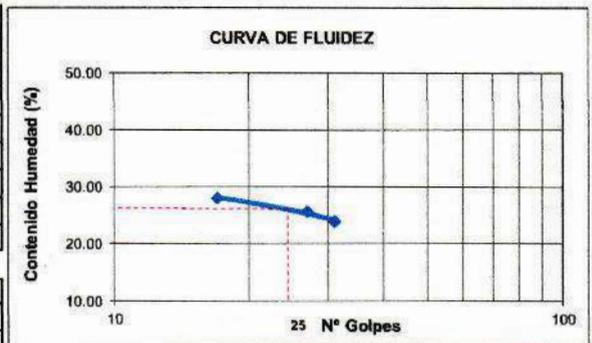
### A. LÍMITE LÍQUIDO

| Procedimiento                     | Tara No. 01 | Tara No. 02 | Tara No. 03 |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 1. No de Golpes                   | 31          | 27          | 17          |
| 2. Peso Tara, [gr]                | 27.000      | 27.210      | 27.380      |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 45.400      | 39.900      | 37.900      |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 41.850      | 37.310      | 35.600      |
| 5. Peso Agua, [gr]                | 3.550       | 2.590       | 2.300       |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          | 14.850      | 10.100      | 8.220       |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      | 23.906      | 25.644      | 27.981      |

### B. LÍMITE PLÁSTICO

| Procedimiento                     | Tara No. 01 | Tara No. 02 | Tara No. 03 |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 1. No de Golpes                   |             |             |             |
| 2. Peso Tara, [gr]                | 27.070      | 27.260      | 27.380      |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 30.500      | 31.890      | 37.900      |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 29.880      | 31.042      | 35.987      |
| 5. Peso Agua, [gr]                | 0.620       | 0.848       | 1.913       |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          | 2.810       | 3.782       | 8.607       |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      | 22.064      | 22.422      | 22.226      |

ARENA LIMOSA



|                      |       |
|----------------------|-------|
| Límite Líquido %     | 26.00 |
| Límite Plástico %    | 22.24 |
| Índice Plasticidad % | 3.76  |
| Clasif. SUCS         | SM    |
| Clasif. AASHTO       | A-2-4 |

## 3. CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM - D2216)

| Procedimiento                     | Tara No |
|-----------------------------------|---------|
| 1. Peso Tara, [gr]                | 27.380  |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 47.090  |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 45.350  |
| 4. Peso Agua, [gr]                | 1.740   |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr]          | 17.970  |
| 6. Contenido de Humedad, [%]      | 9.683   |





# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"

TESISTAS: Capuñay Aguirre Christiaan Eduardo  
Pastor Olascuaga Cristian Jharol

JEFE DE LABORATORIO: Ing. Julio César Rivasplata Diaz

LUGAR: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

ASESOR: Ing. Julio César Rivasplata Diaz

FECHA: 10/10/2020

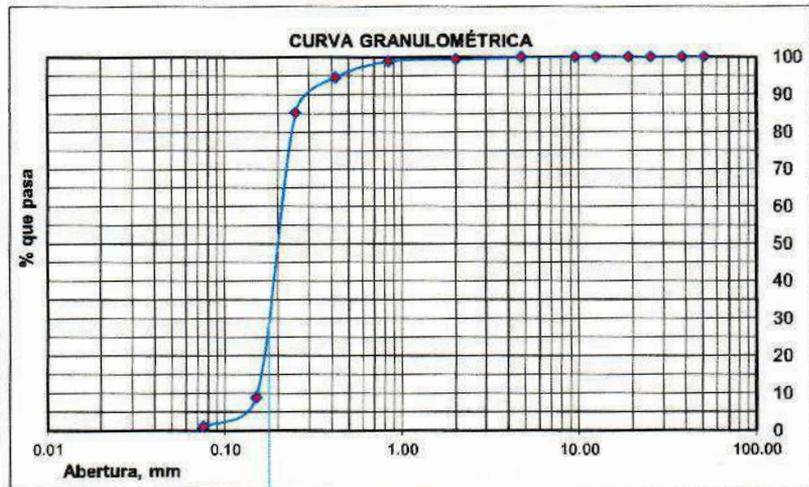
CALICATA N° 5

PROFUNDIDAD : De -0.00 m. A -0.60 m.

## 1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)

Peso Inicial Seco, [gr] 1630.000

| Mallas   | Abertura [mm] | Peso retenido [grs] | % pasa |
|----------|---------------|---------------------|--------|
| 2"       | 50.800        | 0                   | 100.00 |
| 1 1/2"   | 38.100        | 0                   | 100.00 |
| 1"       | 25.400        | 0                   | 100.00 |
| 3/4"     | 19.050        | 0                   | 100.00 |
| 1/2"     | 12.500        | 0                   | 100.00 |
| 3/8"     | 9.500         | 0                   | 100.00 |
| N° 04    | 4.750         | 0                   | 100.00 |
| N° 10    | 2.000         | 9                   | 99.45  |
| N° 20    | 0.840         | 9                   | 98.90  |
| N° 40    | 0.420         | 70                  | 94.60  |
| N° 60    | 0.250         | 153                 | 85.21  |
| N° 100   | 0.149         | 1244                | 8.90   |
| N° 200   | 0.075         | 125                 | 1.23   |
| < N° 200 | -             | 20.00               | -      |



Cu=1.24

Cc= 1.01

SUELO MAL GRADUADO

## 2. LÍMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERBERG (ASTM - D4318)

### A. LÍMITE LÍQUIDO

| Procedimiento                     |             |  |  |
|-----------------------------------|-------------|--|--|
| 1. No de Golpes                   |             |  |  |
| 2. Peso Tara, [gr]                |             |  |  |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] |             |  |  |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | NO PRESENTA |  |  |
| 5. Peso Agua, [gr]                |             |  |  |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          |             |  |  |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      |             |  |  |

### ARENA MAL GRADUADA

|                      |     |
|----------------------|-----|
| Límite Líquido %     | NP  |
| Límite Plástico %    | NP  |
| Índice Plasticidad % | NP  |
| Clasif. SUCS         | SP  |
| Clasif. AASHTO       | A-3 |

### B. LÍMITE PLÁSTICO

| Procedimiento                     |             |  |  |
|-----------------------------------|-------------|--|--|
| 1. No de Golpes                   |             |  |  |
| 2. Peso Tara, [gr]                |             |  |  |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | NO PRESENTA |  |  |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   |             |  |  |
| 5. Peso Agua, [gr]                |             |  |  |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          |             |  |  |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      |             |  |  |

## 3. CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM - D2216)

| Procedimiento                     | Tara No |
|-----------------------------------|---------|
| 1. Peso Tara, [gr]                | 27.490  |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 53.790  |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 53.700  |
| 4. Peso Agua, [gr]                | 0.090   |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr]          | 26.210  |
| 6. Contenido de Humedad, [%]      | 0.343   |





# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"

TESISTAS: Capuñay Aguirre Christiaan Eduardo  
Pastor Olascuaga Cristian Jharol

JEFE DE LABORATORIO: Ing. Julio César Rivasplata Diaz

LUGAR: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

ASESOR: Ing. Julio César Rivasplata Diaz

FECHA: 10/10/2020

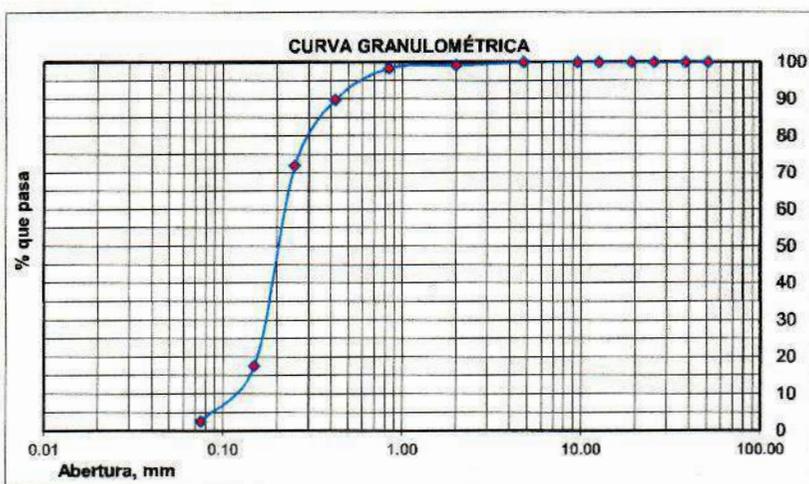
### CALICATA N° 6

PROFUNDIDAD : De -0.00 m. A -0.60 m.

### 1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)

Peso Inicial Seco, [gr] 843.000

| Mallas   | Abertura [mm] | Peso retenido [grs] | % pasa |
|----------|---------------|---------------------|--------|
| 2"       | 50.800        | 0                   | 100.00 |
| 1 1/2"   | 38.100        | 0                   | 100.00 |
| 1"       | 25.400        | 0                   | 100.00 |
| 3/4"     | 19.050        | 0                   | 100.00 |
| 1/2"     | 12.500        | 0                   | 100.00 |
| 3/8"     | 9.500         | 0                   | 100.00 |
| N° 04    | 4.750         | 0                   | 100.00 |
| N° 10    | 2.000         | 7                   | 99.17  |
| N° 20    | 0.840         | 7                   | 98.34  |
| N° 40    | 0.420         | 72                  | 89.80  |
| N° 60    | 0.250         | 150                 | 72.00  |
| N° 100   | 0.149         | 459                 | 17.56  |
| N° 200   | 0.075         | 126                 | 2.61   |
| < N° 200 | -             | 22.00               | -      |



Cu=1.85

Cc= 1.03

SUELO MAL GRADUADO

### 2. LÍMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERBERG (ASTM - D4318)

#### A. LÍMITE LÍQUIDO

| Procedimiento                     |  |  |             |
|-----------------------------------|--|--|-------------|
| 1. No de Golpes                   |  |  |             |
| 2. Peso Tara, [gr]                |  |  |             |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] |  |  |             |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   |  |  | NO PRESENTA |
| 5. Peso Agua, [gr]                |  |  |             |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          |  |  |             |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      |  |  |             |

#### ARENA MAL GRADUADA

|                      |     |
|----------------------|-----|
| Límite Líquido %     | NP  |
| Límite Plástico %    | NP  |
| Índice Plasticidad % | NP  |
| Índice de Grupo      | 0   |
| Clasif. SUCS         | SP  |
| Clasif. AASHTO       | A-3 |

#### B. LÍMITE PLÁSTICO

| Procedimiento                     |  |  |             |
|-----------------------------------|--|--|-------------|
| 1. No de Golpes                   |  |  |             |
| 2. Peso Tara, [gr]                |  |  |             |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] |  |  | NO PRESENTA |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   |  |  |             |
| 5. Peso Agua, [gr]                |  |  |             |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          |  |  |             |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      |  |  |             |

### 3. CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM - D2216)

| Procedimiento                     | Tara No |
|-----------------------------------|---------|
| 1. Peso Tara, [gr]                | 27.490  |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 53.800  |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 53.690  |
| 4. Peso Agua, [gr]                | 0.110   |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr]          | 26.200  |
| 6. Contenido de Humedad, [%]      | 0.420   |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

**TESISTAS:** Capuñay Aguirre Christiaan Eduardo  
Pastor Olascuaga Cristian Jharol

**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Diaz

**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

**ASESOR:** Ing. Julio César Rivasplata Diaz

**FECHA:** 10/10/2020

**CALICATA N° 7**

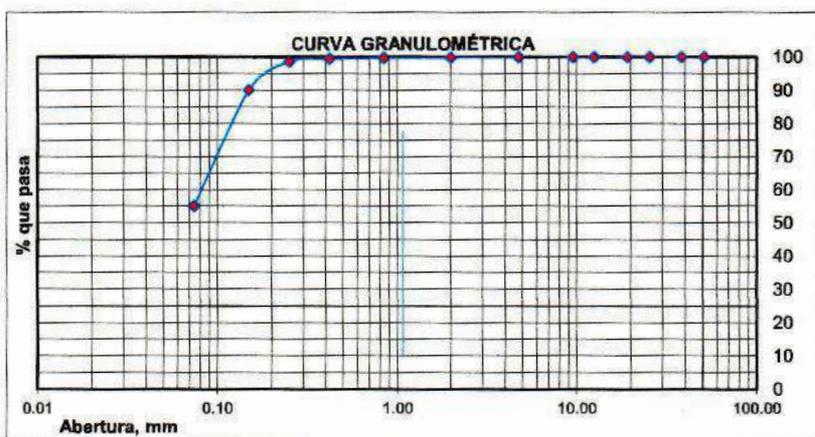
**PROFUNDIDAD**

de -0.00 m. a -0.60 m.

**1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)**

Peso Inicial Seco, [gr] 760.000

| Mallas   | Abertura [mm] | Peso retenido [grs] | % pasa |
|----------|---------------|---------------------|--------|
| 2"       | 50.800        | 0.000               | 100.00 |
| 1 1/2"   | 38.100        | 0.000               | 100.00 |
| 1"       | 25.400        | 0.000               | 100.00 |
| 3/4"     | 19.050        | 0.000               | 100.00 |
| 1/2"     | 12.500        | 0.000               | 100.00 |
| 3/8"     | 9.500         | 0.000               | 100.00 |
| N° 04    | 4.750         | 0.000               | 100.00 |
| N° 10    | 2.000         | 1.000               | 99.87  |
| N° 20    | 0.840         | 1.000               | 99.74  |
| N° 40    | 0.420         | 2.000               | 99.47  |
| N° 60    | 0.250         | 6.000               | 98.68  |
| N° 100   | 0.149         | 66.000              | 90.00  |
| N° 200   | 0.074         | 265.000             | 55.13  |
| < N° 200 | -             | 419.000             | -      |



Cu=N.P

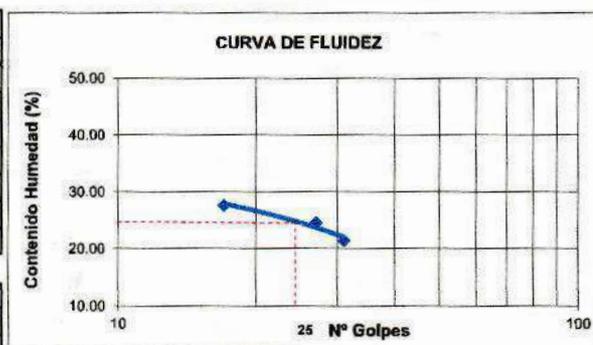
Cc=N.P

**2. LÍMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERBER (ASTM - D4318)**

**LIMO INORGÁNICO**

**A. LÍMITE LÍQUIDO**

| Procedimiento                     | Tara No. 01 | Tara No. 02 | Tara No. 03 |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 1. No de Golpes                   | 31          | 27          | 17          |
| 2. Peso Tara, [gr]                | 26.980      | 27.260      | 27.490      |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 38.780      | 41.250      | 36.540      |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 36.700      | 38.489      | 34.580      |
| 5. Peso Agua, [gr]                | 2.080       | 2.761       | 1.960       |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          | 9.720       | 11.229      | 7.090       |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      | 21.399      | 24.588      | 27.645      |



**B. LÍMITE PLÁSTICO**

| Procedimiento                     | Tara No. 01 | Tara No. 02 | Tara No. 03 |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 1. No de Golpes                   |             |             |             |
| 2. Peso Tara, [gr]                | 27.380      | 27.070      | 27.120      |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 29.640      | 29.480      | 28.654      |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 29.258      | 29.075      | 28.398      |
| 5. Peso Agua, [gr]                | 0.382       | 0.405       | 0.256       |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          | 1.878       | 2.005       | 1.278       |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      | 20.341      | 20.200      | 20.031      |

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| Límite Líquido %        | 24.00 |
| Límite Plástico %       | 20.19 |
| Índice de Plasticidad % | 3.81  |
| Índice de Grupo         | 4     |
| Clasif. SUCS            | ML    |
| Clasif. AASHTO          | A-4   |

**3. CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM - D2216)**

| Procedimiento                     | Tara No |
|-----------------------------------|---------|
| 1. Peso Tara, [gr]                | 26.980  |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 56.950  |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 55.425  |
| 4. Peso Agua, [gr]                | 1.525   |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr]          | 28.445  |
| 6. Contenido de Humedad, [%]      | 5.361   |





# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"

TESISTAS: Capuñay Aguirre Christian Eduardo  
Pastor Olaseuaga Cristian Jharol

JEFE DE LABORATORIO: Ing. Julio César Rivasplata Diaz

LUGAR: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

ASESOR: Ing. Julio César Rivasplata Diaz

FECHA: 10/10/2020

## CALICATA N° 8

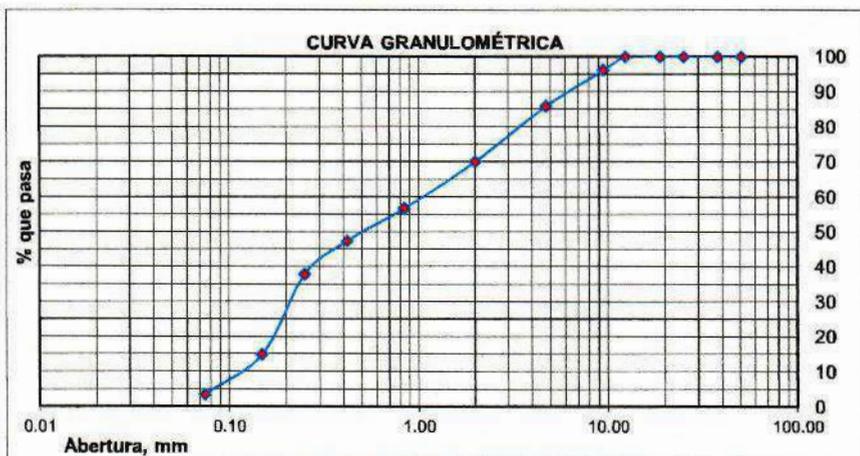
### PROFUNDIDAD

de -0.00 m. a -0.60 m.

### 1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)

Peso Inicial Seco, [gr] 753.000

| Mallas   | Abertura [mm] | Peso retenido [grs] | % pasa |
|----------|---------------|---------------------|--------|
| 2"       | 50.800        | 0.000               | 100.00 |
| 1 1/2"   | 38.100        | 0.000               | 100.00 |
| 1"       | 25.400        | 0.000               | 100.00 |
| 3/4"     | 19.050        | 0.000               | 100.00 |
| 1/2"     | 12.500        | 0.000               | 100.00 |
| 3/8"     | 9.500         | 29.000              | 96.15  |
| N° 04    | 4.750         | 77.000              | 85.92  |
| N° 10    | 2.000         | 119.000             | 70.12  |
| N° 20    | 0.840         | 100.000             | 56.84  |
| N° 40    | 0.420         | 71.000              | 47.41  |
| N° 60    | 0.250         | 72.000              | 37.85  |
| N° 100   | 0.149         | 173.000             | 14.87  |
| N° 200   | 0.074         | 85.000              | 3.59   |
| < N° 200 | -             | 27.000              | -      |



Cu=8.3 Cc= 0.33

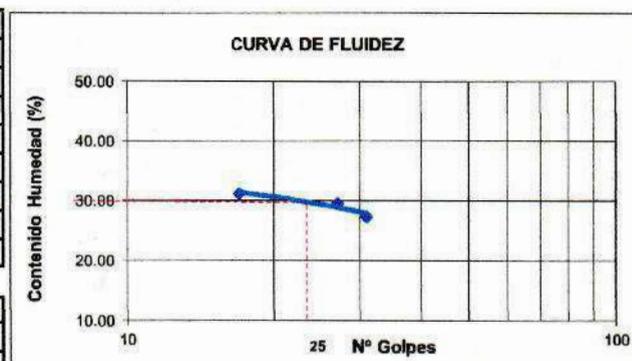
MAL GRADUADA

### 2. LÍMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERGBER (ASTM - D4318)

ARENA GRUESA MAL GRADUADA

#### A. LÍMITE LÍQUIDO

| Procedimiento                     | Tara No. 01 | Tara No. 02 | Tara No. 03 |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 1. No de Golpes                   | 31          | 27          | 17          |
| 2. Peso Tara, [gr]                | 27.380      | 27.260      | 27.490      |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 47.690      | 46.650      | 41.030      |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 43.325      | 42.230      | 37.810      |
| 5. Peso Agua, [gr]                | 4.365       | 4.420       | 3.220       |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          | 15.945      | 14.970      | 10.320      |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      | 27.375      | 29.526      | 31.202      |



#### B. LÍMITE PLÁSTICO

| Procedimiento                     | Tara No. 01 | Tara No. 02 | Tara No. 03 |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 1. No de Golpes                   |             |             |             |
| 2. Peso Tara, [gr]                | 27.210      | 26.980      | 27.120      |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 29.280      | 28.170      | 28.654      |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 28.875      | 27.950      | 28.365      |
| 5. Peso Agua, [gr]                | 0.405       | 0.220       | 0.289       |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          | 1.665       | 0.970       | 1.245       |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      | 24.324      | 22.680      | 23.213      |

|                      |       |
|----------------------|-------|
| Límite Líquido %     | 30.00 |
| Límite Plástico %    | 23.41 |
| Índice Plasticidad % | 6.59  |
| Índice de Grupo      | 0     |
| Clasif. SUCS         | SP    |
| Clasif. AASHTO       | A-1-b |

### 3. CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM - D2216)

| Procedimiento                     | Tara No |
|-----------------------------------|---------|
| 1. Peso Tara, [gr]                | 27.070  |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 83.050  |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 81.254  |
| 4. Peso Agua, [gr]                | 1.796   |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr]          | 54.184  |
| 6. Contenido de Humedad, [%]      | 3.315   |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"

TESISTAS: Capuñay Aguirre Christiaan Eduardo  
Pastor Olascuaga Cristian Jharol

JEFE DE LABORATORIO: Ing. Julio César Rivasplata Díaz

ASESOR: Ing. Julio César Rivasplata Díaz

LUGAR: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS  
FECHA: 10/10/2020

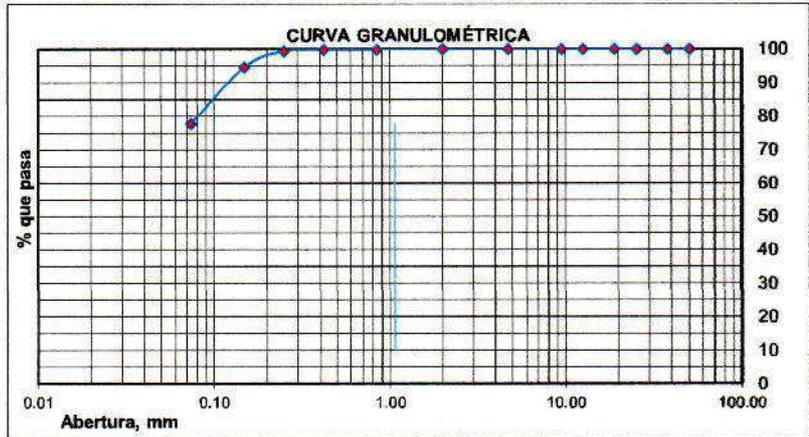
**CALICATA N° 9  
PROFUNDIDAD**

de -0.00 m. a -0.60 m.

**1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)**

Peso Inicial Seco, [gr] 1056.000

| Mallas   | Abertura [mm] | Peso retenido [grs] | % pasa |
|----------|---------------|---------------------|--------|
| 2"       | 50.800        | 0.000               | 100.00 |
| 1 1/2"   | 38.100        | 0.000               | 100.00 |
| 1"       | 25.400        | 0.000               | 100.00 |
| 3/4"     | 19.050        | 0.000               | 100.00 |
| 1/2"     | 12.500        | 0.000               | 100.00 |
| 3/8"     | 9.500         | 0.000               | 100.00 |
| N° 04    | 4.750         | 0.000               | 100.00 |
| N° 10    | 2.000         | 0.000               | 100.00 |
| N° 20    | 0.840         | 1.000               | 99.91  |
| N° 40    | 0.420         | 1.000               | 99.81  |
| N° 60    | 0.250         | 4.000               | 99.43  |
| N° 100   | 0.149         | 50.000              | 94.70  |
| N° 200   | 0.074         | 177.250             | 77.91  |
| < N° 200 | -             | 822.750             | -      |



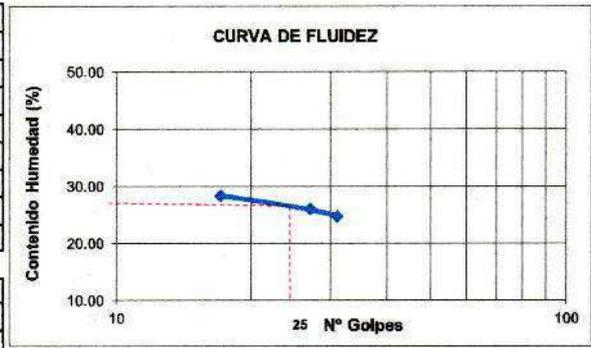
Cu=N.P Cc= N.P

**2. LÍMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERGBER (ASTM - D4318)**

LIMO INORGÁNICO

**A. LÍMITE LÍQUIDO**

| Procedimiento                     | Tara No. 01 | Tara No. 02 | Tara No. 03 |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 1. No de Golpes                   | 31          | 27          | 17          |
| 2. Peso Tara, [gr]                | 27.450      | 27.145      | 27.412      |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 41.867      | 42.480      | 44.256      |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 39.010      | 39.314      | 40.545      |
| 5. Peso Agua, [gr]                | 2.857       | 3.166       | 3.711       |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          | 11.560      | 12.169      | 13.133      |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      | 24.715      | 26.017      | 28.257      |



**B. LÍMITE PLÁSTICO**

| Procedimiento                     | Tara No. 01 | Tara No. 02 | Tara No. 03 |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 1. No de Golpes                   |             |             |             |
| 2. Peso Tara, [gr]                | 27.352      | 27.070      | 27.120      |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 28.650      | 28.450      | 28.654      |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 28.415      | 28.187      | 28.365      |
| 5. Peso Agua, [gr]                | 0.235       | 0.263       | 0.289       |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          | 1.063       | 1.117       | 1.245       |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      | 22.107      | 23.545      | 23.213      |

|                      |       |
|----------------------|-------|
| Límite Líquido %     | 27.00 |
| Límite Plástico %    | 22.96 |
| Índice Plasticidad % | 4.04  |
| Índice de Grupo      | 8     |
| Clasif. SUCS         | ML    |
| Clasif. AASHTO       | A-4   |

**3. CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM - D2216)**

| Procedimiento                     | Tara No |
|-----------------------------------|---------|
| 1. Peso Tara, [gr]                | 23.250  |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 59.840  |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 58.290  |
| 4. Peso Agua, [gr]                | 1.550   |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr]          | 35.040  |
| 6. Contenido de Humedad, [%]      | 4.424   |





# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON  
CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS  
PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"

TESISTAS: Capuñay Aguirre Christiaan Eduardo

JEFE DE LABORATORIO: Ing. Julio César Rivasplata Díaz

Pastor Olasecuaga Cristian Jharol

LUGAR: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

ASESOR: Ing. Julio César Rivasplata Díaz

FECHA: 10/10/2020

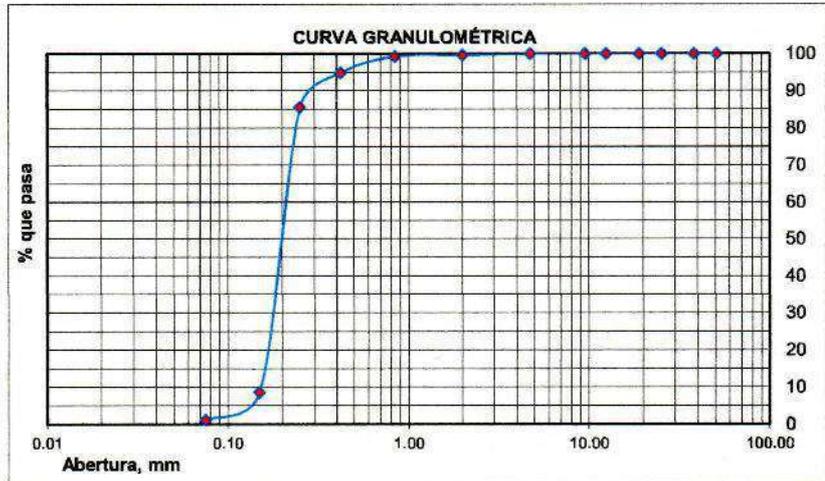
### CALICATA N° 10

PROFUNDIDAD : De -0.00 m. A -0.60 m.

### 1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)

Peso Inicial Seco, [gr] 1615.000

| Mallas   | Abertura [mm] | Peso retenido [grs] | % pasa |
|----------|---------------|---------------------|--------|
| 2"       | 50.800        | 0                   | 100.00 |
| 1 1/2"   | 38.100        | 0                   | 100.00 |
| 1"       | 25.400        | 0                   | 100.00 |
| 3/4"     | 19.050        | 0                   | 100.00 |
| 1/2"     | 12.500        | 0                   | 100.00 |
| 3/8"     | 9.500         | 0                   | 100.00 |
| N° 04    | 4.750         | 0                   | 100.00 |
| N° 10    | 2.000         | 6                   | 99.63  |
| N° 20    | 0.840         | 6                   | 99.26  |
| N° 40    | 0.420         | 70                  | 94.92  |
| N° 60    | 0.250         | 151                 | 85.57  |
| N° 100   | 0.149         | 1243                | 8.61   |
| N° 200   | 0.075         | 120                 | 1.18   |
| < N° 200 | -             | 19.00               | -      |



Cu=1.3

Cc= 0.97

SUELO MAL GRADUADO

### 2. LÍMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERBERG (ASTM - D4318)

#### A. LÍMITE LÍQUIDO

| Procedimiento                     |  |             |  |
|-----------------------------------|--|-------------|--|
| 1. No de Golpes                   |  |             |  |
| 2. Peso Tara, [gr]                |  |             |  |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] |  |             |  |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   |  | NO PRESENTA |  |
| 5. Peso Agua, [gr]                |  |             |  |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          |  |             |  |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      |  |             |  |

#### ARENA MAL GRADUADA

|                      |     |
|----------------------|-----|
| Límite Líquido %     | NP  |
| Límite Plástico %    | NP  |
| Índice Plasticidad % | NP  |
| Índice de Grupo      | 0   |
| Clasif. SUCS         | SP  |
| Clasif. AASHTO       | A-3 |

#### B. LÍMITE PLÁSTICO

| Procedimiento                     |  |             |  |
|-----------------------------------|--|-------------|--|
| 1. No de Golpes                   |  |             |  |
| 2. Peso Tara, [gr]                |  |             |  |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] |  | NO PRESENTA |  |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   |  |             |  |
| 5. Peso Agua, [gr]                |  |             |  |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          |  |             |  |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      |  |             |  |

### 3. CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM - D2216)

| Procedimiento                     | Tara No |
|-----------------------------------|---------|
| 1. Peso Tara, [gr]                | 27.490  |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | 53.820  |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   | 53.710  |
| 4. Peso Agua, [gr]                | 0.110   |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr]          | 26.220  |
| 6. Contenido de Humedad, [%]      | 0.420   |



# **ENSAYO PROCTOR Y CBR**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON  
CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS  
PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"

TESISTAS: Capuñay Aguirre Christian Eduardo

JEFE DE LABORATORIO: Ing. Julio César Rivasplata Diaz

Pastor Olascuaga Cristian Jharol

LUGAR: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

ASESOR: Ing. Julio César Rivasplata Diaz

FECHA: 10/10/2020

### CALICATA C-1, MUESTRA PATRÓN

#### METODO A

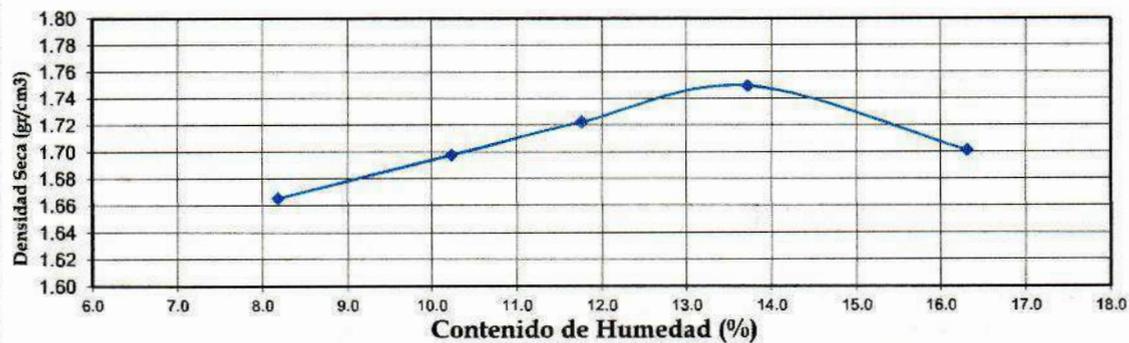
#### ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ( MTC E 115-2000 - ASTN D- 1557)

| PUNTO No. |   | I        | II       | III      | IV       | V        |
|-----------|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| MOLDE No. |   | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 1         | Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                | 932.342  | 932.342  | 932.342  | 932.342  | 932.342  |
| 2         | Peso del molde (gr)                                 | 1755.000 | 1755.000 | 1755.000 | 1755.000 | 1755.000 |
| 3         | Peso del molde + muestra húmeda (gr)                | 3435.000 | 3500.000 | 3550.000 | 3610.000 | 3600.000 |
| 4         | Peso de la muestra húmeda (gr)                      | 1680.000 | 1745.000 | 1795.000 | 1855.000 | 1845.000 |
| 5         | Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.802    | 1.872    | 1.925    | 1.990    | 1.979    |

#### CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA

|    |   |        |        |        |        |        |
|----|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6  | Peso de la tara (gr)                              | 27.900 | 27.700 | 27.500 | 27.100 | 26.500 |
| 7  | Peso de la tara + suelo húmedo (gr)               | 87.400 | 90.200 | 94.000 | 95.900 | 80.700 |
| 8  | Peso de la tara + suelo seco (gr)                 | 82.900 | 84.400 | 87.000 | 87.600 | 73.100 |
| 9  | Peso del agua (gr)                                | 4.500  | 5.800  | 7.000  | 8.300  | 7.600  |
| 10 | Peso del suelo seco (gr)                          | 55.000 | 56.700 | 59.500 | 60.500 | 46.600 |
| 11 | Contenido de humedad (%)                          | 8.182  | 10.229 | 11.765 | 13.719 | 16.309 |
| 12 | Densidad seca de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.666  | 1.698  | 1.723  | 1.750  | 1.701  |

GRAFICO: DENSIDAD vs HUMEDAD



|  |        |
|--|--------|
| Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.750  |
| Contenido de Humedad (%)                   | 13.719 |



|                  |  |   |
|------------------|--|---|
|                  | <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</b>  |   |
|                  | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b><br><b>TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"</b> |   |
| <b>TESISTAS:</b> | Capuñay Aguirre Christian Eduardo<br>Pastor Olascuaga Cristian Jharol  | <b>JEFE DE LABORATORIO:</b> Ing. Julio César Rivasplata Díaz<br><b>LUGAR:</b> Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS |
| <b>ASESOR:</b>   | Ing. Julio César Rivasplata Díaz   | <b>FECHA:</b> 10/10/2020  |

|   |
|---|
| <b>ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO - C.B.R. (ASTM D-1883)</b> |
| <b>CALICATA C-1, MUESTRA PATRÓN</b>                           |

**a) Ensayo preliminar de Proctor modificado**

|  |       |
|--|-------|
| Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.750 |
| Optimo Contenido de Humedad (%)            | 13.72 |

**b) Compactación de los moldes CBR**

| Molde N°              |  | I        | II       | III      |
|-----------------------|--|----------|----------|----------|
| N° de capas           |  | 5        | 5        | 5        |
| N° de golpes por capa |  | 56       | 26       | 12       |
| 1                     | Peso del molde + suelo compactado [gr] | 13060.00 | 12695.00 | 12460.00 |
| 2                     | Peso del molde [gr]                    | 6780.00  | 6750.00  | 6730.00  |
| 3                     | Peso de suelo compactado [gr]          | (1)-(2)  | 6280.00  | 5945.00  |
| 4                     | Volumen de molde [cm <sup>3</sup> ]    |          | 3151.78  | 3151.78  |
| 5                     | Densidad húmeda [gr/cm <sup>3</sup> ]  | (3)/(4)  | 1.993    | 1.886    |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

| Tara N° |  | 1              | 2     | 3     |
|---------|--|----------------|-------|-------|
| 6       | Peso de la tara, [gr]                              | 26.83          | 27.49 | 27.35 |
| 7       | Peso de la tara + suelo húmedo, [gr]               | 78.13          | 79.69 | 88.85 |
| 8       | Peso de la tara + suelo seco, [gr]                 | 72.23          | 73.69 | 81.75 |
| 9       | Peso del agua, [gr]                                | (7)-(8)        | 5.90  | 7.10  |
| 10      | Peso del suelo seco, [gr]                          | (8)-(6)        | 45.40 | 54.40 |
| 11      | Contenido de humedad, [%]                          | (9)/(10)×100   | 13.00 | 12.99 |
| 12      | Densidad seca de la muestra, [gr/cm <sup>3</sup> ] | 5/(1+(11)/100) | 1.763 | 1.669 |

**c) Prueba de penetración**

Área del anillo = 3 pulg<sup>2</sup>

Presión (libras/pulg<sup>2</sup>) = (L)/3

| Penetración (pulg) | Presión patrón (lb/pulg <sup>2</sup> ) | Molde N° I |         | Molde N° II |         | Molde N° III |         |
|--------------------|--|------------|---------|-------------|---------|--------------|---------|
|                    |  | Dial       | Presión | Dial        | Presión | Dial         | Presión |
| 0.000              |  | 0.0        | 0       | 0.0         | 0       | 0.0          | 0       |
| 0.025              |  | 150.0      | 50      | 90.0        | 30      | 60.0         | 20      |
| 0.050              |  | 279.0      | 93      | 200.0       | 67      | 150.0        | 50      |
| 0.075              |  | 410.0      | 137     | 300.0       | 100     | 222.0        | 74      |
| 0.100              | 1000                                   | 510.0      | 170     | 381.0       | 127     | 294.0        | 98      |
| 0.125              |  | 591.0      | 197     | 462.0       | 154     | 375.0        | 125     |
| 0.150              |  | 666.0      | 222     | 537.0       | 179     | 450.0        | 150     |
| 0.175              |  | 735.0      | 245     | 606.0       | 202     | 519.0        | 173     |
| 0.200              | 1500                                   | 798.0      | 266     | 669.0       | 223     | 582.0        | 194     |
| 0.225              |  | 855.0      | 285     | 726.0       | 242     | 639.0        | 213     |
| 0.250              |  | 906.0      | 302     | 777.0       | 259     | 690.0        | 230     |
| 0.275              |  | 951.0      | 317     | 822.0       | 274     | 735.0        | 245     |
| 0.300              | 1900                                   | 990.0      | 330     | 861.0       | 287     | 774.0        | 258     |
| 0.325              |  | 1023.0     | 341     | 894.0       | 298     | 807.0        | 269     |
| 0.350              |  | 1038.0     | 346     | 909.0       | 303     | 822.0        | 274     |
| 0.375              |  | 1047.0     | 349     | 918.0       | 306     | 831.0        | 277     |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |





**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

**TESISTAS:** Capuñay Aguirre Christian Eduardo

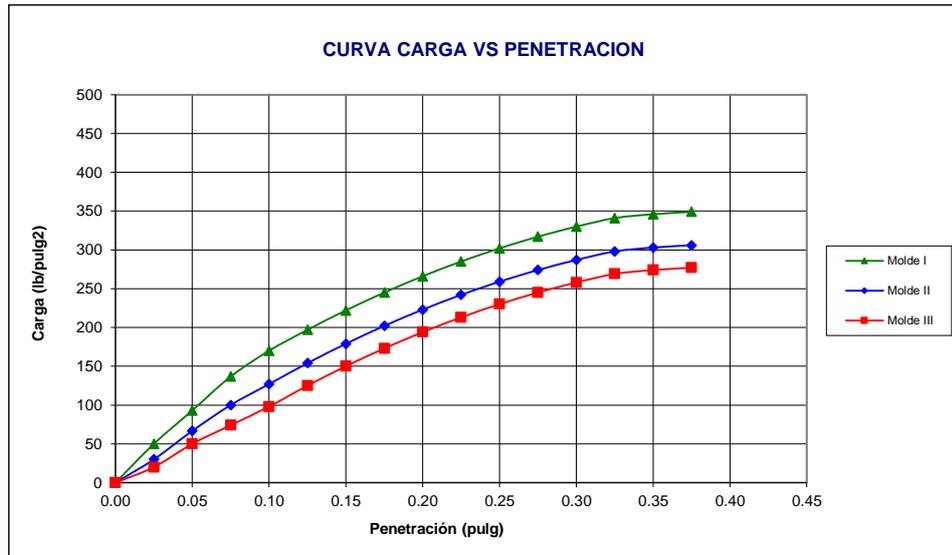
**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Díaz

Pastor Olascuaga Cristian Jharol

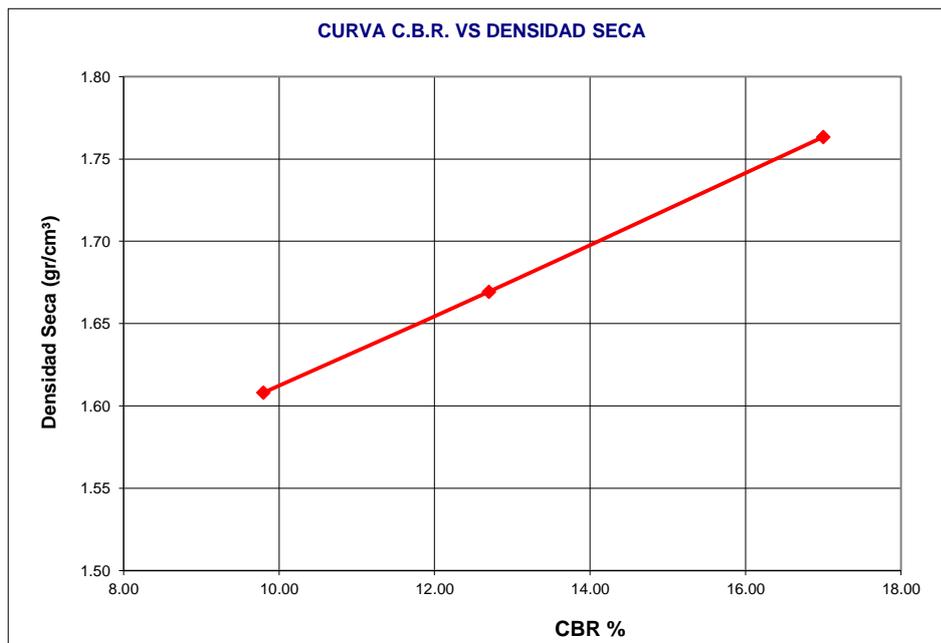
**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

**ASESOR:** Ing. Julio César Rivasplata Díaz

**FECHA:** 10/10/2020



| Molde | Penetración (pulg) | Presión aplicada (lb/pulg²) | Presión aplicada (lb/pulg²) | C.B.R. (%) | Expansión |
|-------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|-----------|
| I     | 0.1                | 170.0                       | 1000                        | 17.00      | 0.00      |
| II    | 0.1                | 127.0                       | 1000                        | 12.70      | 0.00      |
| III   | 0.1                | 98.0                        | 1000                        | 9.80       | 0.00      |



|                   |       |        |
|-------------------|-------|--------|
| C.B.R. 100% MDS : | 1.750 | 16.63% |
|-------------------|-------|--------|

|                  |       |        |
|------------------|-------|--------|
| C.B.R. 95% MDS : | 1.663 | 12.37% |
|------------------|-------|--------|





# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"

TESISTAS: Capuñay Aguirre Christiaan Eduardo  
Pastor Olascuaga Cristian Jharol

JEFE DE LABORATORIO: Ing. Julio César Rivasplata Díaz

LUGAR: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

ASESOR: Ing. Julio César Rivasplata Díaz

FECHA: 10/10/2020

## CALICATA C-1, CON 25% DE CENIZAS

### METODO A

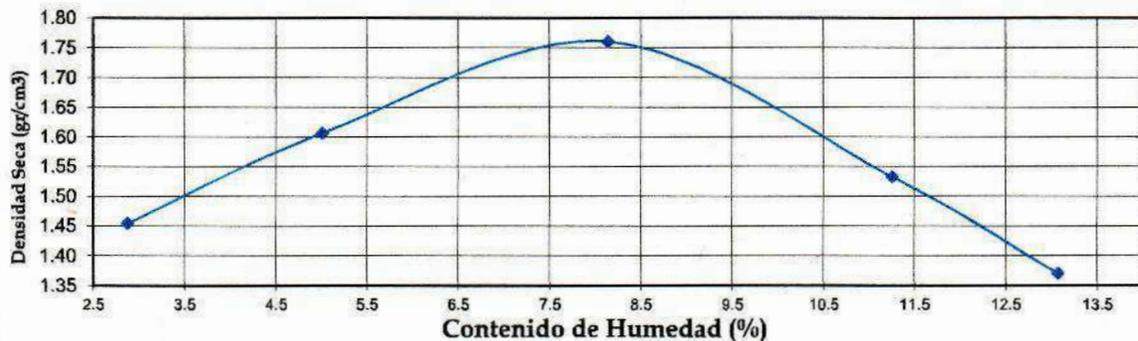
#### ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ( MTC E 115-2000 - ASTN D- 1557)

| PUNTO No. |   | I        | II       | III      | IV       | V        |
|-----------|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| MOLDE No. |   | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 1         | Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                | 932.342  | 932.342  | 932.342  | 932.342  | 932.342  |
| 2         | Peso del molde (gr)                                 | 1755.000 | 1755.000 | 1755.000 | 1755.000 | 1755.000 |
| 3         | Peso del molde + muestra húmeda (gr)                | 3150.000 | 3328.000 | 3530.000 | 3345.000 | 3200.000 |
| 4         | Peso de la muestra húmeda (gr)                      | 1395.000 | 1573.000 | 1775.000 | 1590.000 | 1445.000 |
| 5         | Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.496    | 1.687    | 1.904    | 1.705    | 1.550    |

#### CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA

|    |   |        |        |        |        |        |
|----|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6  | Peso de la tara (gr)                              | 32.500 | 32.450 | 32.510 | 32.000 | 32.055 |
| 7  | Peso de la tara + suelo húmedo (gr)               | 55.658 | 53.648 | 61.025 | 65.665 | 60.659 |
| 8  | Peso de la tara + suelo seco (gr)                 | 55.011 | 52.636 | 58.879 | 62.259 | 57.352 |
| 9  | Peso del agua (gr)                                | 0.647  | 1.012  | 2.146  | 3.406  | 3.307  |
| 10 | Peso del suelo seco (gr)                          | 22.511 | 20.186 | 26.369 | 30.259 | 25.297 |
| 11 | Contenido de humedad (%)                          | 2.874  | 5.013  | 8.138  | 11.256 | 13.073 |
| 12 | Densidad seca de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.454  | 1.607  | 1.761  | 1.533  | 1.371  |

GRAFICO: DENSIDAD vs HUMEDAD



|  |       |
|--|-------|
| Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.761 |
| Contenido de Humedad (%)                   | 8.138 |







**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA  
CHIMBOTE - PERU

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON  
CENZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS  
PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

**TESISTAS:** Capuñay Aguirre Christian Eduardo

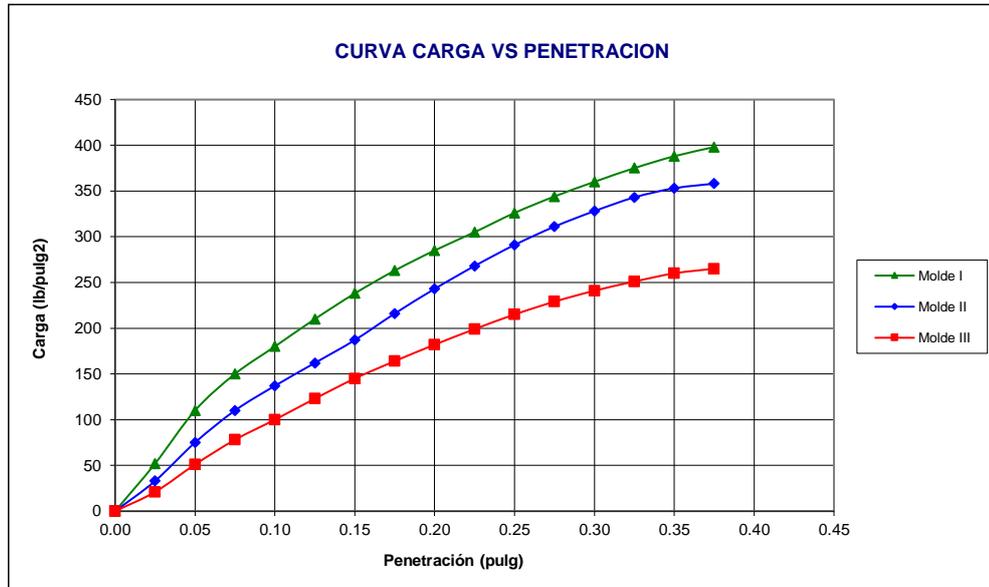
**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Díaz

Pastor Oñaseuaga Cristian Jharol

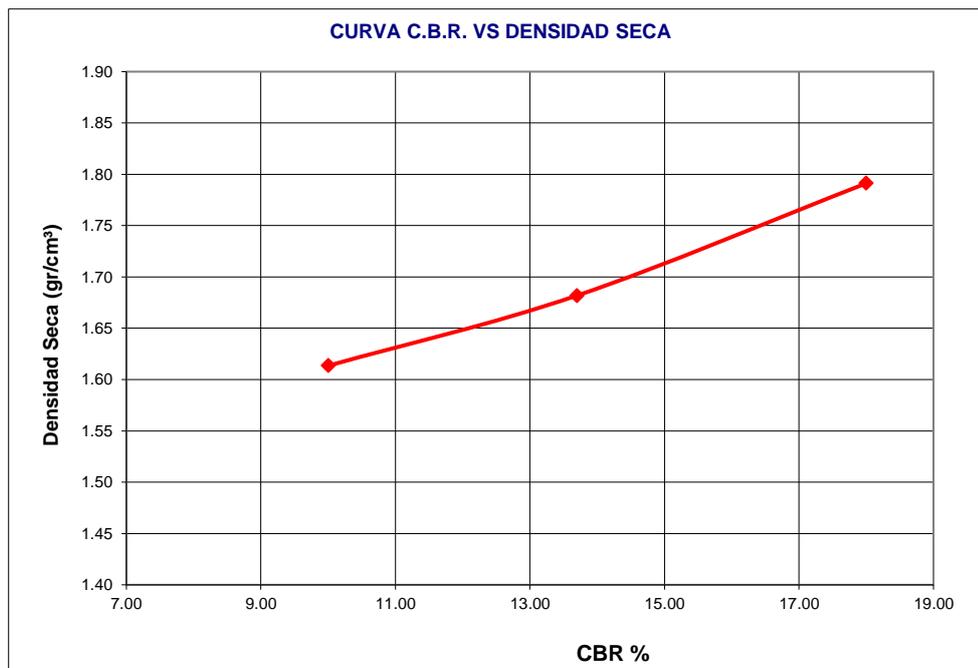
**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

**ASESOR:** Ing. Julio César Rivasplata Díaz

**FECHA:** 10/10/2020



| Molde | Penetración (pulg) | Presión aplicada (lb/pulg²) | Presión aplicada (lb/pulg²) | C.B.R. (%) | Expansión |
|-------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|-----------|
| I     | 0.1                | 180.0                       | 1000                        | 18.00      | 0.00      |
| II    | 0.1                | 137.0                       | 1000                        | 13.70      | 0.00      |
| III   | 0.1                | 100.0                       | 1000                        | 10.00      | 0.00      |



C.B.R. 100% MDS : 1.761 16.81%

CBR 95% MDS : 1.673 13.22%





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

**TESISTAS:** Capuñay Aguirre Christian Eduardo  
Pastor Olascuaga Cristian Jharol  
**ASESOR:** Ing. Julio César Rivasplata Diaz

**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Diaz  
**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS  
**FECHA:** 10/10/2020

**CALICATA C-1, CON 35% DE CENIZAS**

**METODO A**

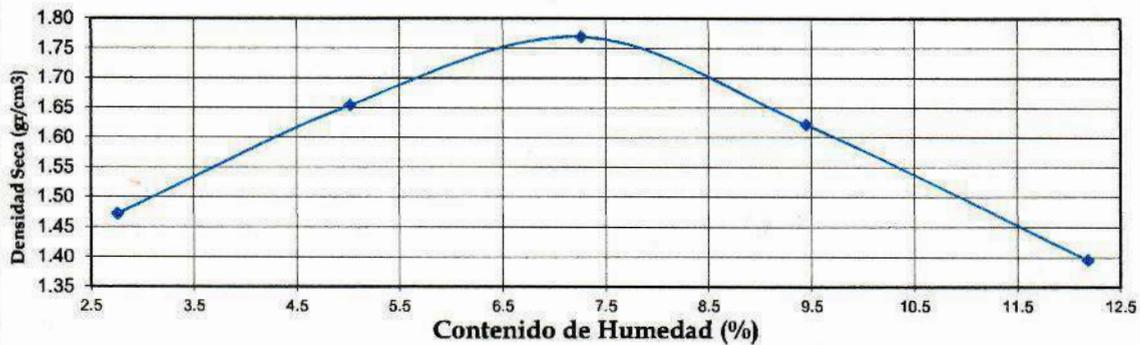
**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ( MTC E 115-2000 - ASTN D- 1557)**

| PUNTO No. |   | I        | II       | III      | IV       | V        |
|-----------|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| MOLDE No. |   | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 1         | Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                | 932.342  | 932.342  | 932.342  | 932.342  | 932.342  |
| 2         | Peso del molde (gr)                                 | 1755.000 | 1755.000 | 1755.000 | 1755.000 | 1755.000 |
| 3         | Peso del molde + muestra húmeda (gr)                | 3165.000 | 3375.000 | 3525.000 | 3410.000 | 3215.000 |
| 4         | Peso de la muestra húmeda (gr)                      | 1410.000 | 1620.000 | 1770.000 | 1655.000 | 1460.000 |
| 5         | Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.512    | 1.738    | 1.898    | 1.775    | 1.566    |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

|    |   |        |        |        |        |        |
|----|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6  | Peso de la tara (gr)                              | 32.500 | 32.450 | 32.510 | 32.000 | 32.055 |
| 7  | Peso de la tara + suelo húmedo (gr)               | 55.658 | 53.648 | 61.025 | 65.665 | 60.659 |
| 8  | Peso de la tara + suelo seco (gr)                 | 55.036 | 52.636 | 59.095 | 62.759 | 57.552 |
| 9  | Peso del agua (gr)                                | 0.622  | 1.012  | 1.930  | 2.906  | 3.107  |
| 10 | Peso del suelo seco (gr)                          | 22.536 | 20.186 | 26.585 | 30.759 | 25.497 |
| 11 | Contenido de humedad (%)                          | 2.760  | 5.013  | 7.260  | 9.448  | 12.186 |
| 12 | Densidad seca de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.472  | 1.655  | 1.770  | 1.622  | 1.396  |

**GRAFICO: DENSIDAD vs HUMEDAD**



|   |              |
|---|--------------|
| <b>Máxima Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>1.770</b> |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                 | <b>7.26</b>  |



|                  |  |  |
|------------------|--|--|
|                  | <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</b>  |  |
|                  | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>   |  |
|                  | <b>TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON<br/>CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS<br/>PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"</b> |  |
| <b>TESISTAS:</b> | Capuñay Aguirre Christian Eduardo<br>Pastor Olascuaga Cristian Jharol  | <b>JEFE DE LABORATORIO:</b> Ing. Julio César Rivasplata Díaz |
| <b>ASESOR:</b>   | Ing. Julio César Rivasplata Díaz   | <b>LUGAR:</b> Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS    |
|                  |  | <b>FECHA:</b> 10/10/2020                                     |

**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO - C.B.R. (ASTM D-1883)**

**CALICATA C-1, CON 35% DE CENIZAS**

a) Ensayo preliminar de Proctor modificado

|  |       |
|--|-------|
| Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.770 |
| Optimo Contenido de Humedad (%)            | 7.26  |

b) Compactación de los moldes CBR

| Molde N°              |  | I        | II       | III      |
|-----------------------|--|----------|----------|----------|
| N° de capas           |  | 5        | 5        | 5        |
| N° de golpes por capa |  | 56       | 26       | 12       |
| 1                     | Peso del molde + suelo compactado [gr] | 12880.00 | 12540.00 | 12220.00 |
| 2                     | Peso del molde [gr]                    | 6780.00  | 6750.00  | 6730.00  |
| 3                     | Peso de suelo compactado [gr]          | (1)-(2)  | 5790.00  | 5490.00  |
| 4                     | Volumen de molde [cm <sup>3</sup> ]    | 3151.78  | 3151.78  | 3151.78  |
| 5                     | Densidad húmeda [gr/cm <sup>3</sup> ]  | (3)/(4)  | 1.84     | 1.74     |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

| Tara N° |  | 1              | 2      | 3      |
|---------|--|----------------|--------|--------|
| 6       | Peso de la tara, [gr]                              | 32.25          | 28.54  | 21.25  |
| 7       | Peso de la tara + suelo húmedo, [gr]               | 56.838         | 54.894 | 57.256 |
| 8       | Peso de la tara + suelo seco, [gr]                 | 55.125         | 52.958 | 54.681 |
| 9       | Peso del agua, [gr]                                | (7)-(8)        | 1.94   | 2.58   |
| 10      | Peso del suelo seco, [gr]                          | (8)-(6)        | 22.88  | 33.43  |
| 11      | Contenido de humedad, [%]                          | (9)/(10)x100   | 7.49   | 7.70   |
| 12      | Densidad seca de la muestra, [gr/cm <sup>3</sup> ] | 5/(1+(11)/100) | 1.801  | 1.702  |

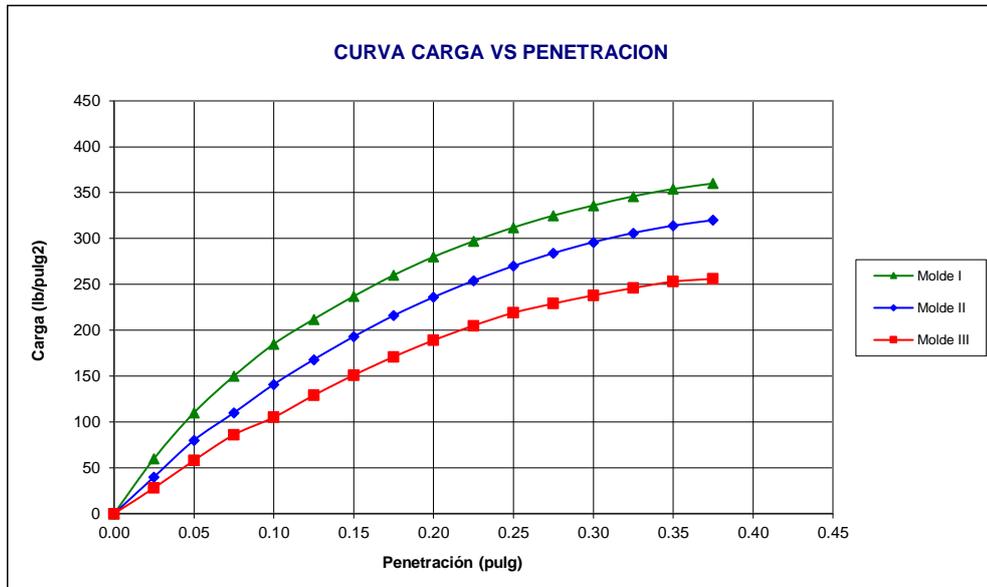
c) Prueba de penetración

Area del anillo = 3 pulg<sup>2</sup>

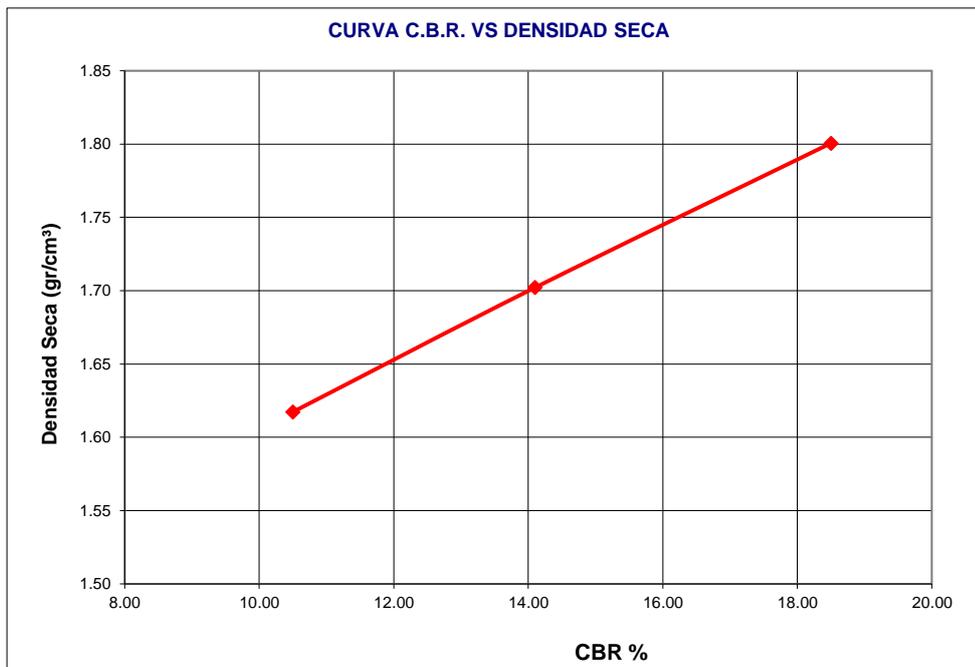
Presión (libras/pulg<sup>2</sup>) = (L) / 3

| Penetración (pulg) | Presión patrón (lb/pulg <sup>2</sup> ) | Molde N° I |         | Molde N° II |         | Molde N° III |         |
|--------------------|--|------------|---------|-------------|---------|--------------|---------|
|                    |  | Dial       | Presión | Dial        | Presión | Dial         | Presión |
| 0.000              |  | 0.0        | 0       | 0.0         | 0       | 0.0          | 0       |
| 0.025              |  | 180.0      | 60      | 120.0       | 40      | 84.0         | 28      |
| 0.050              |  | 330.0      | 110     | 240.0       | 80      | 174.0        | 58      |
| 0.075              |  | 450.0      | 150     | 330.0       | 110     | 258.0        | 86      |
| 0.100              | 1000                                   | 555.0      | 185     | 423.0       | 141     | 315.0        | 105     |
| 0.125              |  | 636.0      | 212     | 504.0       | 168     | 387.0        | 129     |
| 0.150              |  | 711.0      | 237     | 579.0       | 193     | 453.0        | 151     |
| 0.175              |  | 780.0      | 260     | 648.0       | 216     | 513.0        | 171     |
| 0.200              | 1500                                   | 840.0      | 280     | 708.0       | 236     | 567.0        | 189     |
| 0.225              |  | 891.0      | 297     | 762.0       | 254     | 615.0        | 205     |
| 0.250              |  | 936.0      | 312     | 810.0       | 270     | 657.0        | 219     |
| 0.275              |  | 975.0      | 325     | 852.0       | 284     | 687.0        | 229     |
| 0.300              | 1900                                   | 1008.0     | 336     | 888.0       | 296     | 714.0        | 238     |
| 0.325              |  | 1038.0     | 346     | 918.0       | 306     | 738.0        | 246     |
| 0.350              |  | 1062.0     | 354     | 942.0       | 314     | 759.0        | 253     |
| 0.375              |  | 1080.0     | 360     | 960.0       | 320     | 768.0        | 256     |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |





| Molde | Penetración (pulg) | Presión aplicada (lb/pulg²) | Presión aplicada (lb/pulg²) | C.B.R. (%) | Expansión |
|-------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|-----------|
| I     | 0.1                | 185.0                       | 1000                        | 18.50      | 0.00      |
| II    | 0.1                | 141.0                       | 1000                        | 14.10      | 0.00      |
| III   | 0.1                | 105.0                       | 1000                        | 10.50      | 0.00      |



|                   |       |        |
|-------------------|-------|--------|
| C.B.R. 100% MDS : | 1.770 | 17.12% |
|-------------------|-------|--------|

|                  |       |        |
|------------------|-------|--------|
| C.B.R. 95% MDS : | 1.682 | 13.43% |
|------------------|-------|--------|





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

**TESISTAS:** Capuñay Aguirre Christian Eduardo  
Pastor Olascuaga Cristian Jharol

**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Diaz

**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

**ASESOR:** Ing. Julio César Rivasplata Diaz

**FECHA:** 10/10/2020

**CALICATA C-1, CON 45% DE CENIZAS**

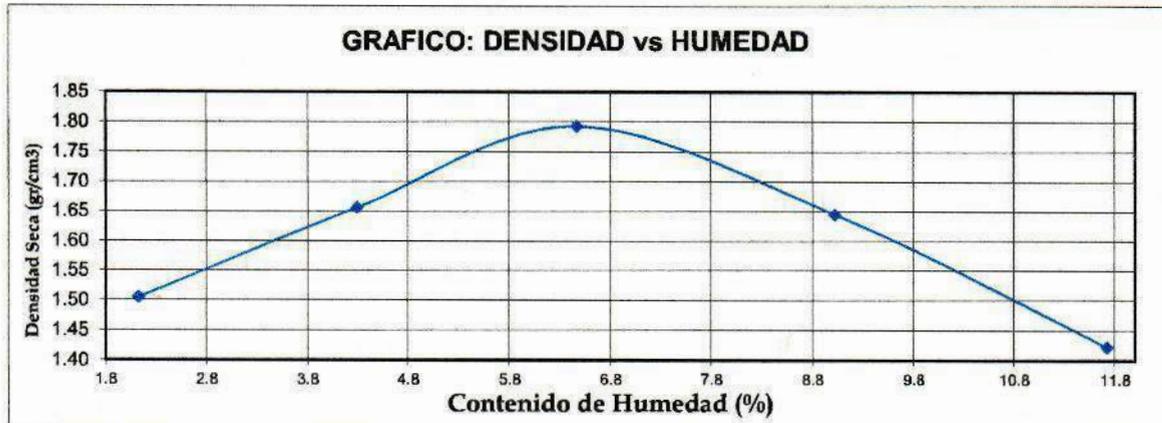
**METODO A**

**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ( MTC E 115-2000 - ASTN D- 1557)**

| PUNTO No. |   | I        | II       | III      | IV       | V        |
|-----------|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| MOLDE No. |   | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 1         | Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                | 947.800  | 947.800  | 947.800  | 947.800  | 947.800  |
| 2         | Peso del molde (gr)                                 | 2500.000 | 2500.000 | 2500.000 | 2500.000 | 2500.000 |
| 3         | Peso del molde + muestra húmeda (gr)                | 3957.000 | 4137.000 | 4309.000 | 4200.000 | 4007.000 |
| 4         | Peso de la muestra húmeda (gr)                      | 1457.000 | 1637.000 | 1809.000 | 1700.000 | 1507.000 |
| 5         | Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.537    | 1.727    | 1.909    | 1.794    | 1.590    |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

|    |   |        |        |        |        |        |
|----|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6  | Peso de la tara (gr)                              | 27.284 | 27.498 | 27.561 | 27.448 | 26.959 |
| 7  | Peso de la tara + suelo húmedo (gr)               | 39.336 | 36.521 | 43.200 | 36.810 | 42.674 |
| 8  | Peso de la tara + suelo seco (gr)                 | 39.085 | 36.150 | 42.250 | 36.035 | 41.025 |
| 9  | Peso del agua (gr)                                | 0.251  | 0.371  | 0.950  | 0.775  | 1.649  |
| 10 | Peso del suelo seco (gr)                          | 11.801 | 8.652  | 14.689 | 8.587  | 14.066 |
| 11 | Contenido de humedad (%)                          | 2.127  | 4.288  | 6.467  | 9.025  | 11.723 |
| 12 | Densidad seca de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.505  | 1.656  | 1.793  | 1.645  | 1.423  |

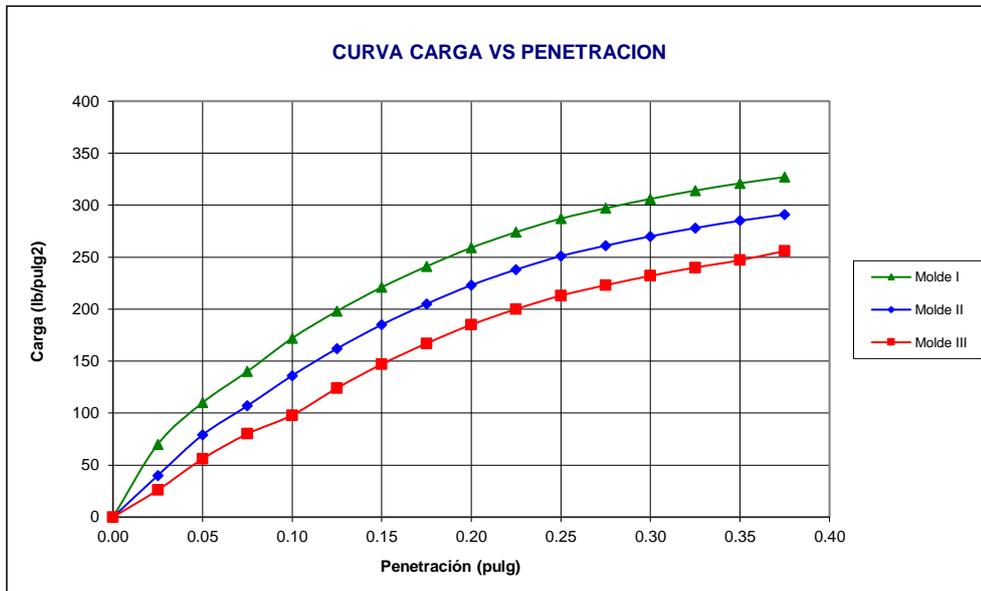


|   |              |
|---|--------------|
| <b>Máxima Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>1.790</b> |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                 | <b>6.47</b>  |

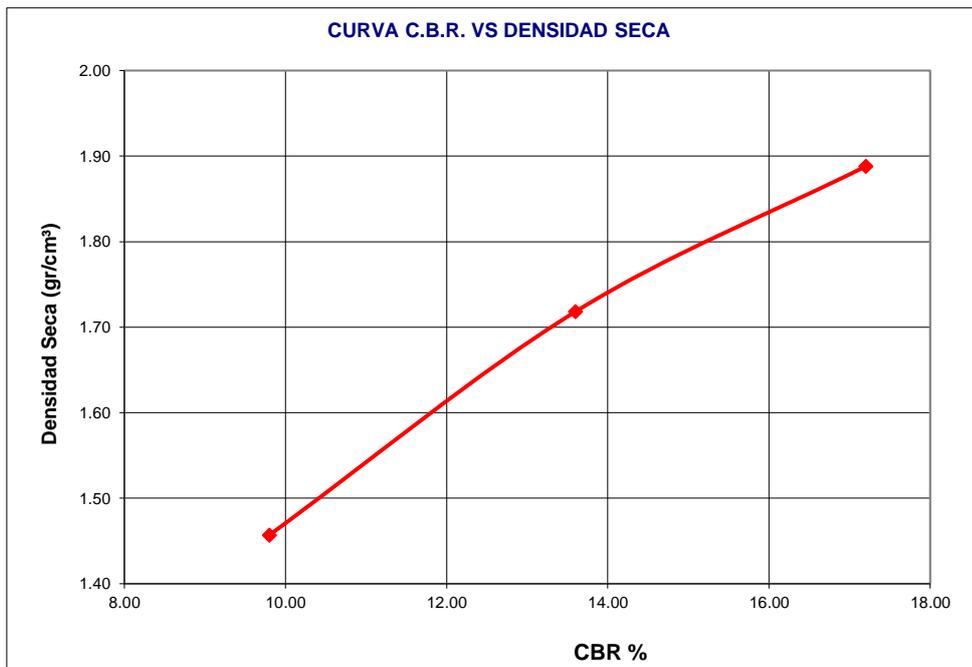




|  |  |
|--|--|
|       | <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</b>  |
|  | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>   |
|  | <b>TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"</b> |
| <b>TESISTAS:</b> Capuñay Aguirre Christian Eduardo<br>Pastor Olascuaga Cristian Jharol | <b>JEFE DE LABORATORIO:</b> Ing. Julio César Rivasplata Díaz<br><b>LUGAR:</b> Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS                        |
| <b>ASESOR:</b> Ing. Julio César Rivasplata Díaz  | <b>FECHA:</b> 10/10/2020   |



| Molde | Penetración (pulg) | Presión aplicada (lb/pulg²) | Presión aplicada (lb/pulg²) | C.B.R. (%) | Expansión |
|-------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|-----------|
| I     | 0.1                | 172.0                       | 1000                        | 17.20      | 0.00      |
| II    | 0.1                | 136.0                       | 1000                        | 13.60      | 0.00      |
| III   | 0.1                | 98.0                        | 1000                        | 9.80       | 0.00      |



|                   |       |        |
|-------------------|-------|--------|
| C.B.R. 100% MDS : | 1.790 | 15.12% |
| C.B.R. 95% MDS :  | 1.70  | 13.34% |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON  
CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS  
PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"

TESISTAS: Capuñay Aguirre Christian Eduardo  
Pastor Olascuaga Cristian Jharol

JEFE DE LABORATORIO: Ing. Julio César Rivasplata Diaz  
LUGAR: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS  
FECHA: 10/10/2020

**CALICATA C-4, MUESTRA PATRÓN**

**METODO A**

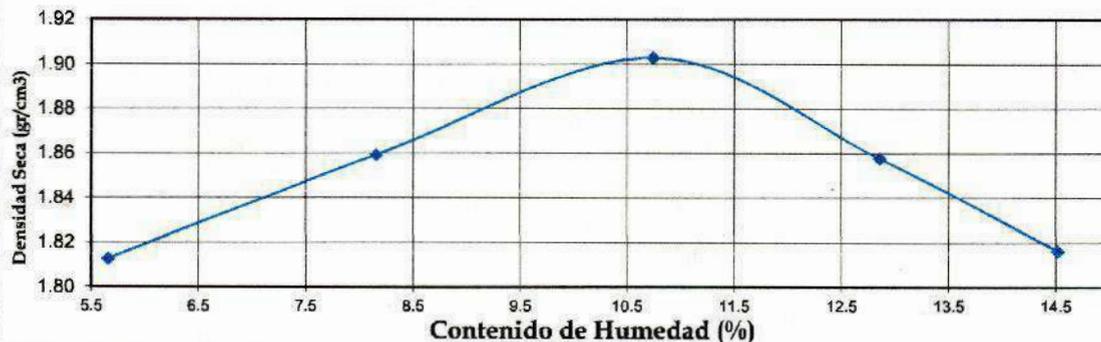
**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ( MTC E 115-2000 - ASTN D- 1557)**

| PUNTO No. |   | I        | II       | III      | IV       | V        |
|-----------|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| MOLDE No. |   | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 1         | Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                | 911.061  | 911.061  | 911.061  | 911.061  | 911.061  |
| 2         | Peso del molde (gr)                                 | 1750.000 | 1750.000 | 1750.000 | 1750.000 | 1750.000 |
| 3         | Peso del molde + muestra húmeda (gr)                | 3495.000 | 3582.000 | 3670.000 | 3660.000 | 3645.000 |
| 4         | Peso de la muestra húmeda (gr)                      | 1745.000 | 1832.000 | 1920.000 | 1910.000 | 1895.000 |
| 5         | Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.915    | 2.011    | 2.107    | 2.096    | 2.080    |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

|    |   |        |        |        |        |        |
|----|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6  | Peso de la tara (gr)                              | 27.900 | 27.700 | 27.500 | 27.100 | 26.500 |
| 7  | Peso de la tara + suelo húmedo (gr)               | 74.600 | 78.100 | 76.400 | 90.300 | 76.200 |
| 8  | Peso de la tara + suelo seco (gr)                 | 72.100 | 74.300 | 71.658 | 83.100 | 69.900 |
| 9  | Peso del agua (gr)                                | 2.500  | 3.800  | 4.742  | 7.200  | 6.300  |
| 10 | Peso del suelo seco (gr)                          | 44.200 | 46.600 | 44.158 | 56.000 | 43.400 |
| 11 | Contenido de humedad (%)                          | 5.656  | 8.155  | 10.739 | 12.857 | 14.516 |
| 12 | Densidad seca de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.813  | 1.859  | 1.903  | 1.858  | 1.816  |

**GRAFICO: DENSIDAD vs HUMEDAD**

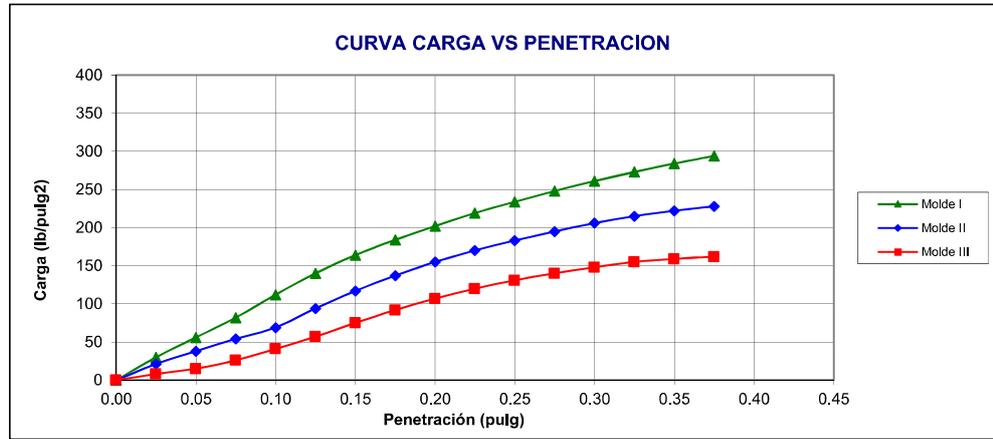


|   |              |
|---|--------------|
| <b>Máxima Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>1.900</b> |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                 | <b>10.74</b> |

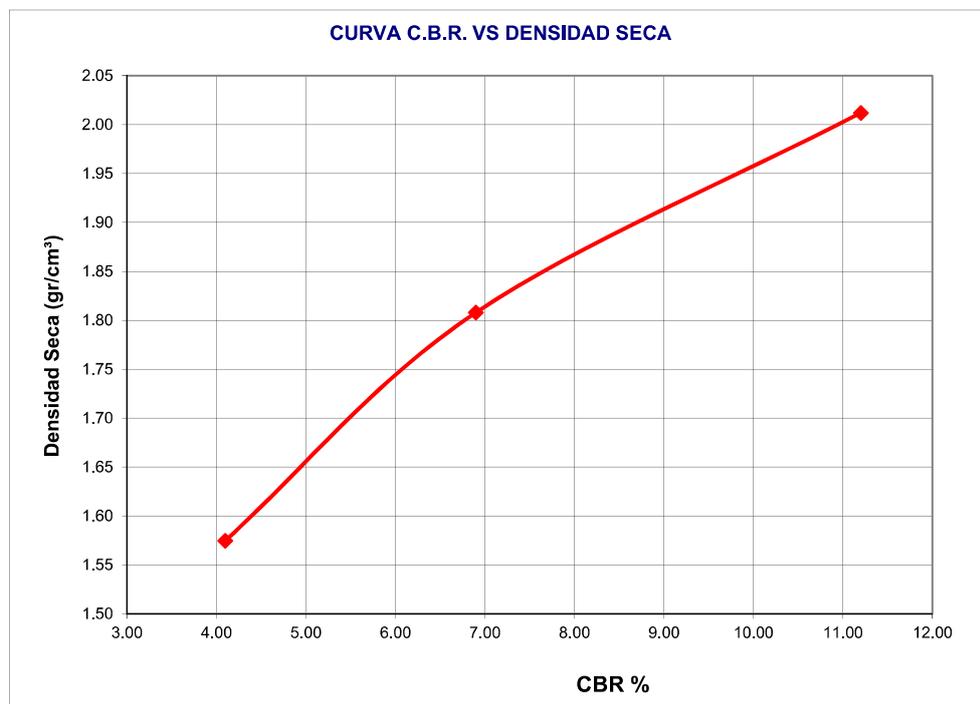




|  |  |
|--|--|
|       | <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</b>  |
|  | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>   |
|  | <b>TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"</b> |
| <b>TESISTAS:</b> Capuñay Aguirre Christian Eduardo<br>Pastor Olascuaga Cristian Ivanul | <b>JEFE DE LABORATORIO:</b> Ing. Julio César Rivasplata Diaz   |
| <b>ASESOR:</b> Ing. Julio César Rivasplata Diaz  | <b>LUGAR:</b> Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS<br><b>FECHA:</b> 10/10/2020  |



| Molde | Penetración (pulg) | Presión aplicada (lb/pulg²) | Presión aplicada (lb/pulg²) | C.B.R. (%) | Expansión |
|-------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|-----------|
| I     | 0.1                | 112.0                       | 1000                        | 11.20      | 0.00      |
| II    | 0.1                | 69.0                        | 1000                        | 6.90       | 0.00      |
| III   | 0.1                | 41.0                        | 1000                        | 4.10       | 0.00      |



|                   |      |       |
|-------------------|------|-------|
| C.B.R. 100% MDS : | 1.90 | 8.84% |
|-------------------|------|-------|

|               |      |       |
|---------------|------|-------|
| CBR 95% MDS : | 1.81 | 6.94% |
|---------------|------|-------|





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

**TESISTAS:** Capuñay Aguirre Christian Eduardo

**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Díaz

Pastor Olascuaga Cristian Jharol

**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

**ASESOR:** Ing. Julio César Rivasplata Díaz

**FECHA:** 10/10/2020

**CALICATA C-4, CON 25% DE CENIZAS**

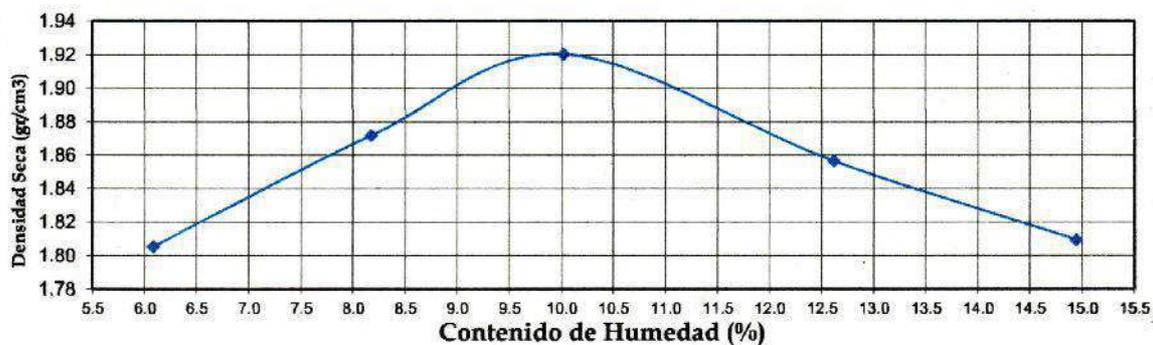
**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ( MTC E 115-2000 - ASTN D- 1557)**

| PUNTO No. |   | I        | II       | III      | IV       | V        |
|-----------|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| MOLDE No. |   | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 1         | Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                | 911.061  | 911.061  | 911.061  | 911.061  | 911.061  |
| 2         | Peso del molde (gr)                                 | 1750.000 | 1750.000 | 1750.000 | 1750.000 | 1750.000 |
| 3         | Peso del molde + muestra húmeda (gr)                | 3495.000 | 3595.000 | 3675.000 | 3655.000 | 3645.000 |
| 4         | Peso de la muestra húmeda (gr)                      | 1745.000 | 1845.000 | 1925.000 | 1905.000 | 1895.000 |
| 5         | Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.915    | 2.025    | 2.113    | 2.091    | 2.080    |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

|    |   |        |        |        |        |        |
|----|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6  | Peso de la tara (gr)                              | 27.533 | 27.403 | 27.900 | 27.767 | 27.533 |
| 7  | Peso de la tara + suelo húmedo (gr)               | 38.000 | 38.533 | 38.033 | 37.677 | 37.533 |
| 8  | Peso de la tara + suelo seco (gr)                 | 37.400 | 37.692 | 37.110 | 36.567 | 36.233 |
| 9  | Peso del agua (gr)                                | 0.600  | 0.841  | 0.923  | 1.110  | 1.300  |
| 10 | Peso del suelo seco (gr)                          | 9.867  | 10.289 | 9.210  | 8.800  | 8.700  |
| 11 | Contenido de humedad (%)                          | 6.081  | 8.174  | 10.022 | 12.614 | 14.943 |
| 12 | Densidad seca de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.806  | 1.872  | 1.920  | 1.857  | 1.810  |

**GRAFICO: DENSIDAD vs HUMEDAD**



|   |              |
|---|--------------|
| <b>Máxima Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>1.920</b> |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                 | <b>10</b>    |





**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

**TESISTAS:** Capuñay Aguirre Christian Eduardo

**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Díaz

Pastor Olascuaga Cristian Tharol

**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

**ASESOR:** Ing. Julio César Rivasplata Díaz

**FECHA:** 10/10/2020

**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO - C.B.R. (ASTM D-1883)**

**CALICATA C-4, CON 25% DE CENIZAS**

**a) Ensayo preliminar de Proctor modificado**

|  |       |
|--|-------|
| Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.920 |
| Optimo Contenido de Humedad (%)            | 10.00 |

**b) Compactación de los moldes CBR**

| Molde N°              |  | I        | II       | III      |
|-----------------------|--|----------|----------|----------|
| N° de capas           |  | 5        | 5        | 5        |
| N° de golpes por capa |  | 56       | 26       | 12       |
| 1                     | Peso del molde + suelo compactado [gr] | 13795.00 | 13092.00 | 12254.00 |
| 2                     | Peso del molde [gr]                    | 6760.00  | 6730.00  | 6720.00  |
| 3                     | Peso de suelo compactado [gr]          | (1)-(2)  | 7035.00  | 6362.00  |
| 4                     | Volumen de molde [cm <sup>3</sup> ]    |          | 3169.69  | 3169.69  |
| 5                     | Densidad húmeda [gr/cm <sup>3</sup> ]  | (3)/(4)  | 2.22     | 2.01     |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

| Tara N° |  | 1              | 2      | 3      |
|---------|--|----------------|--------|--------|
| 6       | Peso de la tara, [gr]                              | 26.74          | 25.21  | 26.92  |
| 7       | Peso de la tara + suelo húmedo, [gr]               | 51.110         | 46.250 | 39.350 |
| 8       | Peso de la tara + suelo seco, [gr]                 | 48.600         | 44.100 | 38.100 |
| 9       | Peso del agua, [gr]                                | (7)-(8)        | 2.51   | 2.15   |
| 10      | Peso del suelo seco, [gr]                          | (8)-(6)        | 21.86  | 18.89  |
| 11      | Contenido de humedad, [%]                          | (9)/(10)×100   | 11.48  | 11.38  |
| 12      | Densidad seca de la muestra, [gr/cm <sup>3</sup> ] | 5/(1+(11)/100) | 1.991  | 1.802  |

**c) Prueba de penetración**

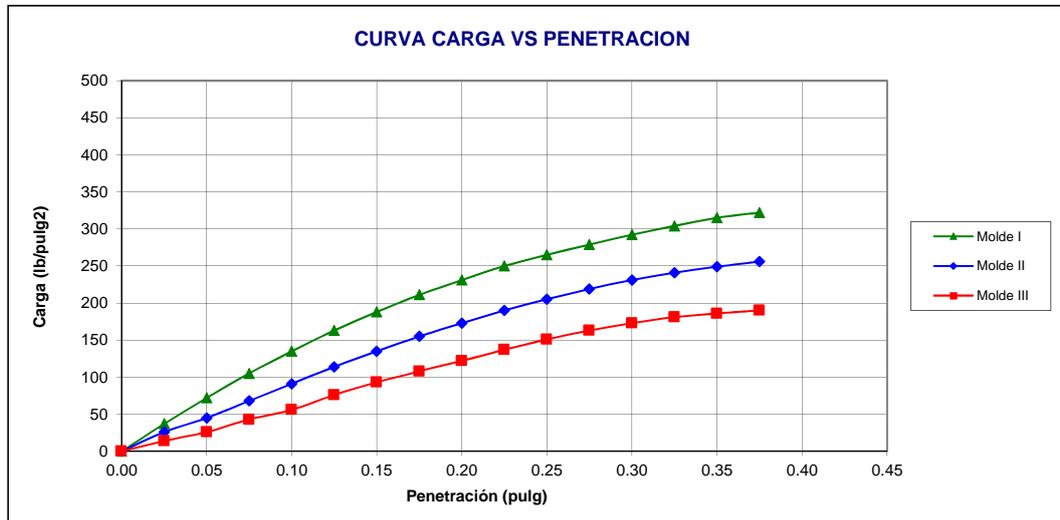
Area del anillo = 3 pulg<sup>2</sup>

Presión (libras/pulg<sup>2</sup>) = (L )/3

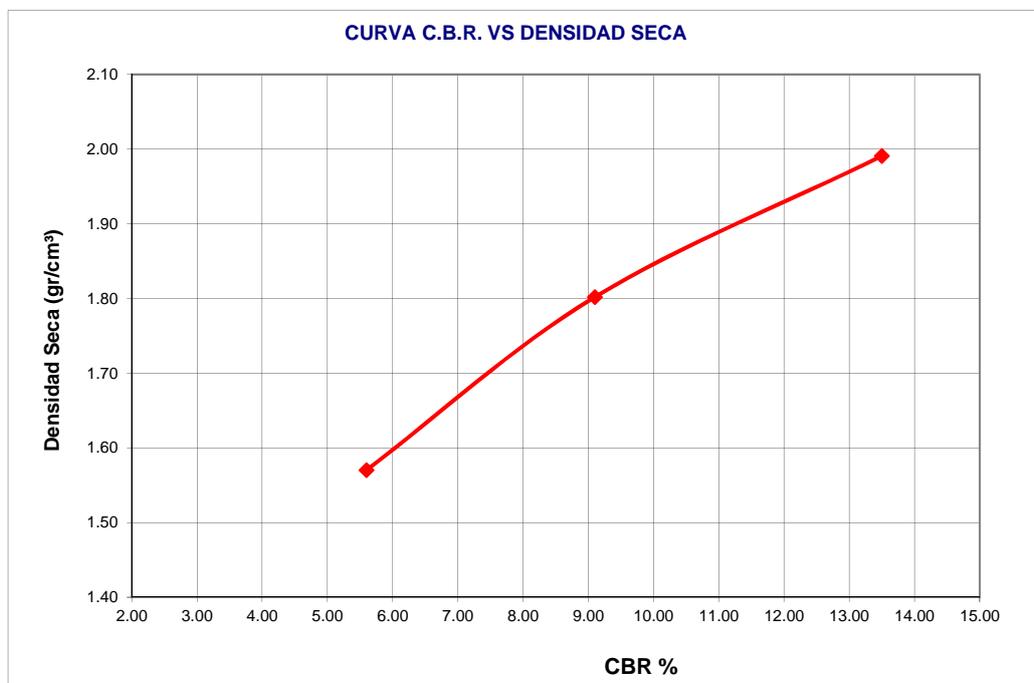
| Penetración (pulg) | Presión patrón (lb/pulg <sup>2</sup> ) | Molde N° I |         | Molde N° II |         | Molde N° III |         |
|--------------------|--|------------|---------|-------------|---------|--------------|---------|
|                    |  | Dial       | Presión | Dial        | Presión | Dial         | Presión |
| 0.000              |  | 0.0        | 0       | 0.0         | 0       | 0.0          | 0       |
| 0.025              |  | 110.9      | 37      | 78.2        | 26      | 42.0         | 14      |
| 0.050              |  | 216.3      | 72      | 135.1       | 45      | 78.1         | 26      |
| 0.075              |  | 315.1      | 105     | 204.3       | 68      | 128.5        | 43      |
| 0.100              | 1000                                   | 405.4      | 135     | 273.0       | 91      | 167.9        | 56      |
| 0.125              |  | 488.5      | 163     | 342.1       | 114     | 228.4        | 76      |
| 0.150              |  | 563.8      | 188     | 405.3       | 135     | 279.1        | 93      |
| 0.175              |  | 633.1      | 211     | 465.0       | 155     | 324.3        | 108     |
| 0.200              | 1500                                   | 693.2      | 231     | 518.9       | 173     | 366.1        | 122     |
| 0.225              |  | 750.0      | 250     | 570.0       | 190     | 410.7        | 137     |
| 0.250              |  | 794.8      | 265     | 615.2       | 205     | 452.9        | 151     |
| 0.275              |  | 837.0      | 279     | 657.4       | 219     | 489.1        | 163     |
| 0.300              | 1900                                   | 876.0      | 292     | 693.4       | 231     | 519.4        | 173     |
| 0.325              |  | 911.9      | 304     | 722.6       | 241     | 543.0        | 181     |
| 0.350              |  | 945.0      | 315     | 747.1       | 249     | 558.0        | 186     |
| 0.375              |  | 966.4      | 322     | 768.0       | 256     | 570.2        | 190     |



|  |   |
|--|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</b>   |
|  | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>  |
|  | <b>TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAJO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CIMBOIL"</b> |
| <b>TESISTAS:</b> Capuñay Aguirre Christian Eduardo<br>Pastor Olascuaga Cristian Tharol | <b>JEFE DE LABORATORIO:</b> Ing. Julio César Rivasplata Díaz<br><b>LUGAR:</b> Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS                       |
| <b>ASESOR:</b> Ing. Julio César Rivasplata Díaz  | <b>FECHA:</b> 10/10/2020  |



| Molde | Penetración (pulg) | Presión aplicada (lb/pulg²) | Presión aplicada (lb/pulg²) | C.B.R. (%) | Expansión |
|-------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|-----------|
| I     | 0.1                | 135.0                       | 1000                        | 13.50      | 0.00      |
| II    | 0.1                | 91.0                        | 1000                        | 9.10       | 0.00      |
| III   | 0.1                | 56.0                        | 1000                        | 5.60       | 0.00      |



|                   |       |        |
|-------------------|-------|--------|
| C.B.R. 100% MDS : | 1.920 | 11.70% |
|-------------------|-------|--------|

|               |      |       |
|---------------|------|-------|
| CBR 95% MDS : | 1.82 | 9.50% |
|---------------|------|-------|





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

**TESISTAS:** Capuñay Aguirre Christiaan Eduardo  
Pastor Olascuaga Cristian Jharol

**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Diaz

**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

**ASESOR:** Ing. Julio César Rivasplata Diaz

**FECHA:** 10/10/2020

**CALICATA C-4, CON 35% DE CENIZAS**

**METODO A**

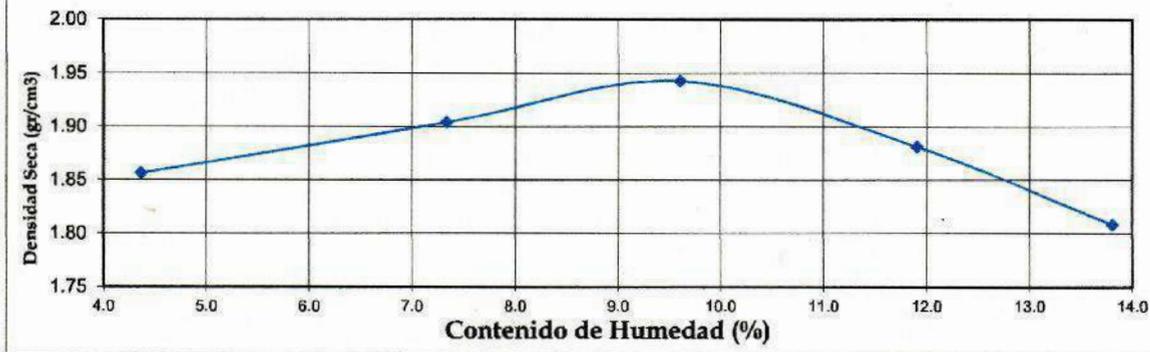
**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ( MTC E 115-2000 - ASTN D- 1557)**

| PUNTO No. |   | I        | II       | III      | IV       | V        |
|-----------|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| MOLDE No. |   | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 1         | Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                | 911.061  | 911.061  | 911.061  | 911.061  | 911.061  |
| 2         | Peso del molde (gr)                                 | 1750.000 | 1750.000 | 1750.000 | 1750.000 | 1750.000 |
| 3         | Peso del molde + muestra húmeda (gr)                | 3515.000 | 3612.000 | 3690.000 | 3668.000 | 3625.000 |
| 4         | Peso de la muestra húmeda (gr)                      | 1765.000 | 1862.000 | 1940.000 | 1918.000 | 1875.000 |
| 5         | Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.937    | 2.044    | 2.129    | 2.105    | 2.058    |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

|    |   |        |        |        |        |        |
|----|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6  | Peso de la tara (gr)                              | 27.300 | 27.600 | 27.833 | 27.300 | 27.667 |
| 7  | Peso de la tara + suelo húmedo (gr)               | 36.067 | 35.400 | 35.020 | 35.600 | 36.733 |
| 8  | Peso de la tara + suelo seco (gr)                 | 35.700 | 34.867 | 34.390 | 34.717 | 35.633 |
| 9  | Peso del agua (gr)                                | 0.367  | 0.533  | 0.630  | 0.883  | 1.100  |
| 10 | Peso del suelo seco (gr)                          | 8.400  | 7.267  | 6.557  | 7.417  | 7.966  |
| 11 | Contenido de humedad (%)                          | 4.369  | 7.335  | 9.608  | 11.905 | 13.809 |
| 12 | Densidad seca de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.856  | 1.904  | 1.943  | 1.881  | 1.808  |

**GRAFICO: DENSIDAD vs HUMEDAD**



|   |              |
|---|--------------|
| <b>Máxima Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>1.940</b> |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                 | <b>9.61</b>  |





**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESTIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

**TESTISTAS:** Capuñay Aguirre Christiaan Eduardo

**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Díaz

Pastor Olascuaga Cristian Jharel

**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

**ASESOR:** Ing. Julio César Rivasplata Díaz

**FECHA:** 10/10/2020

**CALICATA C-4, CON 35% DE CENIZAS**

**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO - C.B.R. (ASTM D-1883)**

**a) Ensayo preliminar de Proctor modificado**

|  |       |
|--|-------|
| Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.940 |
| Óptimo Contenido de Humedad (%)            | 9.61  |

**b) Compactación de los moldes CBR**

| Molde N°              |  | I        | II       | III      |
|-----------------------|--|----------|----------|----------|
| N° de capas           |  | 5        | 5        | 5        |
| N° de golpes por capa |  | 56       | 26       | 12       |
| 1                     | Peso del molde + suelo compactado [gr] | 13795.00 | 13335.00 | 12254.00 |
| 2                     | Peso del molde [gr]                    | 6760.00  | 6730.00  | 6720.00  |
| 3                     | Peso de suelo compactado [gr]          | (1)-(2)  | 6605.00  | 5534.00  |
| 4                     | Volumen de molde [cm <sup>3</sup> ]    | 3169.69  | 3169.69  | 3169.69  |
| 5                     | Densidad húmeda [gr/cm <sup>3</sup> ]  | (3)/(4)  | 2.08     | 1.75     |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

| Tara N° |  | 1              | 2      | 3      |
|---------|--|----------------|--------|--------|
| 6       | Peso de la tara, [gr]                              | 26.74          | 27.21  | 26.92  |
| 7       | Peso de la tara + suelo húmedo, [gr]               | 46.690         | 47.400 | 45.920 |
| 8       | Peso de la tara + suelo seco, [gr]                 | 44.650         | 45.240 | 43.890 |
| 9       | Peso del agua, [gr]                                | (7)-(8)        | 2.16   | 2.03   |
| 10      | Peso del suelo seco, [gr]                          | (8)-(6)        | 18.03  | 16.97  |
| 11      | Contenido de humedad, [%]                          | (9)/(10)x100   | 11.98  | 11.96  |
| 12      | Densidad seca de la muestra, [gr/cm <sup>3</sup> ] | 5/(1+(11)/100) | 1.861  | 1.559  |

**c) Prueba de penetración**

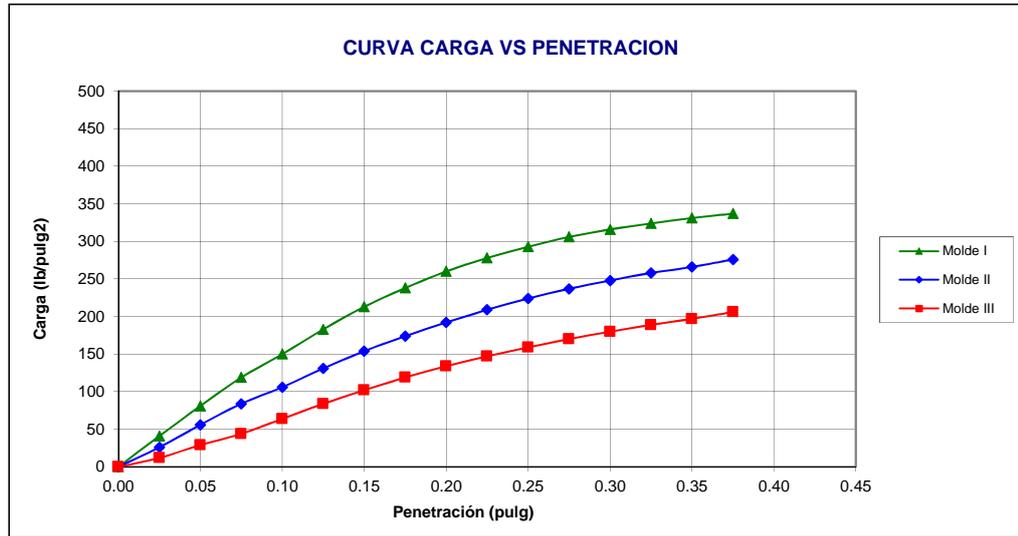
Área del anillo = 3 pulg<sup>2</sup>

Presión (libras/pulg<sup>2</sup>) = (L) / 3

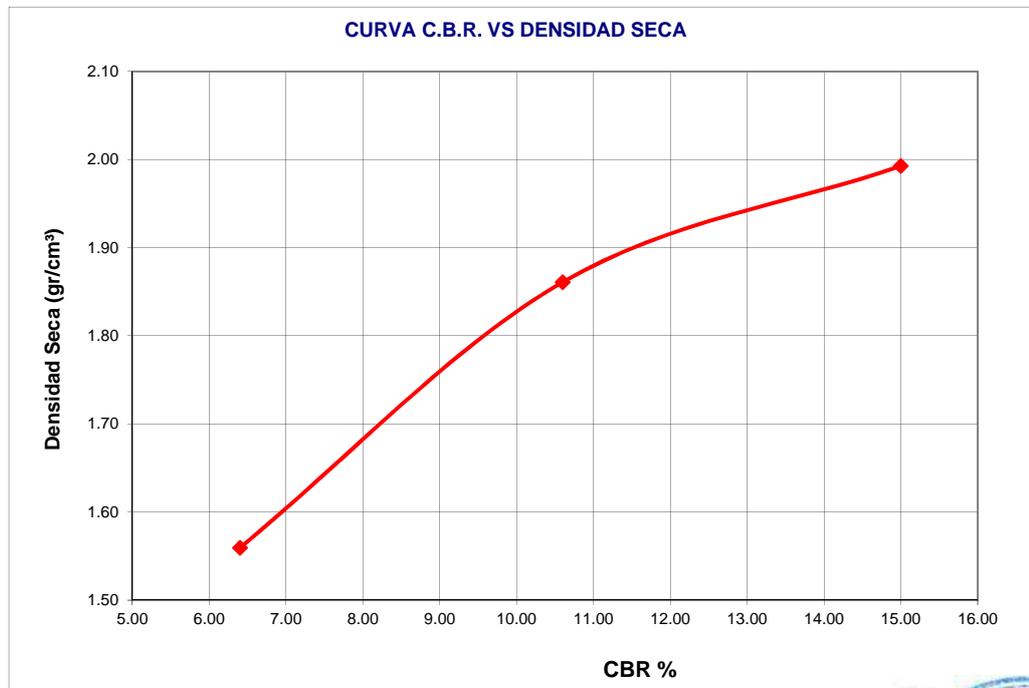
| Penetración (pulg) | Presión patrón (lb/pulg <sup>2</sup> ) | Molde N° I |         | Molde N° II |         | Molde N° III |         |
|--------------------|--|------------|---------|-------------|---------|--------------|---------|
|                    |  | Dial       | Presión | Dial        | Presión | Dial         | Presión |
| 0.000              |  | 0.0        | 0       | 0.0         | 0       | 0.0          | 0       |
| 0.025              |  | 123.6      | 41      | 78.7        | 26      | 36.0         | 12      |
| 0.050              |  | 243.0      | 81      | 168.2       | 56      | 87.4         | 29      |
| 0.075              |  | 357.3      | 119     | 252.1       | 84      | 132.0        | 44      |
| 0.100              | 1000                                   | 450.4      | 150     | 318.4       | 106     | 191.8        | 64      |
| 0.125              |  | 549.2      | 183     | 392.6       | 131     | 252.1        | 84      |
| 0.150              |  | 638.9      | 213     | 462.1       | 154     | 306.3        | 102     |
| 0.175              |  | 713.5      | 238     | 522.0       | 174     | 356.9        | 119     |
| 0.200              | 1500                                   | 779.7      | 260     | 575.7       | 192     | 402.2        | 134     |
| 0.225              |  | 834.1      | 278     | 627.2       | 209     | 440.7        | 147     |
| 0.250              |  | 879.4      | 293     | 671.9       | 224     | 477.5        | 159     |
| 0.275              |  | 917.8      | 306     | 710.5       | 237     | 510.0        | 170     |
| 0.300              | 1900                                   | 947.5      | 316     | 744.4       | 248     | 539.8        | 180     |
| 0.325              |  | 972.2      | 324     | 774.0       | 258     | 567.1        | 189     |
| 0.350              |  | 993.0      | 331     | 798.1       | 266     | 591.0        | 197     |
| 0.375              |  | 1011.6     | 337     | 827.3       | 276     | 618.3        | 206     |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |



|  |  |
|--|--|
|       | <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</b>  |
|  | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>   |
|  | <b>TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"</b> |
| <b>TESISTAS:</b> Capuñay Aguirre Christian Eduardo<br>Pastor Olascuaga Cristian Jharol | <b>JEFE DE LABORATORIO:</b> Ing. Julio César Rivasplata Díaz   |
| <b>ASESOR:</b> Ing. Julio César Rivasplata Díaz  | <b>LUGAR:</b> Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS<br><b>FECHA:</b> 10/10/2020  |



| Molde | Penetración (pulg) | Presión aplicada (lb/pulg²) | Presión aplicada (lb/pulg²) | C.B.R. (%) | Expansión |
|-------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|-----------|
| I     | 0.1                | 150.0                       | 1000                        | 15.00      | 0.00      |
| II    | 0.1                | 106.0                       | 1000                        | 10.60      | 0.00      |
| III   | 0.1                | 64.0                        | 1000                        | 6.40       | 0.00      |



|                          |              |               |
|--------------------------|--------------|---------------|
| <b>C.B.R. 100% MDS :</b> | <b>1.940</b> | <b>13.00%</b> |
|--------------------------|--------------|---------------|

|                      |             |               |
|----------------------|-------------|---------------|
| <b>CBR 95% MDS :</b> | <b>1.84</b> | <b>10.40%</b> |
|----------------------|-------------|---------------|





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

**TESISTAS:** Capuñay Aguirre Christian Eduardo  
Pastor Olascuaga Cristian Jharol

**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Diaz  
**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS  
**FECHA:** 10/10/2020

**CALICATA C-4, CON 45% DE CENIZAS**

**METODO A**

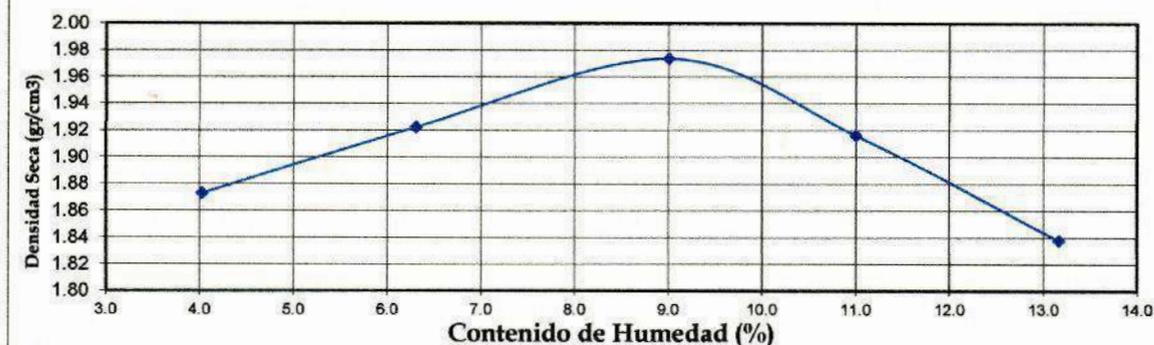
**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ( MTC E 115-2000 - ASTN D- 1557)**

| PUNTO No. |   | I        | II       | III      | IV       | V        |
|-----------|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| MOLDE No. |   | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 1         | Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                | 911.061  | 911.061  | 911.061  | 911.061  | 911.061  |
| 2         | Peso del molde (gr)                                 | 1750.000 | 1750.000 | 1750.000 | 1750.000 | 1750.000 |
| 3         | Peso del molde + muestra húmeda (gr)                | 3525.000 | 3612.000 | 3710.000 | 3688.000 | 3645.000 |
| 4         | Peso de la muestra húmeda (gr)                      | 1775.000 | 1862.000 | 1960.000 | 1938.000 | 1895.000 |
| 5         | Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.948    | 2.044    | 2.151    | 2.127    | 2.080    |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

|    |   |        |        |        |        |        |
|----|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6  | Peso de la tara (gr)                              | 27.633 | 27.600 | 27.533 | 27.300 | 27.667 |
| 7  | Peso de la tara + suelo húmedo (gr)               | 36.233 | 35.600 | 35.400 | 35.845 | 36.365 |
| 8  | Peso de la tara + suelo seco (gr)                 | 35.900 | 35.125 | 34.750 | 34.998 | 35.353 |
| 9  | Peso del agua (gr)                                | 0.333  | 0.475  | 0.650  | 0.847  | 1.012  |
| 10 | Peso del suelo seco (gr)                          | 8.267  | 7.525  | 7.217  | 7.698  | 7.686  |
| 11 | Contenido de humedad (%)                          | 4.028  | 6.312  | 9.007  | 11.003 | 13.167 |
| 12 | Densidad seca de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.873  | 1.922  | 1.974  | 1.916  | 1.838  |

**GRAFICO: DENSIDAD vs HUMEDAD**



|   |              |
|---|--------------|
| <b>Máxima Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>1.970</b> |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                 | <b>9.00</b>  |





**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

**TESISTAS:** Capuñay Aguirre Christian Eduardo

**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Díaz

Pastor Olascuaga Cristian Jharol

**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

**ASESOR:** Ing. Julio César Rivasplata Díaz

**FECHA:** 10/10/2020

**CALICATA C-4, CON 45% DE CENIZAS**

**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO - C.B.R. (ASTM D-1883)**

**a) Ensayo preliminar de Proctor modificado**

|  |       |
|--|-------|
| Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.970 |
| Optimo Contenido de Humedad (%)            | 9.00  |

**b) Compactación de los moldes CBR**

| Molde N°              |  | I        | II       | III      |
|-----------------------|--|----------|----------|----------|
| N° de capas           |  | 5        | 5        | 5        |
| N° de golpes por capa |  | 56       | 26       | 12       |
| 1                     | Peso del molde + suelo compactado [gr] | 14125.00 | 13355.00 | 12254.00 |
| 2                     | Peso del molde [gr]                    | 6760.00  | 6730.00  | 6720.00  |
| 3                     | Peso de suelo compactado [gr]          | (1)-(2)  | 7365.00  | 6625.00  |
| 4                     | Volumen de molde [cm <sup>3</sup> ]    |          | 3169.69  | 3169.69  |
| 5                     | Densidad húmeda [gr/cm <sup>3</sup> ]  | (3)/(4)  | 2.32     | 2.09     |
|                       |  |          | 2.09     | 1.75     |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

| Tara N° |  | 1              | 2      | 3      |
|---------|--|----------------|--------|--------|
| 6       | Peso de la tara, [gr]                              | 26.74          | 27.21  | 26.92  |
| 7       | Peso de la tara + suelo húmedo, [gr]               | 46.699         | 47.400 | 45.920 |
| 8       | Peso de la tara + suelo seco, [gr]                 | 44.250         | 45.012 | 43.590 |
| 9       | Peso del agua, [gr]                                | (7)-(8)        | 2.45   | 2.39   |
| 10      | Peso del suelo seco, [gr]                          | (8)-(6)        | 17.51  | 17.80  |
| 11      | Contenido de humedad, [%]                          | (9)/(10)x100   | 13.99  | 13.41  |
| 12      | Densidad seca de la muestra, [gr/cm <sup>3</sup> ] | 5/(1+(11)/100) | 2.038  | 1.843  |
|         |  |                | 1.843  | 1.532  |

**c) Prueba de penetración**

Area del anillo = 3 pulg<sup>2</sup>

Presión (libras/pulg<sup>2</sup>) = (L) / 3

| Penetración (pulg) | Presión patrón (lb/pulg <sup>2</sup> ) | Molde N° I |         | Molde N° II |         | Molde N° III |         |
|--------------------|--|------------|---------|-------------|---------|--------------|---------|
|                    |  | Dial       | Presión | Dial        | Presión | Dial         | Presión |
| 0.000              |  | 0.0        | 0       | 0.0         | 0       | 0.0          | 0       |
| 0.025              |  | 180.3      | 60      | 101.2       | 34      | 58.5         | 19      |
| 0.050              |  | 321.5      | 107     | 192.3       | 64      | 129.3        | 43      |
| 0.075              |  | 426.7      | 142     | 279.4       | 93      | 180.5        | 60      |
| 0.100              | 1000                                   | 528.9      | 176     | 363.5       | 121     | 237.6        | 79      |
| 0.125              |  | 613.0      | 204     | 438.6       | 146     | 297.8        | 99      |
| 0.150              |  | 688.1      | 229     | 507.7       | 169     | 354.9        | 118     |
| 0.175              |  | 757.3      | 252     | 573.8       | 191     | 406.1        | 135     |
| 0.200              | 1500                                   | 823.4      | 274     | 633.8       | 211     | 451.2        | 150     |
| 0.225              |  | 883.5      | 294     | 684.9       | 228     | 490.3        | 163     |
| 0.250              |  | 934.6      | 311     | 730.0       | 243     | 526.4        | 175     |
| 0.275              |  | 979.6      | 326     | 769.0       | 256     | 559.5        | 186     |
| 0.300              | 1900                                   | 1018.7     | 339     | 808.1       | 269     | 589.6        | 196     |
| 0.325              |  | 1051.8     | 350     | 841.1       | 280     | 616.6        | 205     |
| 0.350              |  | 1081.8     | 360     | 865.2       | 288     | 637.7        | 212     |
| 0.375              |  | 1114.9     | 371     | 872.3       | 291     | 678.9        | 216     |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |





**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

**TESISTAS:** Capuñay Aguirre, Christian Eduardo

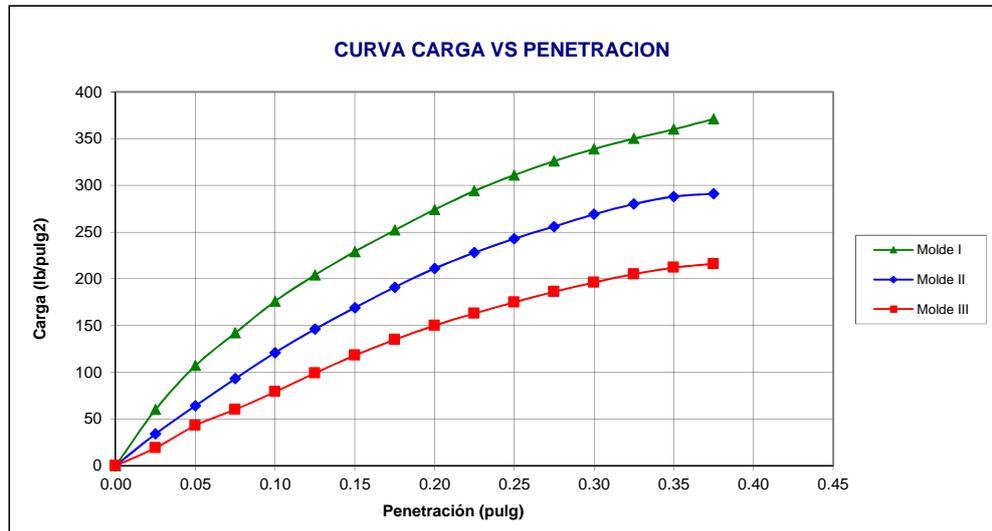
Pastor Olascuaga Cristian Jharol

**ASESOR:** Ing. Julio César Rivasplata Díaz

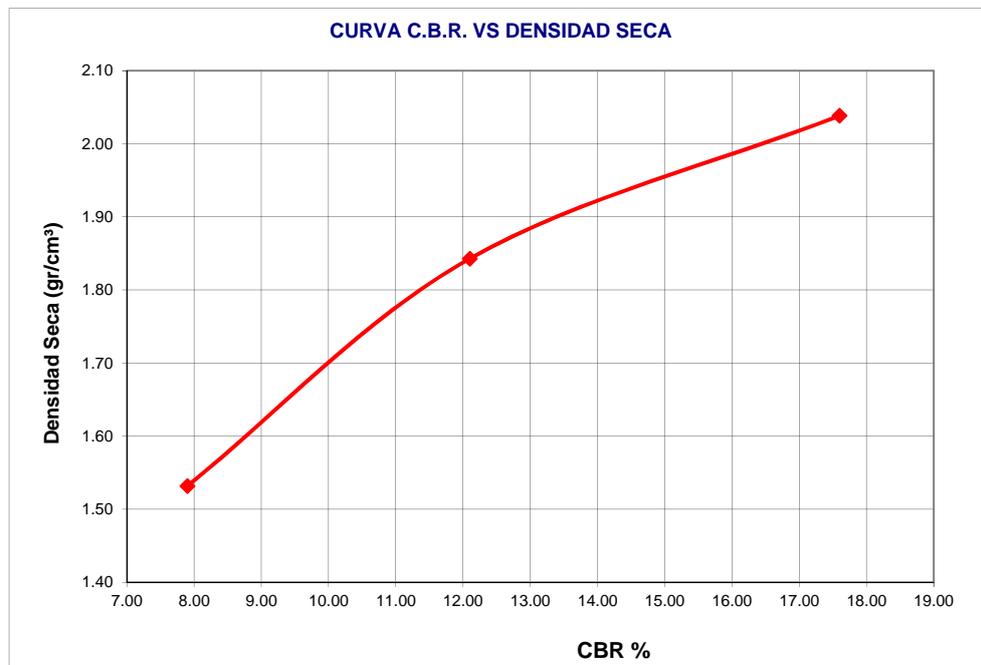
**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Díaz

**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

**FECHA:** 10/10/2020



| Molde | Penetración (pulg) | Presión aplicada (lb/pulg²) | Presión aplicada (lb/pulg²) | C.B.R. (%) | Expansión |
|-------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|-----------|
| I     | 0.1                | 176.0                       | 1000                        | 17.60      | 0.00      |
| II    | 0.1                | 121.0                       | 1000                        | 12.10      | 0.00      |
| III   | 0.1                | 79.0                        | 1000                        | 7.90       | 0.00      |



C.B.R. 100% MDS : 1.97 15.80%

CBR 95% MDS : 1.87 12.80%





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

**TESISTAS:** Capuñay Aguirre Christian Eduardo  
Pastor Olascuaga Cristian Jharol  
**ASESOR:** Ing. Julio César Rivasplata Diaz

**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Diaz  
**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS  
**FECHA:** 10/10/2020

**CALICATA C-7, MUESTRA PATRÓN**

**METODO A**

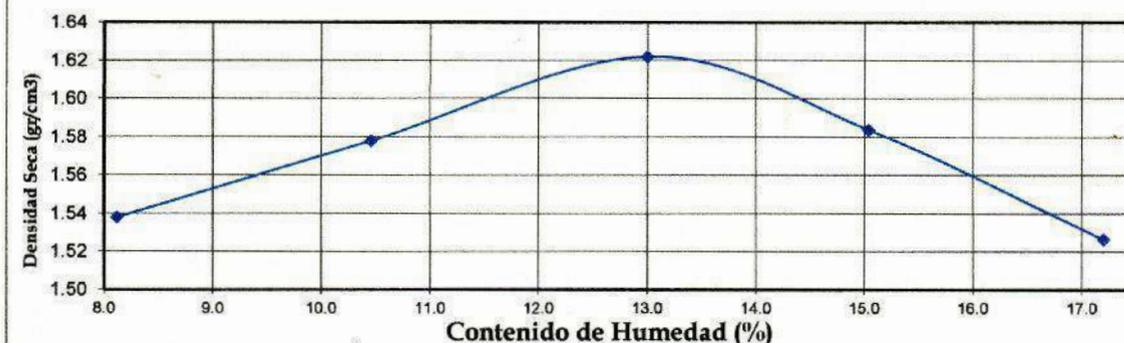
**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ( MTC E 115-2000 - ASTN D- 1557)**

| PUNTO No.   | I        | II       | III      | IV       | V        |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| MOLDE No.   | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 1 Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                | 911.061  | 911.061  | 911.061  | 911.061  | 911.061  |
| 2 Peso del molde (gr)                                 | 1750.000 | 1750.000 | 1750.000 | 1750.000 | 1750.000 |
| 3 Peso del molde + muestra húmeda (gr)                | 3265.000 | 3338.000 | 3420.000 | 3410.000 | 3380.000 |
| 4 Peso de la muestra húmeda (gr)                      | 1515.000 | 1588.000 | 1670.000 | 1660.000 | 1630.000 |
| 5 Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.663    | 1.743    | 1.833    | 1.822    | 1.789    |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

|    |   |        |        |        |        |        |
|----|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6  | Peso de la tara (gr)                              | 22.000 | 27.800 | 22.900 | 30.600 | 31.300 |
| 7  | Peso de la tara + suelo húmedo (gr)               | 78.200 | 85.300 | 90.800 | 97.300 | 96.700 |
| 8  | Peso de la tara + suelo seco (gr)                 | 73.980 | 79.856 | 82.988 | 88.580 | 87.100 |
| 9  | Peso del agua (gr)                                | 4.220  | 5.444  | 7.812  | 8.720  | 9.600  |
| 10 | Peso del suelo seco (gr)                          | 51.980 | 52.056 | 60.088 | 57.980 | 55.800 |
| 11 | Contenido de humedad (%)                          | 8.119  | 10.458 | 13.001 | 15.040 | 17.204 |
| 12 | Densidad seca de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.538  | 1.578  | 1.622  | 1.584  | 1.526  |

**GRAFICO: DENSIDAD vs HUMEDAD**



|   |              |
|---|--------------|
| <b>Máxima Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>1.622</b> |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                 | <b>13</b>    |





**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON  
CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS  
PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

**TESISTAS:** Capuñay Aguiere Christian Eduardo

**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Díaz

Pastor Olascuaga Cristian Jharol

**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

**ASESOR:** Ing. Julio César Rivasplata Díaz

**FECHA:** 10/10/2020

**CALICATA C-7, MUESTRA PATRÓN**

**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO - C.B.R. (ASTM D-1883)**

**a) Ensayo preliminar de Proctor modificado**

|  |       |
|--|-------|
| Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.622 |
| Óptimo Contenido de Humedad (%)            | 13.00 |

**b) Compactación de los moldes CBR**

| Molde N°              |  | I        | II       | III      |
|-----------------------|--|----------|----------|----------|
| N° de capas           |  | 5        | 5        | 5        |
| N° de golpes por capa |  | 56       | 26       | 12       |
| 1                     | Peso del molde + suelo compactado [gr] | 12344.00 | 12190.00 | 11858.00 |
| 2                     | Peso del molde [gr]                    | 6760.00  | 6730.00  | 6720.00  |
| 3                     | Peso de suelo compactado [gr]          | (1)-(2)  | 5584.00  | 5460.00  |
| 4                     | Volumen de molde [cm <sup>3</sup> ]    |          | 3169.69  | 3169.69  |
| 5                     | Densidad húmeda [gr/cm <sup>3</sup> ]  | (3)/(4)  | 1.76     | 1.72     |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

| Tara N° |  | 1              | 2      | 3      |
|---------|--|----------------|--------|--------|
| 6       | Peso de la tara, [gr]                              | 27.83          | 26.84  | 26.79  |
| 7       | Peso de la tara + suelo húmedo, [gr]               | 105.570        | 56.044 | 76.839 |
| 8       | Peso de la tara + suelo seco, [gr]                 | 101.451        | 54.014 | 72.097 |
| 9       | Peso del agua, [gr]                                | (7)-(8)        | 4.12   | 2.03   |
| 10      | Peso del suelo seco, [gr]                          | (8)-(6)        | 73.62  | 27.17  |
| 11      | Contenido de humedad, [%]                          | (9)/(10)x100   | 5.59   | 7.47   |
| 12      | Densidad seca de la muestra, [gr/cm <sup>3</sup> ] | 5/(1+(11)/100) | 1.668  | 1.603  |

**c) Prueba de penetración**

Área del anillo = 3 pulg<sup>2</sup>

Presión (libras/pulg<sup>2</sup>) = (L) / 3

| Penetración (pulg) | Presión patrón (lb/pulg <sup>2</sup> ) | Molde N° I |         | Molde N° II |         | Molde N° III |         |
|--------------------|--|------------|---------|-------------|---------|--------------|---------|
|                    |  | Dial       | Presión | Dial        | Presión | Dial         | Presión |
| 0.000              |  | 0.0        | 0       | 0.0         | 0       | 0.0          | 0       |
| 0.025              |  | 138.2      | 46      | 105.1       | 35      | 63.1         | 21      |
| 0.050              |  | 237.3      | 79      | 177.2       | 59      | 129.2        | 43      |
| 0.075              |  | 330.4      | 110     | 240.3       | 80      | 180.2        | 60      |
| 0.100              | 1000                                   | 408.5      | 136     | 297.4       | 99      | 237.3        | 79      |
| 0.125              |  | 483.6      | 161     | 363.5       | 121     | 291.4        | 97      |
| 0.150              |  | 549.7      | 183     | 423.6       | 141     | 339.5        | 113     |
| 0.175              |  | 609.8      | 203     | 477.6       | 159     | 384.5        | 128     |
| 0.200              | 1500                                   | 660.9      | 220     | 528.7       | 176     | 423.6        | 141     |
| 0.225              |  | 702.9      | 234     | 570.8       | 190     | 459.6        | 153     |
| 0.250              |  | 739.0      | 246     | 606.8       | 202     | 492.7        | 164     |
| 0.275              |  | 769.0      | 256     | 636.8       | 212     | 522.7        | 174     |
| 0.300              | 1900                                   | 796.1      | 265     | 660.9       | 220     | 549.7        | 183     |
| 0.325              |  | 820.1      | 273     | 678.9       | 226     | 573.8        | 191     |
| 0.350              |  | 841.1      | 280     | 693.9       | 231     | 594.8        | 198     |
| 0.375              |  | 856.1      | 285     | 702.9       | 234     | 603.8        | 201     |





**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA  
CHIMBOTE - PERÚ

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

**TESISTAS:** Capuñay Aguirre Christian Eduardo

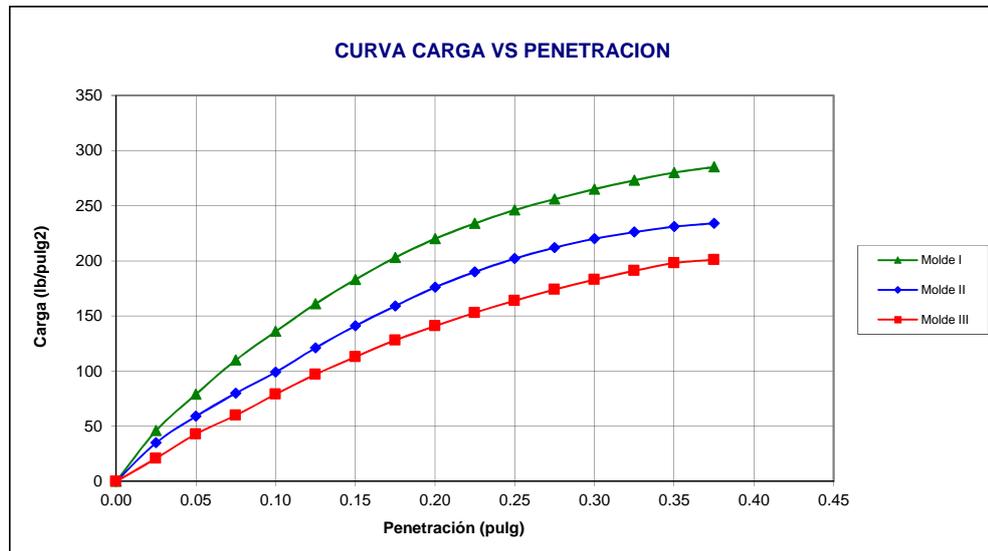
Pastor Olascuaga Cristian Jharol

**ASESOR:** Ing. Julio César Rivasplata Diaz

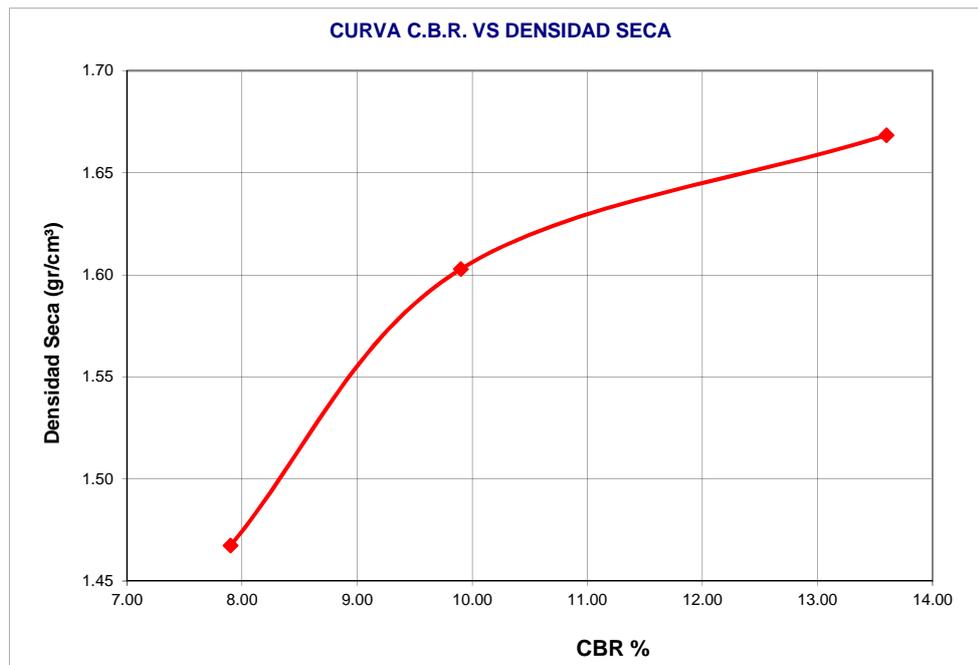
**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Diaz

**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

**FECHA:** 10/10/2020



| Molde | Penetración (pulg) | Presión aplicada (lb/pulg²) | Presión aplicada (lb/pulg²) | C.B.R. (%) | Expansión |
|-------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|-----------|
| I     | 0.1                | 136.0                       | 1000                        | 13.60      | 0.00      |
| II    | 0.1                | 99.0                        | 1000                        | 9.90       | 0.00      |
| III   | 0.1                | 79.0                        | 1000                        | 7.90       | 0.00      |



C.B.R. 100% MDS : 1.622 10.50%

CBR 95% MDS : 1.541 8.80%





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

**TESISTAS:** Capuñay Aguirre Christiaan Eduardo  
Pastor Olascuaga Cristian Jharol

**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Diaz  
**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS  
**FECHA:** 10/10/2020

**CALICATA C-7, CON 25% DE CENIZAS**

**METODO A**

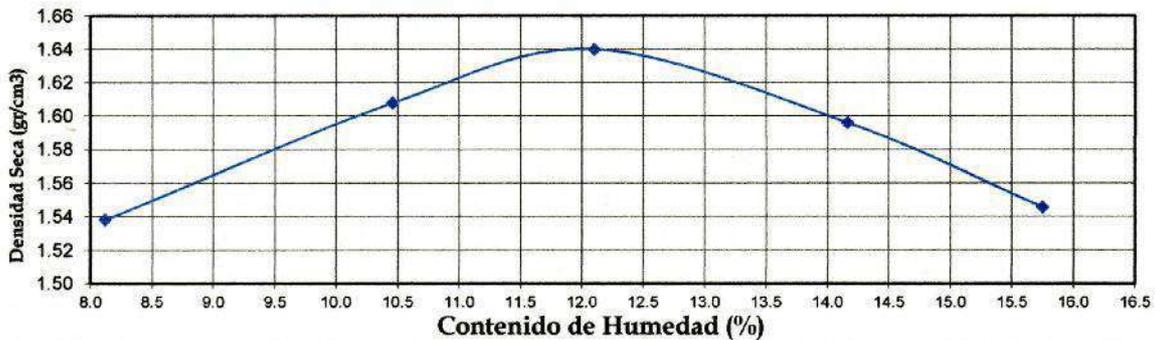
**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ( MTC E 115-2000 - ASTN D- 1557)**

| PUNTO No.   | I        | II       | III      | IV       | V        |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| MOLDE No.   | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 1 Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                | 911.061  | 911.061  | 911.061  | 911.061  | 911.061  |
| 2 Peso del molde (gr)                                 | 1750.000 | 1750.000 | 1750.000 | 1750.000 | 1750.000 |
| 3 Peso del molde + muestra húmeda (gr)                | 3265.000 | 3368.000 | 3425.000 | 3410.000 | 3380.000 |
| 4 Peso de la muestra húmeda (gr)                      | 1515.000 | 1618.000 | 1675.000 | 1660.000 | 1630.000 |
| 5 Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.663    | 1.776    | 1.839    | 1.822    | 1.789    |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

|    |   |        |        |        |        |        |
|----|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6  | Peso de la tara (gr)                              | 22.000 | 27.800 | 22.900 | 30.600 | 31.300 |
| 7  | Peso de la tara + suelo húmedo (gr)               | 78.200 | 85.300 | 90.800 | 97.300 | 96.700 |
| 8  | Peso de la tara + suelo seco (gr)                 | 73.980 | 79.856 | 83.470 | 89.025 | 87.800 |
| 9  | Peso del agua (gr)                                | 4.220  | 5.444  | 7.330  | 8.275  | 8.900  |
| 10 | Peso del suelo seco (gr)                          | 51.980 | 52.056 | 60.570 | 58.425 | 56.500 |
| 11 | Contenido de humedad (%)                          | 8.119  | 10.458 | 12.102 | 14.163 | 15.752 |
| 12 | Densidad seca de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.538  | 1.608  | 1.640  | 1.596  | 1.546  |

**GRAFICO: DENSIDAD vs HUMEDAD**



|   |              |
|---|--------------|
| <b>Máxima Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>1.640</b> |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                 | <b>12.1</b>  |





**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA  
CHIMBOTE - PERÚ

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

**TESISTAS:** Capuñay Aguirre Christian Eduardo

**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Díaz

Pastor Olascuaga Cristian Jharol

**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

**ASESOR:** Ing. Julio César Rivasplata Díaz

**FECHA:** 10/10/2020

**CALICATA C-7, CON 25% DE CENIZAS**

**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO - C.B.R. (ASTM D-1883)**

**a) Ensayo preliminar de Proctor modificado**

|  |       |
|--|-------|
| Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.640 |
| Optimo Contenido de Humedad (%)            | 12.10 |

**b) Compactación de los moldes CBR**

| Molde N°              |  | I        | II       | III      |
|-----------------------|--|----------|----------|----------|
| N° de capas           |  | 5        | 5        | 5        |
| N° de golpes por capa |  | 56       | 26       | 12       |
| 1                     | Peso del molde + suelo compactado [gr] | 12344.00 | 12080.00 | 11658.00 |
| 2                     | Peso del molde [gr]                    | 6760.00  | 6730.00  | 6720.00  |
| 3                     | Peso de suelo compactado [gr]          | (1)-(2)  | 5584.00  | 5350.00  |
| 4                     | Volumen de molde [cm <sup>3</sup> ]    |          | 3169.69  | 3169.69  |
| 5                     | Densidad húmeda [gr/cm <sup>3</sup> ]  | (3)/(4)  | 1.76     | 1.69     |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

| Tara N° |  | 1              | 2      | 3       |
|---------|--|----------------|--------|---------|
| 6       | Peso de la tara, [gr]                              | 27.60          | 27.59  | 27.92   |
| 7       | Peso de la tara + suelo húmedo, [gr]               | 57.640         | 55.958 | 145.446 |
| 8       | Peso de la tara + suelo seco, [gr]                 | 56.158         | 54.530 | 140.360 |
| 9       | Peso del agua, [gr]                                | (7)-(8)        | 1.48   | 5.09    |
| 10      | Peso del suelo seco, [gr]                          | (8)-(6)        | 28.56  | 112.44  |
| 11      | Contenido de humedad, [%]                          | (9)/(10)x100   | 5.19   | 4.52    |
| 12      | Densidad seca de la muestra, [gr/cm <sup>3</sup> ] | 5/(1+(11)/100) | 1.675  | 1.490   |

**c) Prueba de penetración**

Area del anillo = 3 pulg<sup>2</sup>

Presión (libras/pulg<sup>2</sup>) = (L) / 3

| Penetración (pulg) | Presión patrón (lb/pulg <sup>2</sup> ) | Molde N° I |         | Molde N° II |         | Molde N° III |         |
|--------------------|--|------------|---------|-------------|---------|--------------|---------|
|                    |  | Dial       | Presión | Dial        | Presión | Dial         | Presión |
| 0.000              |  | 0.0        | 0       | 0.0         | 0       | 0.0          | 0       |
| 0.025              |  | 174.2      | 58      | 111.1       | 37      | 174.2        | 26      |
| 0.050              |  | 264.4      | 88      | 180.2       | 60      | 264.4        | 43      |
| 0.075              |  | 348.5      | 116     | 243.3       | 81      | 348.5        | 63      |
| 0.100              | 1000                                   | 432.6      | 144     | 297.4       | 99      | 432.6        | 79      |
| 0.125              |  | 501.7      | 167     | 366.5       | 122     | 501.7        | 100     |
| 0.150              |  | 564.8      | 188     | 426.6       | 142     | 564.8        | 119     |
| 0.175              |  | 621.8      | 207     | 480.6       | 160     | 621.8        | 136     |
| 0.200              | 1500                                   | 675.9      | 225     | 525.7       | 175     | 675.9        | 151     |
| 0.225              |  | 721.0      | 240     | 564.8       | 188     | 721.0        | 164     |
| 0.250              |  | 763.0      | 254     | 597.8       | 199     | 763.0        | 174     |
| 0.275              |  | 799.1      | 266     | 624.8       | 208     | 799.1        | 182     |
| 0.300              | 1900                                   | 829.1      | 276     | 648.9       | 216     | 829.1        | 189     |
| 0.325              |  | 856.1      | 285     | 672.9       | 224     | 856.1        | 194     |
| 0.350              |  | 880.2      | 293     | 693.9       | 231     | 880.2        | 197     |
| 0.375              |  | 904.2      | 301     | 730.0       | 243     | 904.2        | 202     |





**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA  
CHIMBOTE - PERU

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON  
CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS  
PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

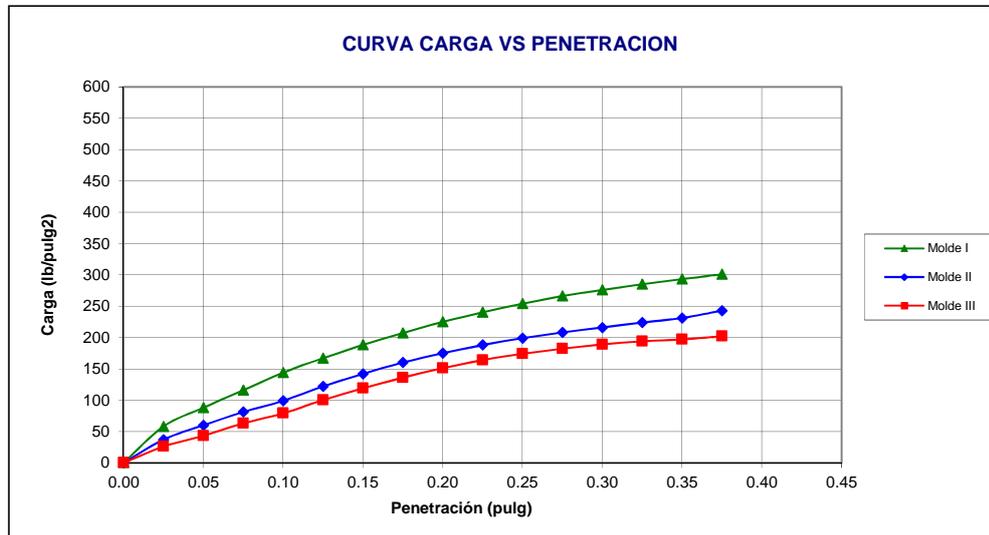
**TESISTAS:** Capuñay Aguirre Christian Eduardo  
Pastor Olascuaga Cristian Jharol

**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Diaz

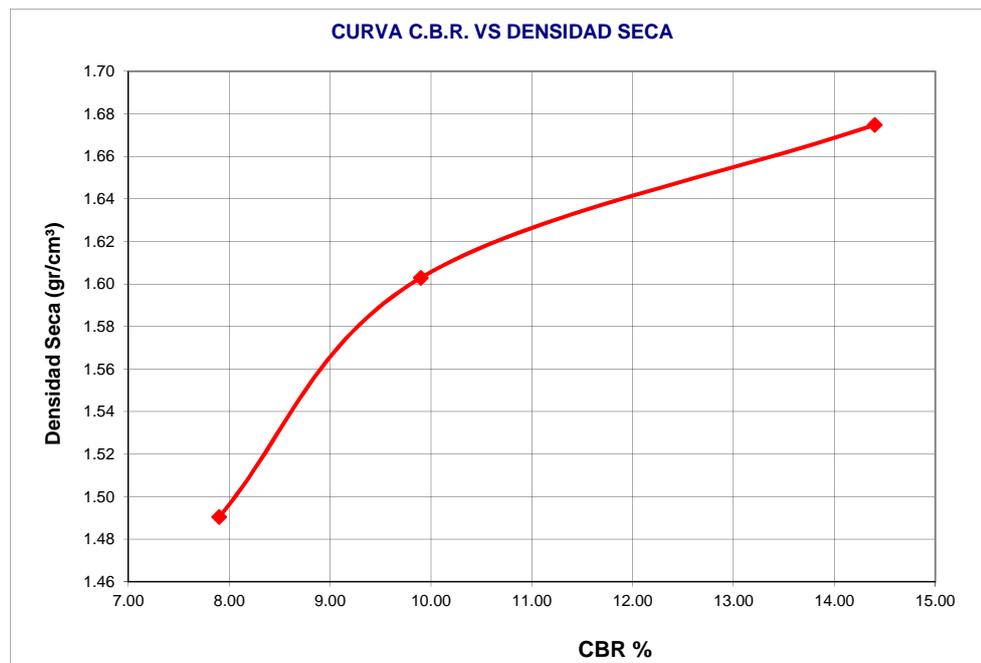
**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

**ASESOR:** Ing. Julio César Rivasplata Diaz

**FECHA:** 10/10/2020



| Molde | Penetración (pulg) | Presión aplicada (lb/pulg²) | Presión aplicada (lb/pulg²) | C.B.R. (%) | Expansión |
|-------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|-----------|
| I     | 0.1                | 144.0                       | 1000                        | 14.40      | 0.00      |
| II    | 0.1                | 99.0                        | 1000                        | 9.90       | 0.00      |
| III   | 0.1                | 79.0                        | 1000                        | 7.90       | 0.00      |



C.B.R. 100% MDS : 1.640 12.00%

CBR 95% MDS : 1.558 9.00%





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

**TESISTAS:** Capuñay Aguirre Christiaan Eduardo  
Pastor Olascuaga Cristian Jharol

**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Diaz

**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

**ASESOR:** Ing. Julio César Rivasplata Diaz

**FECHA:** 10/10/2020

**CALICATA C-7, CON 35% DE CENIZAS**

**METODO A**

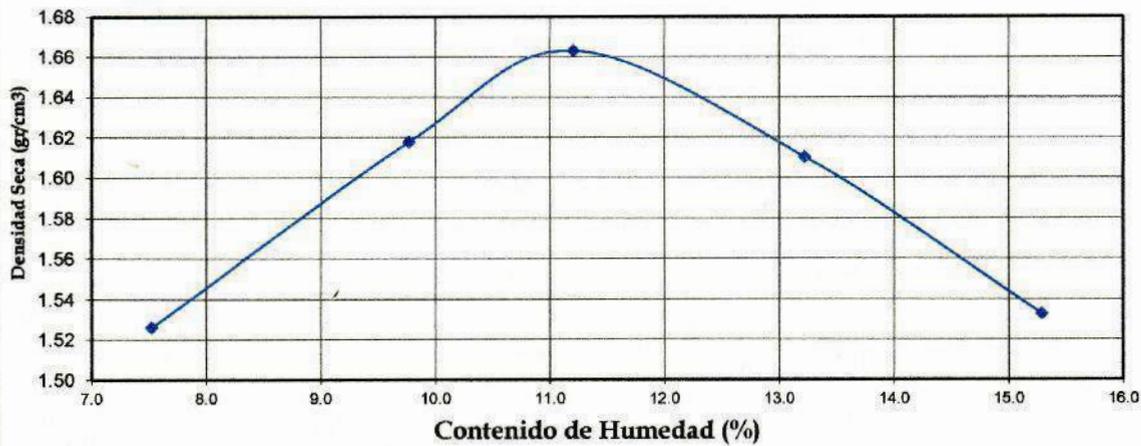
**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ( MTC E 115-2000 - ASTN D- 1557)**

| PUNTO No. |   | I        | II       | III      | IV       | V        |
|-----------|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| MOLDE No. |   | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 1         | Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                | 911.061  | 911.061  | 911.061  | 911.061  | 911.061  |
| 2         | Peso del molde (gr)                                 | 1750.000 | 1750.000 | 1750.000 | 1750.000 | 1750.000 |
| 3         | Peso del molde + muestra húmeda (gr)                | 3245.000 | 3368.000 | 3435.000 | 3411.000 | 3360.000 |
| 4         | Peso de la muestra húmeda (gr)                      | 1495.000 | 1618.000 | 1685.000 | 1661.000 | 1610.000 |
| 5         | Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.641    | 1.776    | 1.849    | 1.823    | 1.767    |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

|    |   |        |        |        |        |        |
|----|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6  | Peso de la tara (gr)                              | 27.399 | 26.749 | 26.928 | 27.689 | 26.861 |
| 7  | Peso de la tara + suelo húmedo (gr)               | 38.927 | 35.534 | 39.074 | 36.216 | 33.120 |
| 8  | Peso de la tara + suelo seco (gr)                 | 38.120 | 34.752 | 37.850 | 35.220 | 32.290 |
| 9  | Peso del agua (gr)                                | 0.807  | 0.782  | 1.224  | 0.996  | 0.830  |
| 10 | Peso del suelo seco (gr)                          | 10.721 | 8.003  | 10.922 | 7.531  | 5.429  |
| 11 | Contenido de humedad (%)                          | 7.527  | 9.771  | 11.207 | 13.225 | 15.288 |
| 12 | Densidad seca de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.526  | 1.618  | 1.663  | 1.610  | 1.533  |

**GRAFICO: DENSIDAD vs HUMEDAD**



|   |              |
|---|--------------|
| <b>Máxima Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>1.660</b> |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                 | <b>11.21</b> |





**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

**TESISTAS:** Capuñay Aguirre Christian Eduardo

**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Díaz

Pastor Olascuaga Cristian Jharol

**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

**ASESOR:** Ing. Julio César Rivasplata Díaz

**FECHA:** 10/10/2020

**CALICATA C-7, CON 35% DE CENIZAS**

**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO - C.B.R. (ASTM D-1883)**

**a) Ensayo preliminar de Proctor modificado**

|  |       |
|--|-------|
| Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.660 |
| Optimo Contenido de Humedad (%)            | 11.21 |

**b) Compactación de los moldes CBR**

| Molde N°              |  | I        | II       | III      |         |
|-----------------------|--|----------|----------|----------|---------|
| N° de capas           |  | 5        | 5        | 5        |         |
| N° de golpes por capa |  | 56       | 26       | 12       |         |
| 1                     | Peso del molde + suelo compactado [gr] | 12650.00 | 12365.00 | 11654.00 |         |
| 2                     | Peso del molde [gr]                    | 6760.00  | 6730.00  | 6720.00  |         |
| 3                     | Peso de suelo compactado [gr]          | (1)-(2)  | 5890.00  | 5635.00  | 4934.00 |
| 4                     | Volumen de molde [cm <sup>3</sup> ]    |          | 3169.69  | 3169.69  | 3169.69 |
| 5                     | Densidad húmeda [gr/cm <sup>3</sup> ]  | (3)/(4)  | 1.86     | 1.78     | 1.56    |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

| Tara N° |  | 1              | 2      | 3       |       |
|---------|--|----------------|--------|---------|-------|
| 6       | Peso de la tara, [gr]                              | 27.67          | 27.47  | 27.26   |       |
| 7       | Peso de la tara + suelo húmedo, [gr]               | 114.765        | 57.310 | 113.154 |       |
| 8       | Peso de la tara + suelo seco, [gr]                 | 110.258        | 55.125 | 104.365 |       |
| 9       | Peso del agua, [gr]                                | (7)-(8)        | 4.51   | 2.19    | 8.79  |
| 10      | Peso del suelo seco, [gr]                          | (8)-(6)        | 82.59  | 27.66   | 77.11 |
| 11      | Contenido de humedad, [%]                          | (9)/(10)x100   | 5.46   | 7.90    | 11.40 |
| 12      | Densidad seca de la muestra, [gr/cm <sup>3</sup> ] | 5/(1+(11)/100) | 1.762  | 1.648   | 1.397 |

**c) Prueba de penetración**

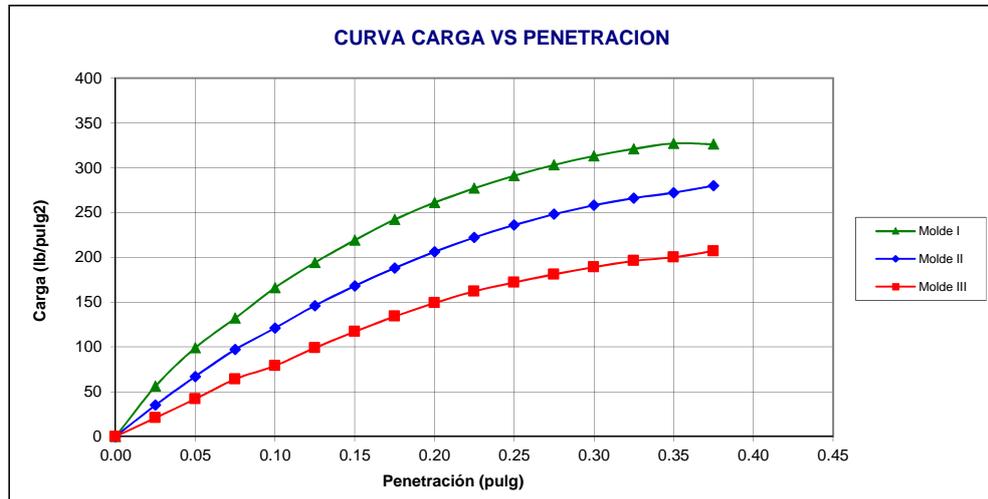
Area del anillo = 3 pulg<sup>2</sup>

Presión (libras/pulg<sup>2</sup>) = (L )/3

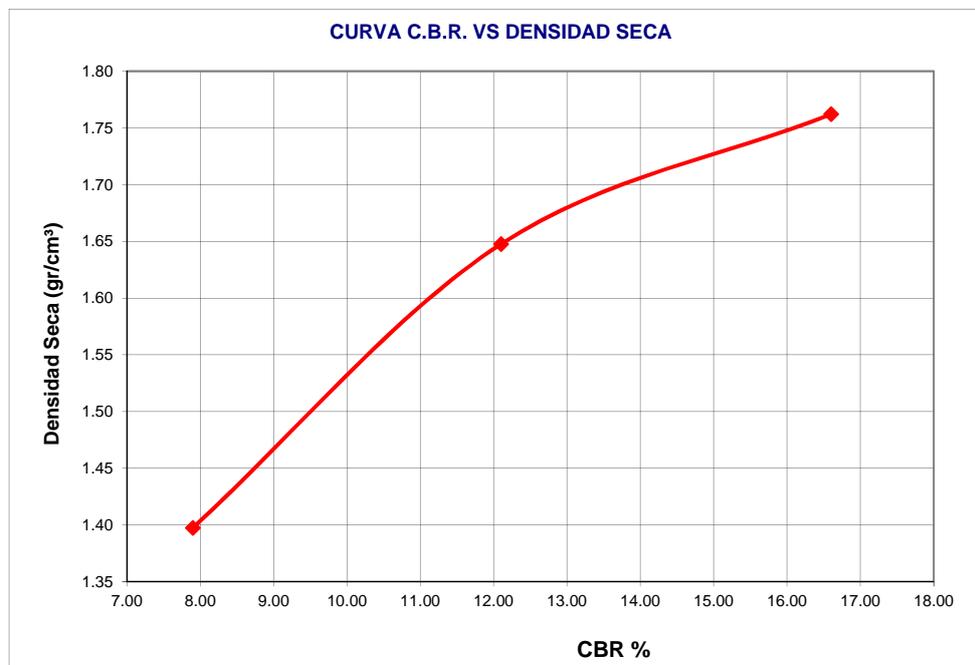
| Penetración (pulg) | Presión patrón (lb/pulg <sup>2</sup> ) | Molde N° I |         | Molde N° II |         | Molde N° III |         |
|--------------------|--|------------|---------|-------------|---------|--------------|---------|
|                    |  | Dial       | Presión | Dial        | Presión | Dial         | Presión |
| 0.000              |  | 0.0        | 0       | 0.0         | 0       | 0.0          | 0       |
| 0.025              |  | 168.2      | 56      | 105.1       | 35      | 63.1         | 21      |
| 0.050              |  | 297.3      | 99      | 201.2       | 67      | 126.1        | 42      |
| 0.075              |  | 396.4      | 132     | 291.3       | 97      | 192.2        | 64      |
| 0.100              | 1000                                   | 498.5      | 166     | 363.4       | 121     | 237.2        | 79      |
| 0.125              |  | 582.6      | 194     | 438.4       | 146     | 297.3        | 99      |
| 0.150              |  | 657.7      | 219     | 504.5       | 168     | 351.4        | 117     |
| 0.175              |  | 726.7      | 242     | 564.6       | 188     | 402.4        | 134     |
| 0.200              | 1500                                   | 783.8      | 261     | 618.6       | 206     | 447.4        | 149     |
| 0.225              |  | 831.8      | 277     | 666.7       | 222     | 486.5        | 162     |
| 0.250              |  | 873.9      | 291     | 708.7       | 236     | 516.5        | 172     |
| 0.275              |  | 909.9      | 303     | 744.7       | 248     | 543.5        | 181     |
| 0.300              | 1900                                   | 939.9      | 313     | 774.8       | 258     | 567.6        | 189     |
| 0.325              |  | 964.0      | 321     | 798.8       | 266     | 588.6        | 196     |
| 0.350              |  | 982.0      | 327     | 816.8       | 272     | 600.6        | 200     |
| 0.375              |  | 977.9      | 326     | 840.8       | 280     | 621.6        | 207     |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |



|   |  |   |
|---|--|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</b>  |   |
|   | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>   |   |
|   | <b>TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"</b> |   |
| <b>TESISTAS:</b>  | Capuñay Aguirre Christian Eduardo<br>Pastor Olascuaga Cristian Jharol  | <b>JEFE DE LABORATORIO:</b> Ing. Julio César Rivasplata Díaz                          |
| <b>ASESOR:</b>  | Ing. Julio César Rivasplata Díaz   | <b>LUGAR:</b> Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS<br><b>FECHA:</b> 10/10/2020 |



| Molde | Penetración (pulg) | Presión aplicada (lb/pulg²) | Presión aplicada (lb/pulg²) | C.B.R. (%) | Expansión |
|-------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|-----------|
| I     | 0.1                | 166.0                       | 1000                        | 16.60      | 0.00      |
| II    | 0.1                | 121.0                       | 1000                        | 12.10      | 0.00      |
| III   | 0.1                | 79.0                        | 1000                        | 7.90       | 0.00      |



|                   |      |        |
|-------------------|------|--------|
| C.B.R. 100% MDS : | 1.66 | 12.40% |
|-------------------|------|--------|

|               |      |        |
|---------------|------|--------|
| CBR 95% MDS : | 1.58 | 10.80% |
|---------------|------|--------|





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON  
CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS  
PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"

TESISTAS: Capuñay Aguirre Christiaan Eduardo  
Pastor Olascuaga Cristian Jharol  
ASESOR: Ing. Julio César Rivasplata Diaz

JEFE DE LABORATORIO: Ing. Julio César Rivasplata Diaz  
LUGAR: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS  
FECHA: 10/10/2020

**CALICATA C-7, CON 45% DE CENIZAS**

**METODO A**

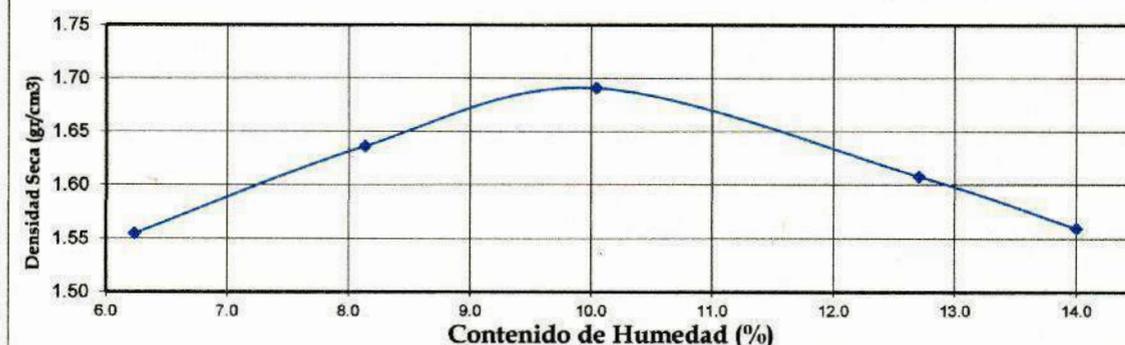
**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ( MTC E 115-2000 - ASTN D- 1557)**

| PUNTO No. |   | I        | II       | III      | IV       | V        |
|-----------|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| MOLDE No. |   | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 1         | Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                | 911.061  | 911.061  | 911.061  | 911.061  | 911.061  |
| 2         | Peso del molde (gr)                                 | 1750.000 | 1750.000 | 1750.000 | 1750.000 | 1750.000 |
| 3         | Peso del molde + muestra húmeda (gr)                | 3255.000 | 3362.000 | 3445.000 | 3401.000 | 3370.000 |
| 4         | Peso de la muestra húmeda (gr)                      | 1505.000 | 1612.000 | 1695.000 | 1651.000 | 1620.000 |
| 5         | Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.652    | 1.769    | 1.860    | 1.812    | 1.778    |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

|    |   |        |        |        |        |        |
|----|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6  | Peso de la tara (gr)                              | 27.399 | 27.567 | 26.928 | 27.689 | 26.861 |
| 7  | Peso de la tara + suelo húmedo (gr)               | 38.927 | 43.055 | 39.090 | 36.205 | 33.130 |
| 8  | Peso de la tara + suelo seco (gr)                 | 38.250 | 41.890 | 37.980 | 35.245 | 32.360 |
| 9  | Peso del agua (gr)                                | 0.677  | 1.165  | 1.110  | 0.960  | 0.770  |
| 10 | Peso del suelo seco (gr)                          | 10.851 | 14.323 | 11.052 | 7.556  | 5.499  |
| 11 | Contenido de humedad (%)                          | 6.239  | 8.134  | 10.043 | 12.705 | 14.003 |
| 12 | Densidad seca de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.555  | 1.636  | 1.691  | 1.608  | 1.560  |

**GRAFICO: DENSIDAD vs HUMEDAD**



|  |       |
|--|-------|
| Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.690 |
| Contenido de Humedad (%)                   | 10.04 |





**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

**TESISTAS:** Capuñay Aguirre Christian Eduardo  
Pastor Olascuaga Cristian Jharel

**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Diaz

**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

**ASESOR:** Ing. Julio César Rivasplata Diaz

**FECHA:** 10/10/2020

**CALICATA C-7, CON 45% DE CENIZAS**

**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO - C.B.R. (ASTM D-1883)**

**a) Ensayo preliminar de Proctor modificado**

|  |       |
|--|-------|
| Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.690 |
| Óptimo Contenido de Humedad (%)            | 10.04 |

**b) Compactación de los moldes CBR**

| Molde N°              |  | I        | II       | III      |
|-----------------------|--|----------|----------|----------|
| N° de capas           |  | 5        | 5        | 5        |
| N° de golpes por capa |  | 56       | 26       | 12       |
| 1                     | Peso del molde + suelo compactado [gr] | 12650.00 | 12465.00 | 11650.00 |
| 2                     | Peso del molde [gr]                    | 6760.00  | 6730.00  | 6720.00  |
| 3                     | Peso de suelo compactado [gr]          | (1)-(2)  | 5890.00  | 5735.00  |
| 4                     | Volumen de molde [cm <sup>3</sup> ]    |          | 3169.69  | 3169.69  |
| 5                     | Densidad húmeda [gr/cm <sup>3</sup> ]  | (3)/(4)  | 1.86     | 1.81     |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

| Tara N° |  | 1              | 2      | 3      |
|---------|--|----------------|--------|--------|
| 6       | Peso de la tara, [gr]                              | 27.83          | 26.84  | 26.79  |
| 7       | Peso de la tara + suelo húmedo, [gr]               | 105.270        | 55.052 | 75.814 |
| 8       | Peso de la tara + suelo seco, [gr]                 | 100.321        | 52.587 | 71.258 |
| 9       | Peso del agua, [gr]                                | (7)-(8)        | 4.95   | 2.47   |
| 10      | Peso del suelo seco, [gr]                          | (8)-(6)        | 72.49  | 25.74  |
| 11      | Contenido de humedad, [%]                          | (9)/(10)x100   | 6.83   | 9.58   |
| 12      | Densidad seca de la muestra, [gr/cm <sup>3</sup> ] | 5/(1+(11)/100) | 1.739  | 1.651  |

**c) Prueba de penetración**

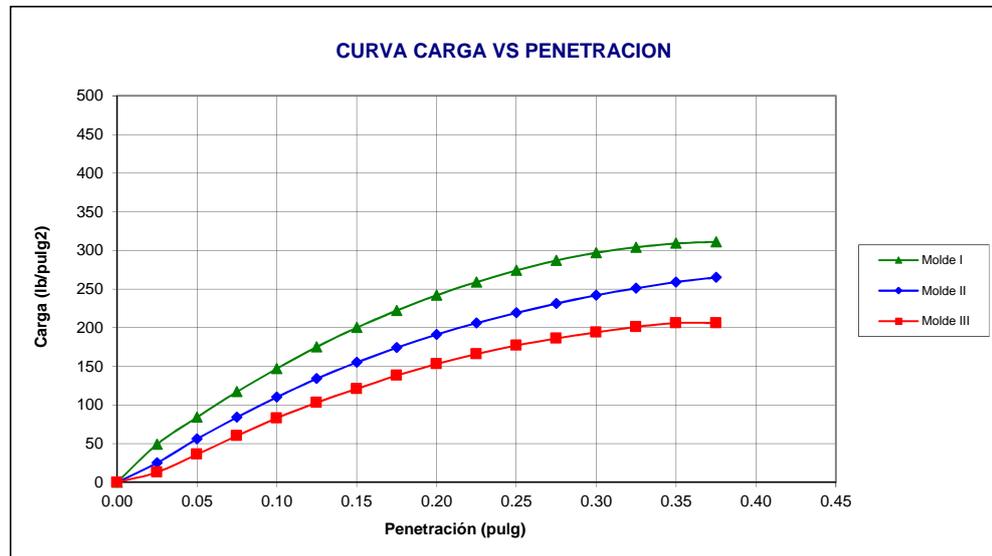
Area del anillo = 3 pulg<sup>2</sup>

Presión (libras/pulg<sup>2</sup>) = (L )/3

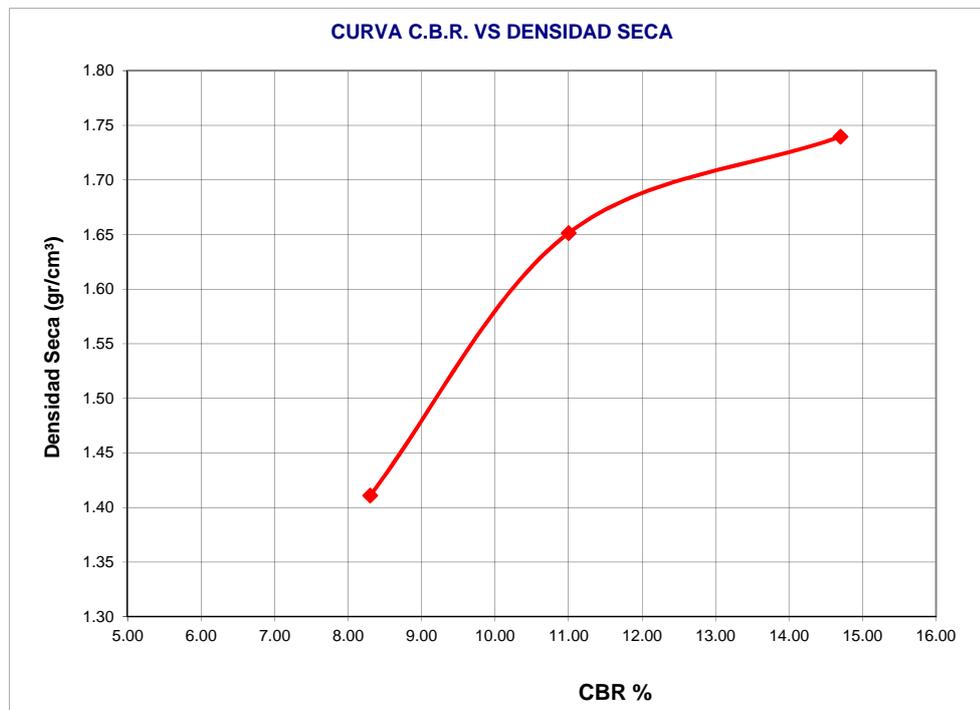
| Penetración (pulg) | Presión patrón (lb/pulg <sup>2</sup> ) | Molde N° I |         | Molde N° II |         | Molde N° III |         |
|--------------------|--|------------|---------|-------------|---------|--------------|---------|
|                    |  | Dial       | Presión | Dial        | Presión | Dial         | Presión |
| 0.000              |  | 0.0        | 0       | 0.0         | 0       | 0.0          | 0       |
| 0.025              |  | 146.1      | 49      | 74.2        | 25      | 33.7         | 13      |
| 0.050              |  | 303.5      | 84      | 206.8       | 56      | 94.4         | 36      |
| 0.075              |  | 393.4      | 117     | 265.3       | 84      | 143.9        | 60      |
| 0.100              | 1000                                   | 454.1      | 147     | 319.2       | 110     | 193.3        | 83      |
| 0.125              |  | 492.3      | 175     | 366.4       | 134     | 236.0        | 103     |
| 0.150              |  | 539.5      | 200     | 409.2       | 155     | 272.0        | 121     |
| 0.175              |  | 591.2      | 222     | 454.1       | 174     | 303.5        | 138     |
| 0.200              | 1500                                   | 651.9      | 242     | 476.6       | 191     | 341.7        | 153     |
| 0.225              |  | 701.4      | 259     | 537.3       | 206     | 370.9        | 166     |
| 0.250              |  | 753.1      | 274     | 595.7       | 219     | 413.6        | 177     |
| 0.275              |  | 798.1      | 287     | 638.5       | 231     | 454.1        | 186     |
| 0.300              | 1900                                   | 843.0      | 297     | 683.4       | 242     | 490.1        | 194     |
| 0.325              |  | 879.0      | 304     | 705.9       | 251     | 528.3        | 201     |
| 0.350              |  | 910.5      | 309     | 750.9       | 259     | 573.3        | 206     |
| 0.375              |  | 933.0      | 311     | 795.8       | 265     | 618.2        | 206     |



|   |  |
|---|--|
|  <b>UNS</b><br>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA<br>CHIMBOTE - PERÚ | <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</b>  |
|   | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>   |
|   | <b>TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"</b> |
| <b>TESISTAS:</b> Capuñay Aguirre Christian Eduardo<br>Pastor Olascuaga Cristian Jharol  | <b>JEFE DE LABORATORIO:</b> Ing. Julio César Rivasplata Diaz   |
| <b>ASESOR:</b> Ing. Julio Cesar Rivasplata Diaz   | <b>LUGAR:</b> Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS  |
|   | <b>FECHA:</b> 10/10/2020   |



| Molde | Penetración (pulg) | Presión aplicada (lb/pulg²) | Presión aplicada (lb/pulg²) | C.B.R. (%) | Expansión |
|-------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|-----------|
| I     | 0.1                | 147.0                       | 1000                        | 14.70      | 0.00      |
| II    | 0.1                | 110.0                       | 1000                        | 11.00      | 0.00      |
| III   | 0.1                | 83.0                        | 1000                        | 8.30       | 0.00      |



|                   |      |        |
|-------------------|------|--------|
| C.B.R. 100% MDS : | 1.69 | 12.59% |
|-------------------|------|--------|

|                  |      |       |
|------------------|------|-------|
| C.B.R. 95% MDS : | 1.61 | 9.88% |
|------------------|------|-------|





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON  
CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS  
PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"

TESISTAS: Capuñay Aguirre Christian Eduardo  
Pastor Olascuaga Cristian Jharol

JEFE DE LABORATORIO: Ing. Julio César Rivasplata Diaz

LUGAR: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

ASESOR: Ing. Julio César Rivasplata Diaz

FECHA: 10/10/2020

**CALICATA C-8, MUESTRA PATRÓN**

**METODO A**

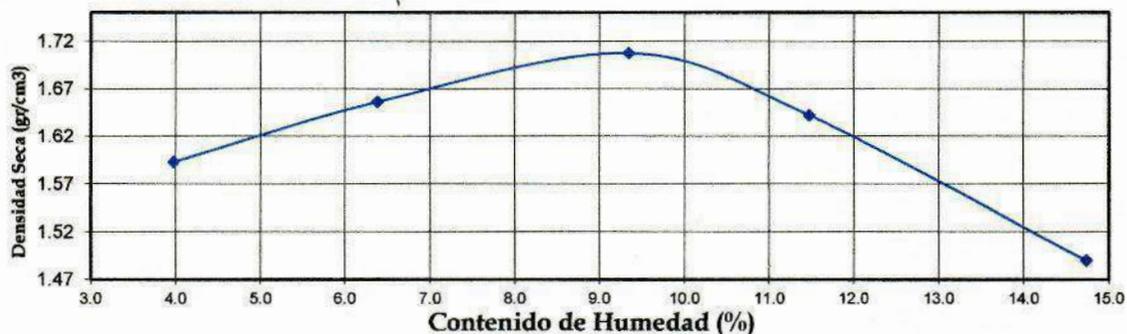
**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ( MTC E 115-2000 - ASTN D- 1557)**

| PUNTO No. |   | I        | II       | III      | IV       | V        |
|-----------|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| MOLDE No. |   | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 1         | Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                | 947.870  | 947.870  | 947.870  | 947.870  | 947.870  |
| 2         | Peso del molde (gr)                                 | 1755.000 | 1755.000 | 1755.000 | 1755.000 | 1755.000 |
| 3         | Peso del molde + muestra húmeda (gr)                | 3325.000 | 3425.000 | 3525.000 | 3490.000 | 3375.000 |
| 4         | Peso de la muestra húmeda (gr)                      | 1570.000 | 1670.000 | 1770.000 | 1735.000 | 1620.000 |
| 5         | Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.656    | 1.762    | 1.867    | 1.830    | 1.709    |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

|    |   |        |        |        |        |        |
|----|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6  | Peso de la tara (gr)                              | 26.424 | 25.401 | 26.377 | 28.050 | 27.175 |
| 7  | Peso de la tara + suelo húmedo (gr)               | 60.330 | 63.441 | 59.398 | 66.414 | 61.921 |
| 8  | Peso de la tara + suelo seco (gr)                 | 59.033 | 61.158 | 56.576 | 62.466 | 57.458 |
| 9  | Peso del agua (gr)                                | 1.297  | 2.283  | 2.822  | 3.948  | 4.463  |
| 10 | Peso del suelo seco (gr)                          | 32.609 | 35.757 | 30.199 | 34.416 | 30.283 |
| 11 | Contenido de humedad (%)                          | 3.977  | 6.385  | 9.343  | 11.471 | 14.738 |
| 12 | Densidad seca de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.593  | 1.656  | 1.708  | 1.642  | 1.490  |

**GRAFICO: DENSIDAD vs HUMEDAD**



|  |       |
|--|-------|
| Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.708 |
| Contenido de Humedad (%)                   | 9.34  |





**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON  
CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS  
PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

**TESISTAS:** Capuñay Aguirre Christian Eduardo

**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Díaz

Pastor Olascuaga Cristian Jharel

**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

**ASESOR:** Ing. Julio César Rivasplata Díaz

**FECHA:** 10/10/2020

**CALICATA C-8, MUESTRA PATRÓN**

**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO - C.B.R. (ASTM D-1883)**

**a) Ensayo preliminar de Proctor modificado**

|  |       |
|--|-------|
| Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.708 |
| Óptimo Contenido de Humedad (%)            | 9.34  |

**b) Compactación de los moldes CBR**

| Molde N°              |  | I        | II       | III      |
|-----------------------|--|----------|----------|----------|
| N° de capas           |  | 5        | 5        | 5        |
| N° de golpes por capa |  | 56       | 26       | 12       |
| 1                     | Peso del molde + suelo compactado [gr] | 13039.00 | 12376.00 | 11630.00 |
| 2                     | Peso del molde [gr]                    | 6780.00  | 6780.00  | 6780.00  |
| 3                     | Peso de suelo compactado [gr]          | (1)-(2)  | 5596.00  | 4850.00  |
| 4                     | Volumen de molde [cm <sup>3</sup> ]    | 3151.78  | 3151.78  | 3151.78  |
| 5                     | Densidad húmeda [gr/cm <sup>3</sup> ]  | (3)/(4)  | 1.78     | 1.54     |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

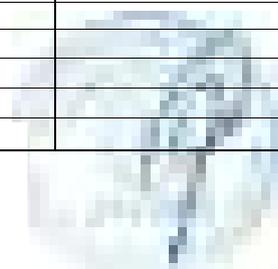
| Tara N° |  | 1              | 2      | 3      |
|---------|--|----------------|--------|--------|
| 6       | Peso de la tara, [gr]                              | 27.08          | 26.96  | 28.01  |
| 7       | Peso de la tara + suelo húmedo, [gr]               | 79.821         | 71.507 | 78.799 |
| 8       | Peso de la tara + suelo seco, [gr]                 | 78.788         | 70.123 | 76.258 |
| 9       | Peso del agua, [gr]                                | (7)-(8)        | 1.38   | 2.54   |
| 10      | Peso del suelo seco, [gr]                          | (8)-(6)        | 43.16  | 48.25  |
| 11      | Contenido de humedad, [%]                          | (9)/(10)x100   | 3.21   | 5.27   |
| 12      | Densidad seca de la muestra, [gr/cm <sup>3</sup> ] | 5/(1+(11)/100) | 1.720  | 1.462  |

**c) Prueba de penetración**

Area del anillo = 3 pulg<sup>2</sup>

Presión (libras/pulg<sup>2</sup>) = (L)/3

| Penetración<br>(pulg) | Presión patrón<br>(lb/pulg <sup>2</sup> ) | Molde N° I |         | Molde N° II |         | Molde N° III |         |
|-----------------------|---|------------|---------|-------------|---------|--------------|---------|
|                       |   | Dial       | Presión | Dial        | Presión | Dial         | Presión |
| 0.000                 |   | 0.0        | 0       | 0.0         | 0       | 0.0          | 0       |
| 0.025                 |   | 219.3      | 73      | 126.2       | 42      | 45.1         | 15      |
| 0.050                 |   | 408.5      | 136     | 240.3       | 80      | 117.2        | 39      |
| 0.075                 |   | 522.7      | 174     | 336.4       | 112     | 192.3        | 64      |
| 0.100                 | 1000                                      | 618.8      | 206     | 411.5       | 137     | 246.3        | 82      |
| 0.125                 |   | 693.9      | 231     | 486.6       | 162     | 321.4        | 107     |
| 0.150                 |   | 763.0      | 254     | 555.7       | 185     | 390.5        | 130     |
| 0.175                 |   | 826.1      | 275     | 618.8       | 206     | 453.6        | 151     |
| 0.200                 | 1500                                      | 883.2      | 294     | 675.9       | 225     | 510.7        | 170     |
| 0.225                 |   | 934.2      | 311     | 727.0       | 242     | 561.7        | 187     |
| 0.250                 |   | 982.3      | 327     | 775.0       | 258     | 609.8        | 203     |
| 0.275                 |   | 1027.4     | 342     | 820.1       | 273     | 654.9        | 218     |
| 0.300                 | 1900                                      | 1069.4     | 356     | 862.1       | 287     | 696.9        | 232     |
| 0.325                 |   | 1108.5     | 369     | 901.2       | 300     | 736.0        | 245     |
| 0.350                 |   | 1144.5     | 381     | 937.2       | 312     | 772.0        | 257     |
| 0.375                 |   | 1177.6     | 392     | 970.3       | 323     | 805.1        | 268     |
|                       |   |            |         |             |         |              |         |
|                       |   |            |         |             |         |              |         |
|                       |   |            |         |             |         |              |         |
|                       |   |            |         |             |         |              |         |





**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA  
CHIMBOTE - PERÚ

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON  
CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS  
PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

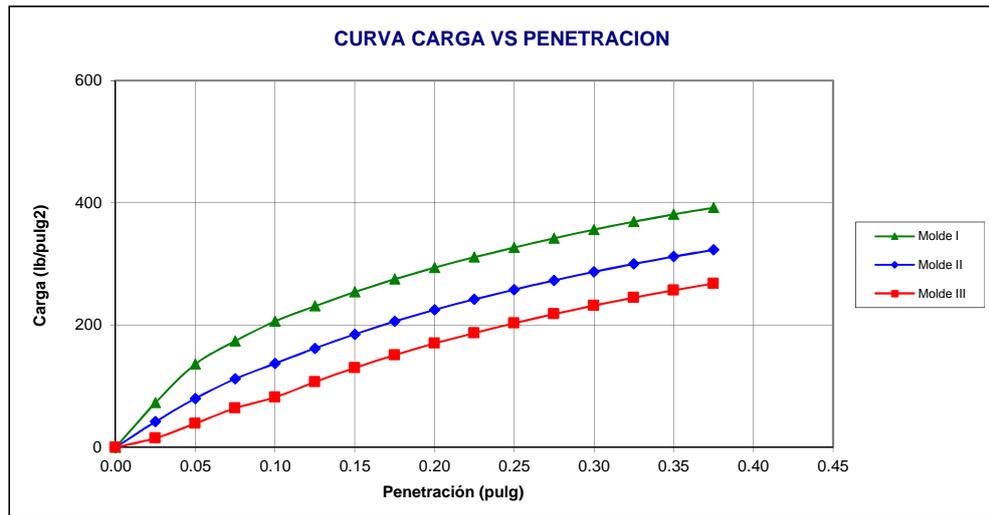
**TESISTAS:** Capuñay Aguirre, Christian Eduardo  
Pastor Olascuaga Cristian Jharol

**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Diaz

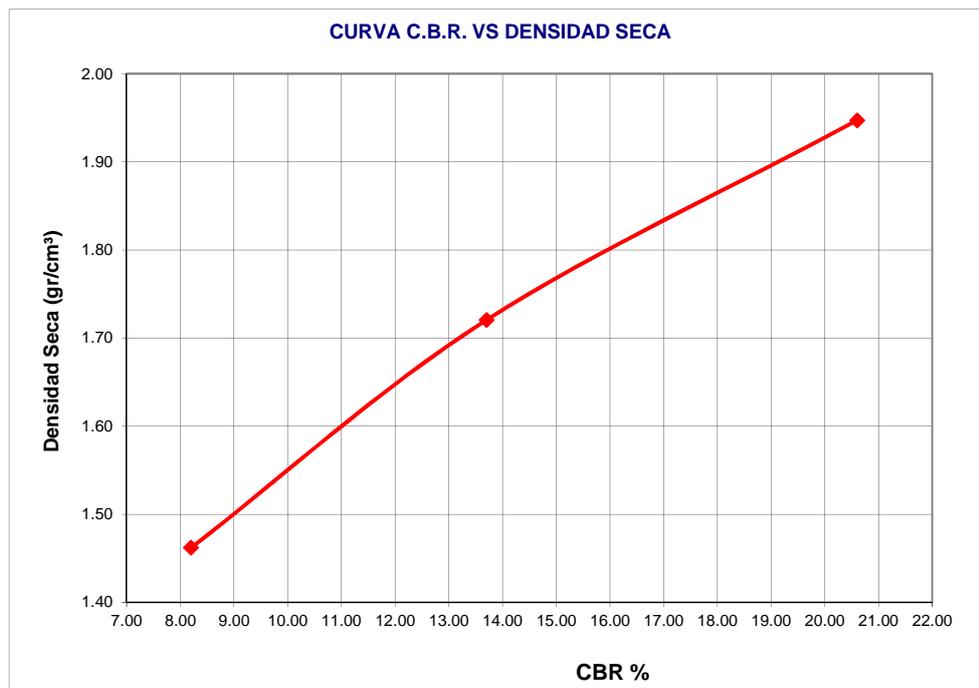
**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

**ASESOR:** Ing. Julio Cesar Rivasplata Diaz

**FECHA:** 10/10/2020

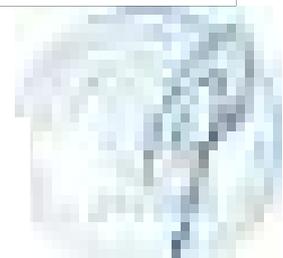


| Molde | Penetración (pulg) | Presión aplicada (lb/pulg²) | Presión aplicada (lb/pulg²) | C.B.R. (%) | Expansión |
|-------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|-----------|
| I     | 0.1                | 206.0                       | 1000                        | 20.60      | 0.00      |
| II    | 0.1                | 137.0                       | 1000                        | 13.70      | 0.00      |
| III   | 0.1                | 82.0                        | 1000                        | 8.20       | 0.00      |



|                   |       |        |
|-------------------|-------|--------|
| C.B.R. 100% MDS : | 1.708 | 13.60% |
|-------------------|-------|--------|

|               |       |        |
|---------------|-------|--------|
| CBR 95% MDS : | 1.623 | 11.50% |
|---------------|-------|--------|





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"

TESISTAS: Capuñay Aguirre Christian Eduardo  
Pastor Olascuaga Cristian Jharol

JEFE DE LABORATORIO: Ing. Julio César Rivasplata Diaz

LUGAR: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

ASESOR: Ing. Julio César Rivasplata Diaz

FECHA: 10/10/2020

**CALICATA C-8, CON 25% DE CENIZAS**

**METODO A**

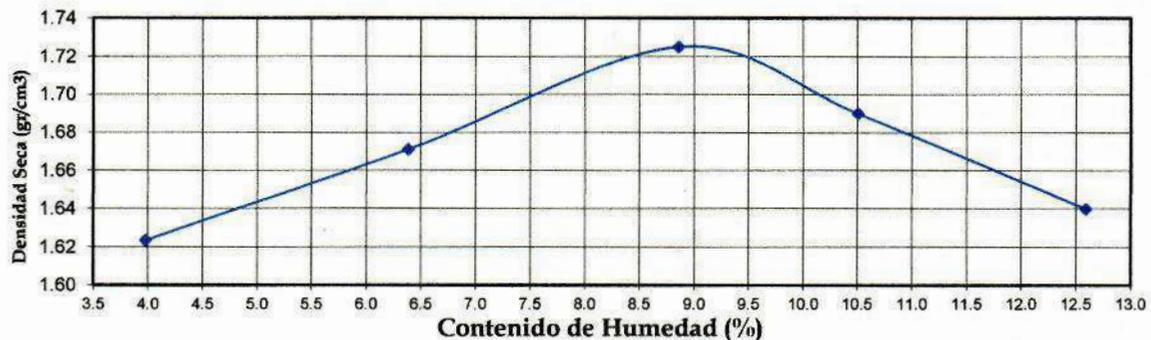
**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ( MTC E 115-2000 - ASTN D- 1557)**

| PUNTO No. |   | I        | II       | III      | IV       | V        |
|-----------|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| MOLDE No. |   | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 1         | Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                | 947.800  | 947.800  | 947.800  | 947.800  | 947.800  |
| 2         | Peso del molde (gr)                                 | 1755.000 | 1755.000 | 1755.000 | 1755.000 | 1755.000 |
| 3         | Peso del molde + muestra húmeda (gr)                | 3355.000 | 3440.000 | 3535.000 | 3525.000 | 3505.000 |
| 4         | Peso de la muestra húmeda (gr)                      | 1600.000 | 1685.000 | 1780.000 | 1770.000 | 1750.000 |
| 5         | Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.688    | 1.778    | 1.878    | 1.867    | 1.846    |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

|    |   |        |        |        |        |        |
|----|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6  | Peso de la tara (gr)                              | 26.424 | 25.401 | 26.377 | 28.050 | 27.175 |
| 7  | Peso de la tara + suelo húmedo (gr)               | 60.330 | 63.441 | 59.398 | 66.414 | 61.921 |
| 8  | Peso de la tara + suelo seco (gr)                 | 59.033 | 61.158 | 56.710 | 62.766 | 58.035 |
| 9  | Peso del agua (gr)                                | 1.297  | 2.283  | 2.688  | 3.648  | 3.886  |
| 10 | Peso del suelo seco (gr)                          | 32.609 | 35.757 | 30.333 | 34.716 | 30.860 |
| 11 | Contenido de humedad (%)                          | 3.977  | 6.385  | 8.860  | 10.508 | 12.592 |
| 12 | Densidad seca de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.624  | 1.671  | 1.725  | 1.690  | 1.640  |

**GRAFICO: DENSIDAD vs HUMEDAD**



|  |       |
|--|-------|
| Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.725 |
| Contenido de Humedad (%)                   | 8.86  |







**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

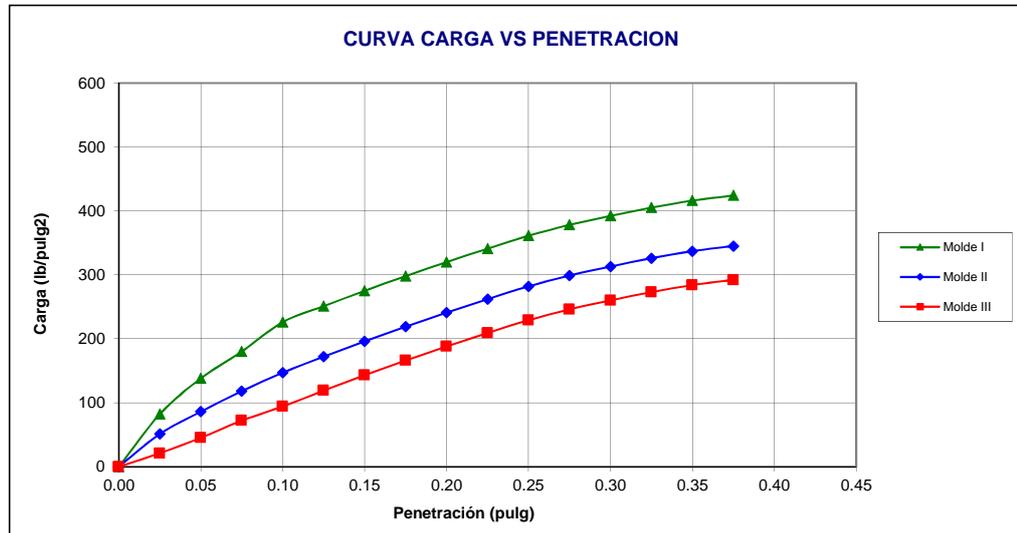
**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

**TESISTAS:** Capuñay Aguirre Christian Eduardo  
Pastor Olascuaga Cristian Jharol

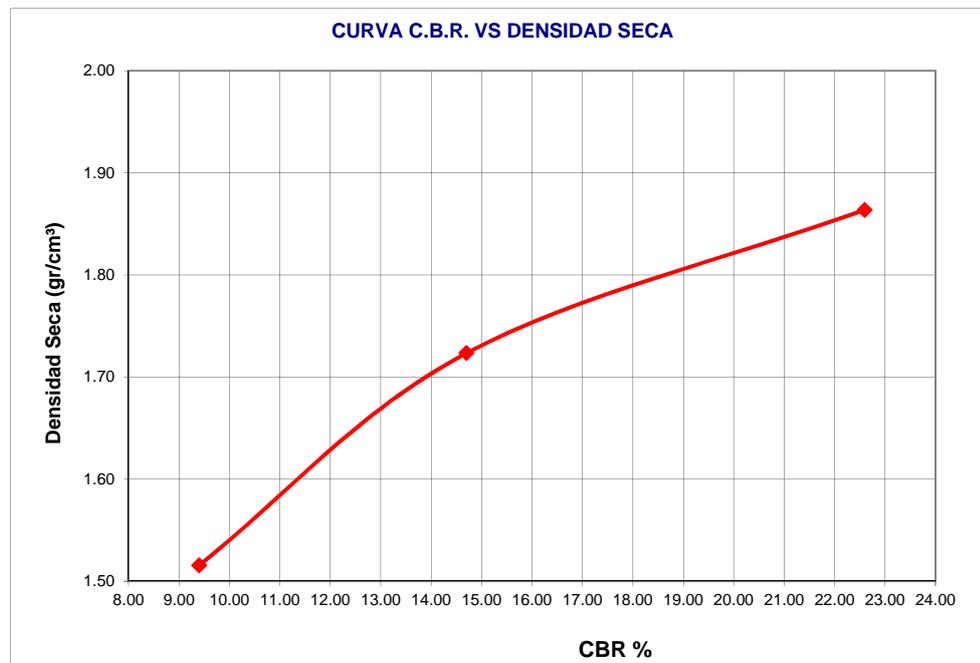
**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Díaz  
**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

**ASESOR:** Ing. Julio César Rivasplata Díaz

**FECHA:** 10/10/2020



| Molde | Penetración (pulg) | Presión aplicada (lb/pulg²) | Presión aplicada (lb/pulg²) | C.B.R. (%) | Expansión |
|-------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|-----------|
| I     | 0.1                | 226.0                       | 1000                        | 22.60      | 0.00      |
| II    | 0.1                | 147.0                       | 1000                        | 14.70      | 0.00      |
| III   | 0.1                | 94.0                        | 1000                        | 9.40       | 0.00      |



C.B.R. 100% MDS : 1.725 14.50%

CBR 95% MDS : 1.64 12.40%





**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON  
CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS  
PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

**TESISTAS:** Capuñay Aguirre Christian Eduardo  
Pastor Olascuaga Cristian Jharol

**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Diaz

**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

**ASESOR:** Ing. Julio César Rivasplata Diaz

**FECHA:** 10/10/2020

**CALICATA C-8, CON 35% DE CENIZAS**

**METODO A**

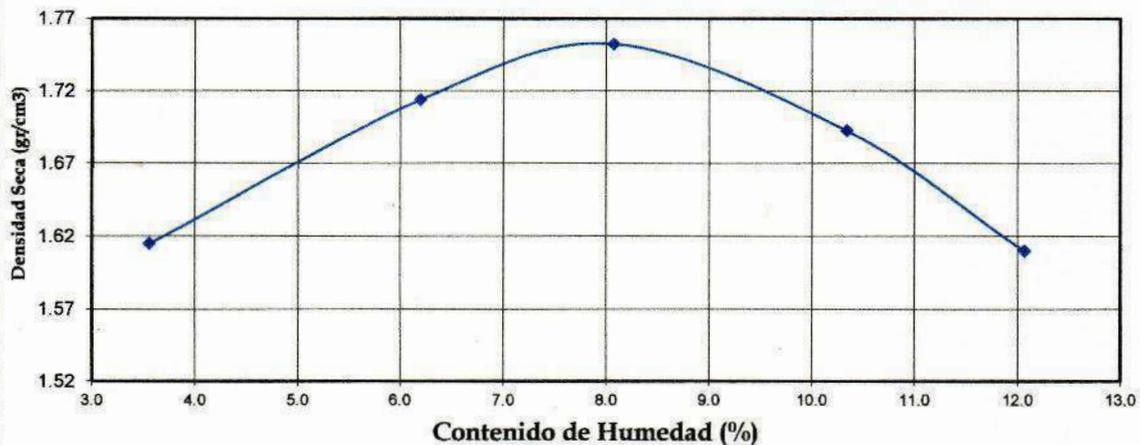
**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ( MTC E 115-2000 - ASTN D- 1557)**

| PUNTO No. | I   | II       | III      | IV       | V        |          |
|-----------|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| MOLDE No. | 1   | 1        | 1        | 1        | 1        |          |
| 1         | Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                | 947.800  | 947.800  | 947.800  | 947.800  | 947.800  |
| 2         | Peso del molde (gr)                                 | 1755.000 | 1755.000 | 1755.000 | 1755.000 | 1755.000 |
| 3         | Peso del molde + muestra húmeda (gr)                | 3340.000 | 3480.000 | 3550.000 | 3525.000 | 3465.000 |
| 4         | Peso de la muestra húmeda (gr)                      | 1585.000 | 1725.000 | 1795.000 | 1770.000 | 1710.000 |
| 5         | Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.672    | 1.820    | 1.894    | 1.867    | 1.804    |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

|    |   |        |        |        |        |        |
|----|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6  | Peso de la tara (gr)                              | 27.503 | 27.403 | 27.900 | 27.767 | 27.533 |
| 7  | Peso de la tara + suelo húmedo (gr)               | 36.867 | 34.600 | 34.633 | 35.067 | 36.633 |
| 8  | Peso de la tara + suelo seco (gr)                 | 36.545 | 34.180 | 34.130 | 34.383 | 35.653 |
| 9  | Peso del agua (gr)                                | 0.322  | 0.420  | 0.503  | 0.684  | 0.980  |
| 10 | Peso del suelo seco (gr)                          | 9.042  | 6.777  | 6.230  | 6.616  | 8.120  |
| 11 | Contenido de humedad (%)                          | 3.561  | 6.197  | 8.074  | 10.339 | 12.069 |
| 12 | Densidad seca de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.615  | 1.714  | 1.752  | 1.693  | 1.610  |

**GRAFICO: DENSIDAD vs HUMEDAD**



|   |              |
|---|--------------|
| <b>Máxima Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>1.752</b> |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                 | <b>8.074</b> |



|  |   |   |
|--|---|---|
|   | <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</b>                                 |   |
|  | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>                        |   |
| <b>TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"</b> |   |   |
| <b>TESISTAS:</b>   | Capuñay Aguirre Christaan Eduardo<br>Pastor Olascuaga Cristian Jharol | <b>JEFE DE LABORATORIO:</b> Ing. Julio César Rivasplata Díaz                          |
| <b>ASESOR:</b>   | Ing. Julio César Rivasplata Díaz                                      | <b>LUGAR:</b> Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS<br><b>FECHA:</b> 10/10/2020 |

**CALICATA C-8, CON 35% DE CENIZAS**

**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO - C.B.R. (ASTM D-1883)**

**a) Ensayo preliminar de Proctor modificado**

|  |       |
|--|-------|
| Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.752 |
| Óptimo Contenido de Humedad (%)            | 8.07  |

**b) Compactación de los moldes CBR**

| Molde N°              |  | I        | II       | III      |
|-----------------------|--|----------|----------|----------|
| N° de capas           |  | 5        | 5        | 5        |
| N° de golpes por capa |  | 56       | 26       | 12       |
| 1                     | Peso del molde + suelo compactado [gr] | 13035.00 | 12539.00 | 11580.00 |
| 2                     | Peso del molde [gr]                    | 6780.00  | 6750.00  | 6730.00  |
| 3                     | Peso de suelo compactado [gr]          | (1)-(2)  | 5789.00  | 4850.00  |
| 4                     | Volumen de molde [cm <sup>3</sup> ]    | 3151.78  | 3151.78  | 3151.78  |
| 5                     | Densidad húmeda [gr/cm <sup>3</sup> ]  | (3)/(4)  | 1.84     | 1.54     |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

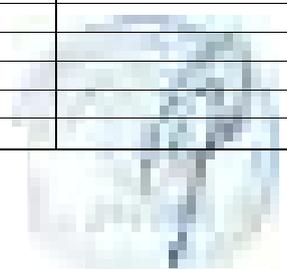
| Tara N° |  | 1              | 2      | 3      |
|---------|--|----------------|--------|--------|
| 6       | Peso de la tara, [gr]                              | 27.83          | 28.49  | 27.35  |
| 7       | Peso de la tara + suelo húmedo, [gr]               | 49.650         | 43.100 | 40.100 |
| 8       | Peso de la tara + suelo seco, [gr]                 | 47.920         | 41.694 | 38.998 |
| 9       | Peso del agua, [gr]                                | (7)-(8)        | 1.41   | 1.10   |
| 10      | Peso del suelo seco, [gr]                          | (8)-(6)        | 13.20  | 11.65  |
| 11      | Contenido de humedad, [%]                          | (9)/(10)×100   | 10.65  | 9.46   |
| 12      | Densidad seca de la muestra, [gr/cm <sup>3</sup> ] | 5/(1+(11)/100) | 1.660  | 1.406  |

**c) Prueba de penetración**

Area del anillo = 3 pulg<sup>2</sup>

Presión (libras/pulg<sup>2</sup>) = (L)/3

| Penetración (pulg) | Presión patrón (lb/pulg <sup>2</sup> ) | Molde N° I |         | Molde N° II |         | Molde N° III |         |
|--------------------|--|------------|---------|-------------|---------|--------------|---------|
|                    |  | Dial       | Presión | Dial        | Presión | Dial         | Presión |
| 0.000              |  | 0.0        | 0       | 0.0         | 0       | 0.0          | 0       |
| 0.025              |  | 159.1      | 53      | 111.1       | 37      | 45.0         | 15      |
| 0.050              |  | 321.2      | 107     | 204.1       | 68      | 114.1        | 38      |
| 0.075              |  | 489.3      | 163     | 300.2       | 100     | 189.1        | 63      |
| 0.100              | 1000                                   | 645.4      | 215     | 390.3       | 130     | 255.2        | 85      |
| 0.125              |  | 765.5      | 255     | 480.3       | 160     | 351.2        | 117     |
| 0.150              |  | 900.6      | 300     | 570.4       | 190     | 435.3        | 145     |
| 0.175              |  | 1017.7     | 339     | 660.4       | 220     | 486.3        | 162     |
| 0.200              | 1500                                   | 1146.8     | 382     | 744.5       | 248     | 552.4        | 184     |
| 0.225              |  | 1263.8     | 421     | 840.6       | 280     | 618.4        | 206     |
| 0.250              |  | 1377.9     | 459     | 915.6       | 305     | 678.5        | 226     |
| 0.275              |  | 1486.0     | 495     | 993.7       | 331     | 738.5        | 246     |
| 0.300              | 1900                                   | 1591.1     | 530     | 1062.7      | 354     | 786.5        | 262     |
| 0.325              |  | 1684.1     | 561     | 1134.8      | 378     | 837.6        | 279     |
| 0.350              |  | 1771.2     | 590     | 1194.8      | 398     | 885.6        | 295     |
| 0.375              |  | 1828.2     | 609     | 1251.8      | 417     | 924.6        | 308     |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |
|                    |  |            |         |             |         |              |         |





**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA  
CHIMBOTE - PERU

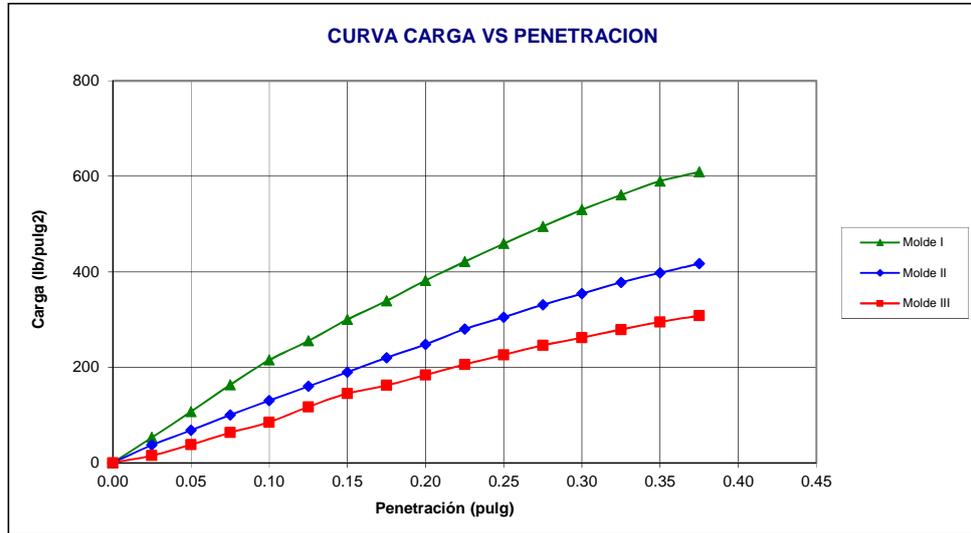
**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

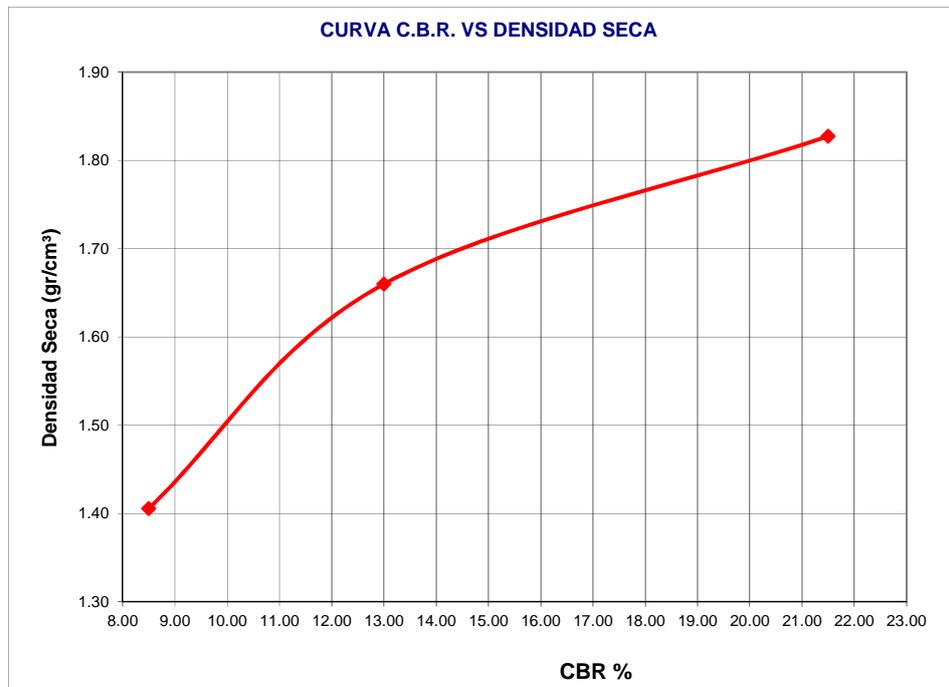
**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOITE"**

**TESISTAS:** Capuñay Aguirre Christiaan Eduardo  
Pastor Olascuaga Cristian Jharol  
**ASESOR:** Ing. Julio César Rivasplata Díaz

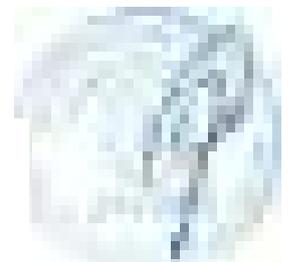
**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Díaz  
**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS  
**FECHA:** 10/10/2020



| Molde | Penetración (pulg) | Presión aplicada (lb/pulg <sup>2</sup> ) | Presión aplicada (lb/pulg <sup>2</sup> ) | C.B.R. (%) | Expansión |
|-------|--------------------|--|--|------------|-----------|
| I     | 0.1                | 215.0                                    | 1000                                     | 21.50      | 0.00      |
| II    | 0.1                | 130.0                                    | 1000                                     | 13.00      | 0.00      |
| III   | 0.1                | 85.0                                     | 1000                                     | 8.50       | 0.00      |



|                   |       |        |
|-------------------|-------|--------|
| C.B.R. 100% MDS : | 1.752 | 17.91% |
| CBR 95% MDS :     | 1.664 | 13.69% |





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

**TESISTAS:** Capuñay Aguirre Christian Eduardo  
Pastor Olascuaga Cristian Jharol

**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Diaz  
**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS  
**FECHA:** 10/10/2020

**CALICATA C-8, CON 45% DE CENIZAS**

**METODO A**

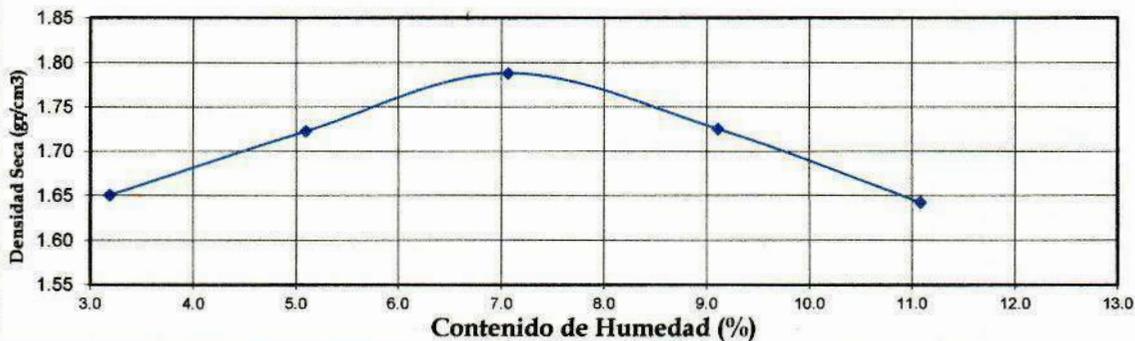
**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ( MTC E 115-2000 - ASTN D- 1557)**

| PUNTO No. | I   | II       | III      | IV       | V        |          |
|-----------|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| MOLDE No. | 1   | 1        | 1        | 1        | 1        |          |
| 1         | Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                | 932.342  | 932.342  | 932.342  | 932.342  | 932.342  |
| 2         | Peso del molde (gr)                                 | 1755.000 | 1755.000 | 1755.000 | 1755.000 | 1755.000 |
| 3         | Peso del molde + muestra húmeda (gr)                | 3343.000 | 3443.000 | 3540.000 | 3510.000 | 3456.000 |
| 4         | Peso de la muestra húmeda (gr)                      | 1588.000 | 1688.000 | 1785.000 | 1755.000 | 1701.000 |
| 5         | Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.703    | 1.810    | 1.915    | 1.882    | 1.824    |

**CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA**

|    |   |        |        |        |        |        |
|----|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6  | Peso de la tara (gr)                              | 27.170 | 27.000 | 27.403 | 27.767 | 27.533 |
| 7  | Peso de la tara + suelo húmedo (gr)               | 36.800 | 35.250 | 34.600 | 35.133 | 36.633 |
| 8  | Peso de la tara + suelo seco (gr)                 | 36.502 | 34.850 | 34.125 | 34.518 | 35.725 |
| 9  | Peso del agua (gr)                                | 0.298  | 0.400  | 0.475  | 0.615  | 0.908  |
| 10 | Peso del suelo seco (gr)                          | 9.332  | 7.850  | 6.722  | 6.751  | 8.192  |
| 11 | Contenido de humedad (%)                          | 3.193  | 5.096  | 7.066  | 9.110  | 11.084 |
| 12 | Densidad seca de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.651  | 1.723  | 1.788  | 1.725  | 1.642  |

**GRAFICO: DENSIDAD vs HUMEDAD**



|   |              |
|---|--------------|
| <b>Máxima Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>1.788</b> |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>                 | <b>7.066</b> |







**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"**

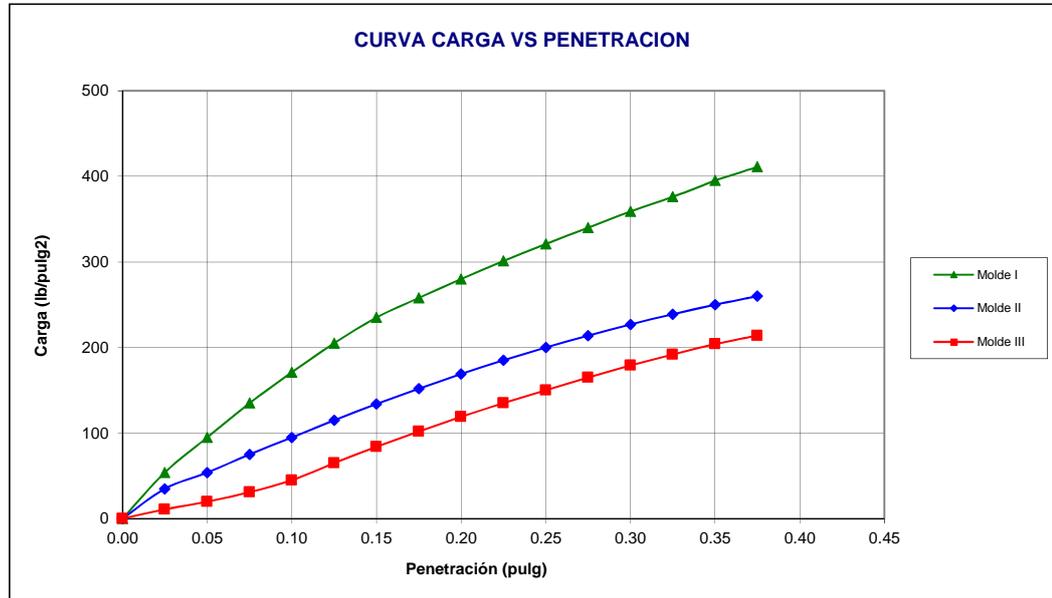
**TESISTAS:** Capuñay Aguirre, Christian Eduardo  
Pastor Olascuaga Cristian Jharol

**JEFE DE LABORATORIO:** Ing. Julio César Rivasplata Diaz

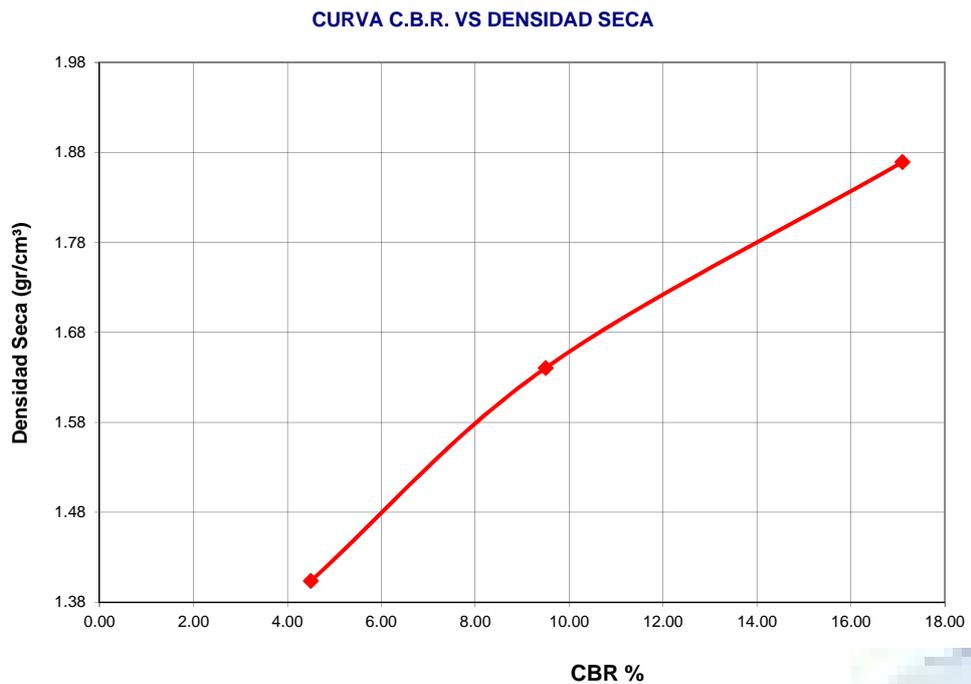
**LUGAR:** Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNS

**ASESOR:** Ing. Julio Cesar Rivasplata Diaz

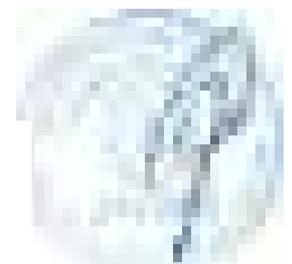
**FECHA:** 10/10/2020



| Molde | Penetración (pulg) | Presión aplicada (lb/pulg²) | Presión aplicada (lb/pulg²) | C.B.R. (%) | Expansión |
|-------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|-----------|
| I     | 0.1                | 171.0                       | 1000                        | 17.10      | 0.00      |
| II    | 0.1                | 95.0                        | 1000                        | 9.50       | 0.00      |
| III   | 0.1                | 45.0                        | 1000                        | 4.50       | 0.00      |



|                   |       |        |
|-------------------|-------|--------|
| C.B.R. 100% MDS : | 1.788 | 14.12% |
| CBR 95% MDS :     | 1.699 | 10.74% |



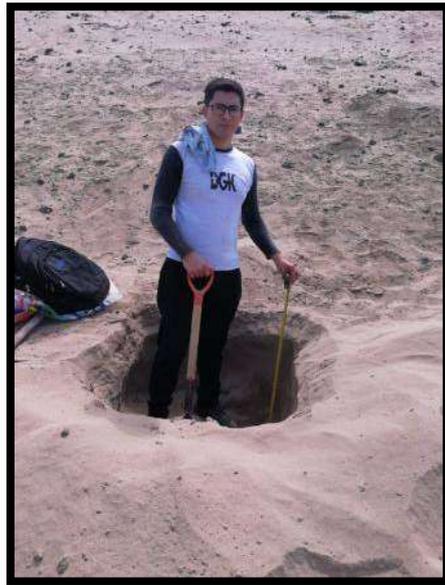
# **PANEL FOTOGRAFICO**



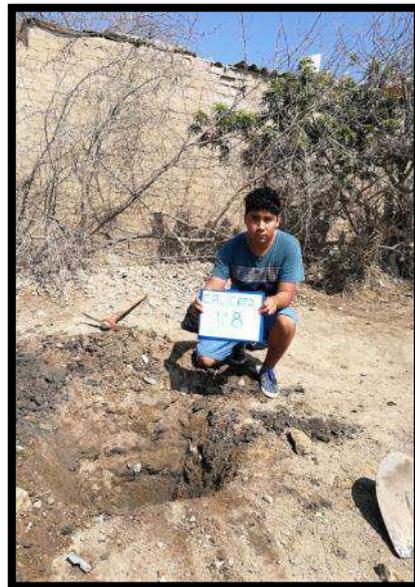
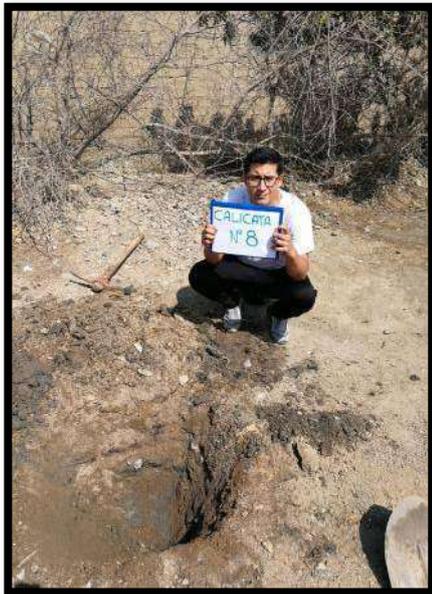
**FOTO N° 01 Y 02:** Fotografía de calicata C-1, la cual se llegó a la profundidad deseada.



**FOTO N° 03 Y 04:** Se aprecia la excavación de la calicata C-3 y C-7, llegando a la profundidad deseada, para la extracción de la muestra.



**FOTO N° 05 Y 06:** Se aprecia la excavación de la calicata C-5, donde con una lampa y barreno se llegó a la profundidad de exploración.



**FOTO N° 07 Y 08:** Calicata C-8, ubicada en la zona de Alto Perú, entre Jr. Ica y Jr. Miguel Grau.



**FOTO N° 09 Y 10:** Ensayo de California Bearing Ratio (CBR), en el laboratorio de la Universidad Nacional del Santa.



### DECLARACION JURADA DE AUTORÍA

Yo,  
..CRISTIAN SHAROL PASTOR OLASCUAGA.....  
estudiante / docente de la

|  |          |          |           |           |            |  |
|--|----------|----------|-----------|-----------|------------|--|
| Facultad:                                | Ciencias |          | Educación |           | Ingeniería |  |
| Escuela Profesional:                     |          |          |           |           |            |  |
| Departamento Académico: INGENIERÍA CIVIL |          |          |           |           |            |  |
| Escuela de Posgrado                      |          | Maestría |           | Doctorado |            |  |

Programa:

De la Universidad Nacional del Santa; Declaro que el trabajo de investigación intitulado:

"ESTABILIZACION DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE"

presentado en 187 folios, para la obtención del Grado académico: ( )

Título profesional: (X) Investigación anual: ( )

- He citado todas las fuentes empleadas, no he utilizado otra fuente distinta a las declaradas en el presente trabajo.
- Este trabajo de investigación no ha sido presentado con anterioridad ni completa ni parcialmente para la obtención de grado académico o título profesional.
- Comprendo que el trabajo de investigación será público y por lo tanto sujeto a ser revisado electrónicamente para la detección de plagio por el VRIN.
- De encontrarse uso de material intelectual sin el reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el proceso disciplinario.

Nuevo Chimbote, 06 de setiembre De 2021.

Firma:

Nombres y Apellidos: CRISTIAN SHAROL PASTOR OLASCUAGA

DNI: 72539620

**NOTA: Esta Declaración Jurada simple indicando que su investigación es un trabajo inédito, no exime a tesis e investigadores, que no bien se retome el servicio con el software anti plagio, ésta tendrá que ser aplicado antes que el informe final sea publicado en el Repositorio Institucional Digital UNS.**



## DECLARACION JURADA DE AUTORÍA

|  |   |                      |           |  |            |                                     |
|--|---|----------------------|-----------|--|------------|-------------------------------------|
| Yo, <u>Christiaan Eduardo Capuñay Aguirre</u>  |   |                      |           |  |            |                                     |
| estudiante / docente de la   |   |                      |           |  |            |                                     |
| Facultad:  | Ciencias                                  |                      | Educación |  | Ingeniería | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Escuela Profesional:   | <u>Ing. Civil</u>                         |                      |           |  |            |                                     |
| Departamento Académico:  |   |                      |           |  |            |                                     |
| Escuela de Posgrado  | Maestría                                  |                      | Doctorado |  |            |                                     |
| Programa:  |   |                      |           |  |            |                                     |
| De la Universidad Nacional del Santa; Declaro que el trabajo de investigación intitulado:  |   |                      |           |  |            |                                     |
| <u>" ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA USO COMO SUBGRANTE MEJORADA EN LOS PAVIMENTOS DE CHIMBOTE "</u>   |   |                      |           |  |            |                                     |
| presentado en <u>187</u> folios, para la obtención del Grado académico:  |   |                      |           |  |            | ( )                                 |
| Título profesional:  | ( <input checked="" type="checkbox"/> )   | Investigación anual: |           |  | ( )        |                                     |
| <ul style="list-style-type: none"><li>➤ He citado todas las fuentes empleadas, no he utilizado otra fuente distinta a las declaradas en el presente trabajo.</li><li>➤ Este trabajo de investigación no ha sido presentado con anterioridad ni completa ni parcialmente para la obtención de grado académico o título profesional.</li><li>➤ Comprendo que el trabajo de investigación será público y por lo tanto sujeto a ser revisado electrónicamente para la detección de plagio por el VRIN.</li><li>➤ De encontrarse uso de material intelectual sin el reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el proceso disciplinario.</li></ul> |   |                      |           |  |            |                                     |
| Nuevo Chimbote, <u>06</u> de <u>SEPTIEMBRE</u> De 20 <u>21</u> .   |   |                      |           |  |            |                                     |
| Firma:   |   |                      |           |  |            |                                     |
| Nombres y Apellidos:   | <u>Christiaan Eduardo Capuñay Aguirre</u> |                      |           |  |            |                                     |
| DNI:   | <u>71253069</u>                           |                      |           |  |            |                                     |

NOTA: **Esta Declaración Jurada simple indicando que su investigación es un trabajo inédito, no exime a tesistas e investigadores, que no bien se retome el servicio con el software anti plagio, ésta tendrá que ser aplicado antes que el informe final sea publicado en el Repositorio Institucional Digital UNS.**