

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



**“MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE
ARENAS CON FINES DE CIMENTACIÓN SUPERFICIAL UTILIZANDO
CAL Y CENIZAS DE HOJAS DE CAÑA DE AZÚCAR.”**

PRESENTADO POR:

Bach. BALLARTE MORENO, José Victor Alfredo

Bach. CAPCHA HERNANDEZ, Paulo Sergio

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

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



HOJA DEL AVAL DEL JURADO EVALUADOR

El presente trabajo de tesis titulado “MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE ARENAS CON FINES DE CIMENTACIÓN SUPERFICIAL UTILIZANDO CAL Y CENIZAS DE HOJAS DE CAÑA DE AZÚCAR” para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, presentado por Bach. JOSÉ VICTOR ALFREDO BALLARTE MORENO y Bach. PAULO SERGIO CAPCHA HERNÁNDEZ, que tienen como Asesor al docente Ms. Atilio Rubén LÓPEZ CARRANZA designado por resolución decanal N° 661-2017-UNS-FI. Ha sido revisado y aprobado el día 11 de Julio del 2018 por el siguiente jurado evaluador designado mediante la resolución N°255-2018-UNS-CFI.

Ms. Abner León Bobadilla
Presidente

Ms. Atilio Rubén López Carranza

Secretario

Ing. Edgar Sparrow Alamo

Integrante



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA CIVIL

"Año del Dialogo y la Reconciliación Nacional"

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

Siendo las dieciseis horas del día once de julio del año dos mil dieciocho, en el Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil del Campus Universitario de la Universidad Nacional del Santa, El Jurado Evaluador integrado por los docentes Ms. Abner León Bobadilla (Presidente), Ms. Atilio Rubén López Carranza (Secretario), Ing. Edgar Sparrow Alamo (Integrante), en cumplimiento a la Resolución N° 255-2018-UNS-CFI y Resolución Decanal N° 389-2018-UNS-FI, dan inicio a la sustentación de la Tesis titulada: **"MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE ARENAS CON FINES DE CIMENTACION SUPERFICIAL UTILIZANDO CAL Y CENIZAS DE HOJAS DE CAÑA DE AZUCAR"** presentado por los Bachilleres: BALLARTE MORENO JOSE VICTOR ALFREDO y CAPCHA HERNANDEZ PAULO SERGIO, quienes fueron asesorados por el Ms. Atilio Rubén López Carranza, según Resolución Decanal N° 661-2017-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
BALLARTE MORENO JOSE VICTOR ALFREDO	18	Muy Bueno

Siendo las diecisiete horas del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente Acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 11 de julio 2018


Ms. Abner León Bobadilla
Presidente


Ms. Atilio Rubén López Carranza
Secretario


Ing. Edgar Sparrow Alamo
Integrante



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

"Año del Dialogo y la Reconciliación Nacional"

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

Siendo las dieciseis horas del día once de julio del año dos mil dieciocho, en el Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil del Campus Universitario de la Universidad Nacional del Santa, El Jurado Evaluador integrado por los docentes Ms. Abner León Bobadilla (Presidente), Ms. Atilio Rubén López Carranza (Secretario), Ing. Edgar Sparrow Alamo (Integrante), en cumplimiento a la Resolución N° 255-2018-UNS-CFI y Resolución Decanal N° 389-2018-UNS-FI, dan inicio a la sustentación de la Tesis titulada: **"MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE ARENAS CON FINES DE CIMENTACION SUPERFICIAL UTILIZANDO CAL Y CENIZAS DE HOJAS DE CAÑA DE AZUCAR"** presentado por los Bachilleres: BALLARTE MORENO JOSE VICTOR ALFREDO y CAPCHA HERNANDEZ PAULO SERGIO, quienes fueron asesorados por el Ms. Atilio Rubén López Carranza, según Resolución Decanal N° 661-2017-UNS-FI.

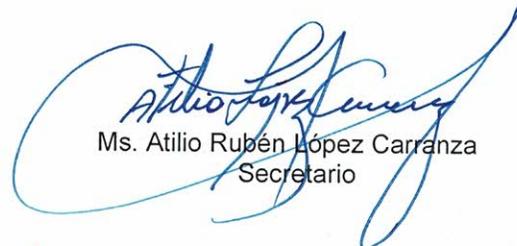
El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa,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

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
CAPCHA HERNANDEZ PAULO SERGIO	18	Muy Bueno

Siendo las diecisiete horas del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente Acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 11 de julio 2018


Ms. Abner León Bobadilla
Presidente


Ms. Atilio Rubén López Carranza
Secretario


Ing. Edgar Sparrow Alamo
Integrante

DEDICATORIA

Para el lector.

José Ballarte Moreno

Para toda mi familia, por apoyarme incondicionalmente e impulsarme a ser mejor persona y profesional.

Paulo Capcha Hernández

AGRADECIMIENTO

- A Dios, por permitir que cumplamos un objetivo más en nuestras vidas.
- A nuestras familias en general, por motivarnos continuamente a culminar esta investigación.
- A nuestro asesor, el Ms. Rubén López Carranza, por su reiterado apoyo académico y moral en el desarrollo de esta investigación.
- A los docentes de la escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil, por apoyarnos en todo el transcurso de nuestra carrera, y por habernos compartido su afecto y conocimiento.
- Al técnico de laboratorio Pablo, por su ayuda constante en la realización de los ensayos.
- A nuestros amigos, por todos los buenos y malos momentos que pasamos en nuestra travesía universitaria.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES	2
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
1.3. OBJETIVOS.....	8
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	8
1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO.....	8
1.4. HIPÓTESIS	8
1.5. JUSTIFICACIÓN	9
1.6. LIMITACIONES.....	9

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. EL SUELO	11
2.1.1. DEFINICIÓN.....	11
2.1.2. AGENTES GENERADORES DE SUELOS	11
2.1.3. TRANSPORTE DE SUELOS	12
2.1.4. MINERALES CONSTITUTIVOS DE LOS SUELOS	14
2.2. PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE LOS SUELOS.....	18

2.2.1. GRANULOMETRÍA	18
2.2.2. RELACIONES VOLUMÉTRICAS.....	24
2.2.3. DENSIDAD MÁXIMA, MÍNIMA Y RELATIVA.....	26
2.2.4. PLASTICIDAD	29
2.2.5. CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	34
2.2.6. COMPACTACIÓN.....	41
2.2.7. RESISTENCIA AL CORTE	46
2.3. TEORÍA DE MECÁNICA DE SUELOS	55
2.3.1. CIMENTACIONES SUPERFICIALES	55
2.3.2. CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA.....	55
2.3.3. TEORÍA DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE TERZAGHI.....	57
2.3.4. FACTOR DE SEGURIDAD	61
2.3.5. LA ECUACIÓN GENERAL DE LA CAPACIDAD DE CARGA.....	62
2.3.6. FACTORES DE LA CAPACIDAD DE CARGA.....	63
2.3.7. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN EL SUELO.....	66
2.4. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS	72
2.4.1. INTRODUCCIÓN	72
2.4.2. DEFINICIÓN.....	73
2.4.3. COMPACTACIÓN EN CAMPO	74
2.4.4. ESTABILIZACIÓN CON CAL	77
2.4.5. ESTABILIZACIÓN CON CENIZAS VOLANTES	78
2.5. CAL.....	79
2.5.1. DEFINICIÓN.....	79
2.5.2. CLASIFICACIÓN	79
2.5.3. ÍNDICE DE HIDRAULICIDAD.....	81

2.5.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA	82
2.5.5. PROCESO DE PRODUCCIÓN	84
2.5.6. USOS Y APLICACIONES	86
2.6. CENIZAS DE HOJAS DE CAÑA DE AZÚCAR	90
2.6.1. CARACTERÍSTICAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR	90
2.6.2. TAXONOMÍA DE LA CAÑA DE AZÚCAR.....	91
2.6.3. MORFOLOGÍA DE LA CAÑA DE AZÚCAR.....	91
2.6.4. COMPOSICIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR.....	98
2.6.5. SISTEMAS DE COSECHA DE LA CAÑA DE AZÚCAR.....	99
2.6.6. LA ACTIVIDAD DE LA QUEMA DE CAÑA DE AZÚCAR.....	103
2.6.7. VALORIZACIÓN PUZOLÁNICA DE LA CENIZA DE HOJAS DE CAÑA DE AZÚCAR	105
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	109
3.2. UNIVERSO, POBLACIÓN Y MUESTRA	109
3.2.1. UNIVERSO	109
3.2.2. POBLACIÓN.....	109
3.2.3. MUESTRA	109
3.3. VARIABLES.....	110
3.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE	110
3.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE	110
3.4. MATERIALES INVESTIGADOS	111
3.4.1. SUELO ARENOSO	111
3.4.2. CAL.....	111
3.4.3. CENIZAS DE HOJAS DE CAÑA DE AZÚCAR.....	111

3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	112
3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	114
3.6.1. TRABAJOS EJECUTADOS EN CAMPO	115
3.6.2. TRABAJOS EN LABORATORIO.....	117
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. RESULTADOS	131
4.1.1. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN FÍSICA	131
4.1.2. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN QUÍMICA.....	133
4.1.3. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA	135
4.1.4. DIMENSIONAMIENTO DE CIMENTACIÓN SUPERFICIAL	143
4.1.5. EVALUACIÓN ECONÓMICA	146
4.2. DISCUSIÓN.....	148
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1. CONCLUSIONES	152
5.2. RECOMENDACIONES	153
CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES	
6.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES.....	155
CAPÍTULO VII: ANEXOS	
ANEXO 01: MEMORIA DE CÁLCULO	
ANEXO 02: ENSAYOS DE LABORATORIO	
ANEXO 03: PANEL FOTOGRÁFICO	

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2.1. Clasificación de suelos según Kopecky.</i>	19
<i>Tabla 2.2. Tamices para análisis granulométrico.</i>	22
<i>Tabla 2.3. Relación Compacidad Relativa – Estado de Material.</i>	28
<i>Tabla 2.4. Tabla de estimados de precisión.</i>	33
<i>Tabla 2.5. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S).</i>	38
<i>Tabla 2.6. Sistema AASHTO de clasificación de suelos.</i>	40
<i>Tabla 2.7. Factores de capacidad de carga de Terzaghi.</i>	59
<i>Tabla 2.8. Factores de capacidad de carga modificados de Terzaghi.</i>	61
<i>Tabla 2.9. Factores de capacidad de carga.</i>	64
<i>Tabla 2.10. Factores de forma, profundidad e inclinación recomendados para su uso.</i>	65
<i>Tabla 2.11. Variación del valor de influencia, I.</i>	68
<i>Tabla 2.12. Variación I_c con m_1 y n_1.</i>	70
<i>Tabla 2.13. Índices Hidráulicos.</i>	82
<i>Tabla 2.14. Composición química de la cal aérea.</i>	83
<i>Tabla 2.15. Composición química de cal hidráulica.</i>	83
<i>Tabla 2.16. Composición de la caña en la plantación.</i>	98
<i>Tabla 2.17. Composición química de la paja en estado natural</i>	98
<i>Tabla 2.18. Composición química de la ceniza de hoja de caña.</i>	107

ÍNDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 3.1. Ubicación de calicatas.....</i>	<i>11010</i>
<i>Cuadro 3.2. Proporción de mezclas.....</i>	<i>11313</i>
<i>Cuadro 4.1. Composición Química de cal, expresada en óxidos.</i>	<i>133</i>
<i>Cuadro 4.2. Composición Química de ceniza de hojas de caña de azúcar.....</i>	<i>134</i>
<i>Cuadro 4.3. Incremento del valor del ángulo de fricción respecto al del suelo natural</i>	<i>143</i>
<i>Cuadro 4.4. Capacidad Portante de las mezclas seleccionadas para la calicata C-01.</i>	<i>144</i>
<i>Cuadro 4.5. Capacidad Portante de las mezclas seleccionadas para la calicata C-02.</i>	<i>144</i>
<i>Cuadro 4.6. Espesores de mejoramiento de suelo para las mezclas seleccionadas de la calicata C-01.....</i>	<i>146</i>
<i>Cuadro 4.7. Espesores de mejoramiento de suelo para las mezclas seleccionadas de la calicata C-02.....</i>	<i>146</i>
<i>Cuadro 4.8. Evaluación económica de construcción de zapatas con distintos mejoramientos de suelos para la calicata C-01.</i>	<i>147</i>
<i>Cuadro 4.9. Evaluación económica de construcción de zapatas con distintos mejoramientos de suelos para la calicata C-02.</i>	<i>147</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2.1. Estructura tetraédrica del átomo de silicio.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2.2. Estructura de la lámina silícica.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 2. 3. Estructura de la lámina alumínica.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 2. 4. Curva granulométrica de un suelo.</i>	<i>20</i>
<i>Figura 2.5. Análisis granulométrico con el hidrómetro.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 2.6. Fases del Suelo.</i>	<i>24</i>
<i>Figura 2.7. Límites de Atterberg.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 2.8. Copa Casagrande..</i>	<i>31</i>
<i>Figura 2.9. Muestras de suelo antes y después de la prueba.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 2.10. Carta de Plasticidad..</i>	<i>37</i>
<i>Figura 2.11. Curva densidad seca - humedad.</i>	<i>41</i>
<i>Figura 2.12. Fuerzas internas en las partículas de suelo.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 2.13. Bloque deslizante en un plano.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 2.14. Relación entre esfuerzo cortante y normal en arenas lavadas y secas.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 2. 15. Relación entre esfuerzo cortante y normal en arcillas blandas.</i>	<i>50</i>
<i>Figura 2.16. Esquema del aparato de resistencia al esfuerzo cortante directo.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 2.17. Curva deformación vs esfuerzo de corte para un esfuerzo normal.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 2.18. Curva de Resistencia Intrínseca. Esfuerzo normal vs esfuerzo de corte.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 2.19. Falla General por Corte.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 2.20. Falla Local de Corte..</i>	<i>56</i>
<i>Figura 2.21. Falla de corte por Punzonamiento.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 2. 22. Esquema de falla por capacidad de carga en suelo bajo una cimentación corrida..</i>	<i>57</i>
<i>Figura 2.23. Esfuerzo vertical en un punto A, causado por una carga puntual.</i>	<i>66</i>

<i>Figura 2.24. Método 2:1 para encontrar el incremento de esfuerzo debajo de una cimentación.</i>	71
<i>Figura 2.25. Proceso de selección del Tipo de Estabilización.</i>	74
<i>Figura 2.26. Sistema radicular de la caña de azúcar.</i>	92
<i>Figura 2.27. Tallos de la caña y su diferenciación.</i>	93
<i>Figura 2.28. Nudo y entrenudo. Partes principales del tallo de la caña de azúcar.</i>	94
<i>Figura 2.29. Formas del entrenudo.</i>	95
<i>Figura 2.30. Componentes morfológicos que identifican el nudo y el entrenudo del tallo.</i>	95
<i>Figura 2.31. Partes de la hoja de la caña.</i>	96
<i>Figura 2.32. Flor de la caña de azúcar.</i>	97
<i>Figura 3.1. Ubicación de calicatas.</i>	110
<i>Figura 4.1. Curva granulométrica del suelo natural extraído de la calicata C-01.</i>	131
<i>Figura 4.2. Curva granulométrica del suelo natural extraído de la calicata C-02.</i>	131
<i>Figura 4.3. Variación de la máxima densidad seca según las dosificaciones de cal y ceniza para la calicata C-01.</i>	135
<i>Figura 4.4. Variación de la máxima densidad seca según las dosificaciones de cal y ceniza para la calicata C-02.</i>	136
<i>Figura 4.5. Variación del ángulo de fricción según las dosificaciones de 0% cal y ceniza para la calicata C-01.</i>	137
<i>Figura 4.6. Variación del ángulo de fricción según las dosificaciones de 2% cal y ceniza para la calicata C-01.</i>	138
<i>Figura 4.7. Variación del ángulo de fricción según las dosificaciones de 4% cal y ceniza para la calicata C-01.</i>	138
<i>Figura 4.8. Variación del ángulo de fricción según las dosificaciones de 6% cal y ceniza para la calicata C-01.</i>	139

Figura 4.9. Variación del ángulo de fricción según las dosificaciones de 0% cal y ceniza para la calicata C-02..... 140

Figura 4.10. Variación del ángulo de fricción según las dosificaciones de 2% cal y ceniza para la calicata C-02..... 141

Figura 4.11. Variación del ángulo de fricción según las dosificaciones de 4% cal y ceniza para la calicata C-02..... 141

Figura 4.12. Variación del ángulo de fricción según las dosificaciones de 6% cal y ceniza para la calicata C-02..... 142

RESUMEN

El suelo de la zona sur de la ciudad de Nuevo Chimbote está conformado por depósitos de arenas eólicas de pobres propiedades mecánicas, exigiendo mayores profundidades de desplante o mayores áreas de cimentación, con la constante susceptibilidad de presentar problemas de asentamientos diferenciales y demás fenómenos.

Como alternativa de solución, esta investigación comprende el análisis y aplicación de uso de la cal y de cenizas de hojas, producto de la quema de la caña de azúcar como estabilizadores de suelos arenosos, con el propósito de evaluar su influencia en las propiedades mecánicas de estos.

Se realizaron dos calicatas dentro del Campus I de la Universidad Nacional del Santa para extraer muestras del suelo y establecer los valores base de las propiedades a evaluar (Máxima Densidad Seca, Ángulo de Fricción y Capacidad Portante), a través de los ensayos de Proctor Estándar y Corte Directo. Para encontrar la dosificación óptima de estabilización se realizaron 19 tipos de mezclas, variando la cal en un 2%, 4% y 6% del peso total de la mezcla y las cenizas de hojas de caña de azúcar en 5%, 10%, 15% y 20%.

Los resultados indicaron que en las mezclas suelo-cal-ceniza, la dosificación 6% cal y 15% ceniza fue la única que logró una leve mejoría, incrementando el ángulo de fricción en un 5.41% y capacidad portante en un 14.31% a pesar de su baja densidad seca. Además, la aplicación de un mejoramiento de suelo con estas características representa un ahorro económico del 3.95%, siendo poco significativo y, en otras palabras, poco práctico.

Palabras clave: Estabilización de suelos, cimentación superficial, cenizas, cal, corte directo, capacidad portante.

ABSTRACT

The soil in the southern area of Nuevo Chimbote city is made up of wind-sand deposits with poor mechanical properties, requiring greater depths of foundation or greater footings areas, with the constant susceptibility of differential settlement problems and other phenomena.

As a solution alternative, this research includes the analysis and application of the use of lime and leaf ash, product of the burning of sugarcane as stabilizers of sandy soils, with the purpose of evaluating their influence on the mechanical properties of these.

Two pits were made inside the Campus I of Santa National University to extract soil samples and establish the base values of the properties to be evaluated (Maximum Dry Density, Angle of Friction and Bearing Capacity), through the tests of Standard Proctor and Direct Cutting. To find the optimal stabilization dosage, 19 types of mixtures were made, varying the lime by 2%, 4% and 6% of the total weight of the mixture and the ashes of sugarcane leaves in 5%, 10%, 15% and 20%.

The results indicated that in the soil-lime-ash mixtures, the dosage 6% lime and 15% ash was the only one that achieved a slight improvement, increasing the angle of friction by 5.41% and bearing capacity by 14.31% despite its low dry density. In addition, the application of a soil improvement with these characteristics represents an economic saving of 3.95%, being insignificant and, in other words, impractical.

Keywords: Soil stabilization, shallow foundation, ash, lime, direct cutting, bearing capacity.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Rufino, Machado y Dias (2013), en su artículo *Determinación de mezclas de suelo estabilizado a partir de recursos de biomasa locales para mejorar la calidad de las viviendas construidas por la población del territorio de Uige, Angola*, de la Revista Ingeniería de Construcción, Chile, propone incrementar la estabilidad del suelo y con ello la mejora de sus características como material de construcción a partir del reciclaje y transformación puzolánica de residuos agrícolas locales. Los factores considerados para la determinación de la mezcla, según las características del suelo de la región de Uige y los estabilizadores propuestos, fueron delimitados de la siguiente manera: los porcentajes de ceniza tanto de cuesco de palma africana (CPA) como de ceniza de bagazo de caña (CBC) se trabajaron en 3 niveles: 4%, 5% y 6%; los porcentajes de cal se delimitaron en 3 niveles: 2%, 3% y 5%. Adicionalmente se elaboró un patrón de estudio con 0% de adición, con un total de 18 mezclas diferentes evaluadas. Las variables respuesta que se evaluaron son: Resistencia a Compresión y Densidad para el caso del estudio de las propiedades físico - mecánicas. Para el estudio de la durabilidad se realizaron los ensayos de Adsorción capilar. En el caso del suelo estudiado la mejor mezcla es proporcionada por la combinación de hasta un 10 por ciento de puzolana (5% CPA + 5% CBC) con cal (3%), la cual presenta adecuados valores de resistencia, densidad y adsorción capilar.

López (2017), en su tesis *Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de Pomasqui para cimentaciones superficiales y contrapisos, mediante el uso de cemento tipo MH*, presentada en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador, muestra los resultados de una

investigación experimental basada en la estabilización de suelos arenosos del sector de Pomasqui adicionando cemento tipo MH. Los trabajos consistieron en ensayos de penetración estándar (SPT) en tres puntos dentro de la zona, con el propósito de investigar la compacidad y tener una clasificación más detallada de los estratos de suelos. Acompañados de toma de muestras alteradas integrales para los posteriores ensayos de laboratorio, los cuales consistieron en ensayos para la clasificación de suelos y para conocer sus propiedades mecánicas (resistencia a la compresión simple, ángulo de fricción, cohesión, densidad máxima y humedad óptima de compactación). Estas pruebas se hicieron tanto a las muestras de suelo arenoso en estado natural, como a las mezclas suelo - cemento con distintas dosificaciones: 3%, 6%, 9% Y 12%. Finalmente concluyó lo siguiente: El uso de cemento tipo MH con un 3% al peso seco es adecuado y conveniente para el mejoramiento de las propiedades físico mecánicas del suelo. Tuvo un mejoramiento en en ángulo de fricción de 25-30° a 45°, mientras la cohesión aumentó de 0 a 2.5 kg/cm². Esto implica un mejoramiento de la capacidad portante de los suelos arenosos para cimentación.

Cañar (2017), con su trabajo experimental *Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinadas con ceniza de carbón* presentada en la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, propuso evaluar los resultados de resistencia al corte y el comportamiento mecánico entre los suelos arenosos finos y arcillosos estabilizados con cenizas de carbón, con el fin de determinar las mejores condiciones para su uso .Para determinar la Resistencia al Corte de cada tipo de suelo se lo realizó mediante el Ensayo de Compresión No Confinada, aplicado a muestras de suelos arenosos y arcillosos con distintas dosificaciones de cenizas

de carbón: 20%, 23% y 25%. Se concluyó que la adición de ceniza de carbón en un 25%, aumenta la resistencia al corte de las arenas en un 28.66% y un 4.4% en las arcillas.

Ankit, Deepak y Farukh (2017), en su artículo *Study of Shear Strength Parameters of Yamuna Sand Mixed with Pond Ash and Lime [Estudio de los parámetros de fuerza cortante de los suelos de Yamuna mezclados con cenizas y cal]*, de International Journal of Advance Engineering and Research Development, tuvo como objetivo principal usar una mezcla de cenizas y cal para mejorar la capacidad portante y el esfuerzo cortante de los suelos arenosos de la región de Yamuna, India. Las cenizas fueron recogidas de la central de energía térmica Badarpur. En el laboratorio se determinaron la gravedad específica, máxima densidad seca y los parámetros mecánicos del suelo (ángulo de fricción y cohesión) a través de los ensayos de corte directo y prueba triaxial. Esto se aplicó tanto a las arenas en estado natural, como a las mezclas con cenizas en distintas dosificaciones: manteniendo constante el porcentaje de cal (8%) y variando el porcentaje de cenizas (5%, 10%, 15% y 20%). Tras haberse realizado ensayos, entre ellos de corte directo y triaxiales, se concluyó que la mezcla con la que se obtiene mejores resultados fue la compuesta por un 8% de cal y 15% de ceniza. En el ensayo de corte directo se puede apreciar que la cohesión aumentó de 0 a 13.4 kPa y el ángulo de fricción de 34 a 39.8°. Lo mismo sucede con el ensayo triaxial, la cohesión aumentó de 1.02 a 16.4 kPa, mientras el ángulo de fricción de 35.2 a 40.7°. Esto indica un aumento de la capacidad portante de los suelos arenosos.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La creciente demografía en el Perú en los últimos años ha demandado que el sector de la construcción se desarrolle de una manera acelerada, permitiendo la ejecución de distintos tipos de obra, siendo los más comunes la construcción de edificaciones. Los propietarios, con el objeto de obtener un mayor espacio y poder albergar a más personas, tienden a aumentar las dimensiones de su vivienda, teniendo como consecuencia que las cargas de las estructuras transmitidas al suelo sean mayores, exigiendo cimentaciones de mayor dimensión y de mayor profundidad.

Uno de los principales problemas que se busca evitar es la presencia de asentamientos diferenciales de la cimentación, ya que podrían generar grietas de gran tamaño tanto en elementos estructurales, como no estructurales en una edificación. Estos se originan cuando las propiedades geotécnicas del suelo de fundación no son las adecuadas o cuando se ven afectados por una acción externa, como ruptura de tuberías, vibraciones, ascenso del nivel freático, excavaciones cercanas, etc.

En la zona sur de la ciudad de Nuevo Chimbote, el suelo está conformado por depósitos de arenas eólicas. Alva (2011) lo confirma: “En Buenos Aires el estrato de arena fina a gruesa tiene 20 metros de espesor, mientras que en Nuevo Chimbote tiene 4 metros, suprayaciendo arenas finas a medias con arcilla hasta los 16 metros.” (p.3). Estos suelos presentan características de baja compacidad, baja capacidad portante y alta erosionabilidad, exigiendo que el fondo de cimentación se ubique a una mayor profundidad, hasta el nivel donde

se garantice una resistencia del suelo óptima capaz de soportar las cargas de la estructura. Sin embargo, esto no se cumple en la realidad, y como consecuencia hemos logrado apreciar la formación de fisuras y grietas en las fachadas de algunas viviendas construidas sobre estos suelos.

Una de las alternativas de solución es sustituir el suelo natural por un material de préstamo, que una vez compactado, posea las propiedades requeridas y sea lo suficientemente resistente. Pero ello conllevaría un mayor costo en cuanto a las partidas de excavación y eliminación del material excedente, así como en el transporte y colocación del nuevo material de reemplazo. La alternativa más conveniente sería aprovechar el suelo in situ y mejorarlo mezclándolo con algún aditivo, de manera que optimice las características del suelo y esté apto para soportar las cargas de la estructura. Los materiales cementantes o de características similares a estos son los más idóneos para la lograr la estabilización de suelos arenosos, siendo las cenizas de residuos agroindustriales, últimamente, un material muy utilizado en el ámbito de la construcción, ya que, debido a su alto contenido de sílice y alúmina, y trabajando conjuntamente con un agente activador como la cal, logran producir reacciones puzolánicas que tranquilamente pueden sustituir a un cemento portland convencional.

Algunas agroindustrias en la costa del Perú, especialmente las que se dedican al cultivo y procesamiento de la caña de azúcar, son grandes productores de cenizas volátiles a cielo abierto, debido a la quema que se efectúa sobre sus cultivos.

Esta quema se realiza antes de la cosecha en donde las hojas secas son incineradas, se hace para garantizar el control de pestes y reducir los costos de la cosecha. Cuando se efectúa la quema de caña, se produce una contaminación en la cual se puede observar una lluvia de partículas y cenizas volátiles acompañadas de humo y gases no visibles. (Carrera, Loyola e Iglesias, 2010, p.1)

Esta actividad no es lejana a nuestra localidad; a unos 25 kilómetros, en el distrito de Nepeña, se encuentran los centros poblados Cerro Blanco y San Jacinto, cuyas tierras son las principales productoras y abastecedoras de caña de azúcar a la agroindustria San Jacinto S.A.A., siendo las cenizas una constante que afecta tanto la salud de la población como al medio ambiente.

Ante las problemáticas mencionadas anteriormente, nos vemos interesados en aprovechar estos residuos agroindustriales e incluirlos como un nuevo componente principal, mezclándolo con cal, para mejorar las propiedades mecánicas de los suelos donde se piensa apoyar a cimentación de una estructura. Consecuentemente, formulamos la siguiente pregunta: **¿La utilización de cal y cenizas de las hojas de caña de azúcar mejorará las propiedades mecánicas de las arenas con fines de cimentación superficial?**

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar las propiedades mecánicas de arenas estabilizadas con cal y cenizas de hojas de caña de azúcar para fines de cimentación superficial.

1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Identificar y clasificar las muestras de arena según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
- Identificar los componentes químicos de la cal y la ceniza de hojas de caña de azúcar.
- Determinar las propiedades mecánicas de las mezclas arena - cal - cenizas de hojas de caña en distintas dosificaciones.
- Comparar las características de las arenas naturales con las características de las mezclas arena - cal - cenizas de hojas de caña de azúcar.
- Seleccionar las dosificaciones óptimas que aseguren un aumento de las propiedades mecánicas del suelo.
- Comparar el diseño y costo de construcción de una cimentación superficial sobre arena natural y arena mejorada con cal y cenizas de hojas de caña de azúcar.

1.4. HIPÓTESIS

Si se utilizan cal y cenizas de hojas de caña de azúcar se mejorarían las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial.

1.5. JUSTIFICACIÓN

Con la realización de este trabajo de investigación, se pretende dar una alternativa de solución a los problemas que podrían generar los suelos de bajas características portantes, utilizando cenizas provenientes de la quema de hojas de caña de azúcar mezcladas con cal. Se trata de estabilizar un terreno de fundación conformado por un estrato de arena fina a gruesa, propensas a presentar asentamientos diferenciales o que conlleven a diseñar cimentaciones de un mayor costo de construcción debido a la baja capacidad portante que presentan. El uso de cenizas como aditivo para lograr dicha estabilización presenta muchas ventajas tanto por sus propiedades físicas y químicas, como por lo económico y ecológico que resulta su recolección y uso. Al conseguir una dosificación óptima que mejore las propiedades mecánicas de los suelos estudiados, se propondrán diseños de cimentación más económicos que garanticen la seguridad de la edificación y por ende, el bienestar de las personas.

1.6. LIMITACIONES

- La escasa información sobre investigaciones que tratan la estabilización química de suelos con fines de cimentación superficial.
- La falta de recursos, por parte de los investigadores, para la aplicación del estudio en campo.
- La elección reducida de la muestra de investigación, debido a la gran cantidad de tiempo y dinero que cuesta realizar los distintos ensayos de laboratorio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. EL SUELO

2.1.1. DEFINICIÓN

Crespo (2004) define al suelo como “una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres vivos que sobre ella se asientan” (p. 18).

Se puede considerar también al suelo como todo tipo de material terroso, excluyendo las rocas sanas, ígneas o metamórficas y los depósitos sedimentarios altamente cementados que no se ablanden o desintegren rápidamente por acción de la intemperie. Además, el agua, al ser parte fundamental en el comportamiento mecánico del suelo, debe considerarse como parte de él. (Juárez y Rico, 2011)

2.1.2. AGENTES GENERADORES DE SUELOS

El suelo que cubre la tierra es originado por el intemperismo de las rocas. Existen dos tipos de intemperismo:

- **Intemperismo Mecánico**

Consiste en la destrucción o desintegración de las rocas que están en la superficie por acción de agentes meteóricos físicos. Dentro de los agentes se consideran los cambios de temperatura, acción de las heladas y actividad biológica.

- **Intemperismo Químico**

Consiste en la descomposición de los componentes de las rocas y de la estructura interna de sus minerales, formando otros minerales. Los

principales procesos químicos son la oxidación, disolución, carbonatación, hidrólisis, hidratación, y la presencia de ácidos orgánicos. Rivera (2010).

2.1.3. TRANSPORTE DE SUELOS

Una parte del suelo generado (suelos transportados) es transportado mediante procesos físicos a otros lugares a los que se denomina depósitos. Mientras que otra parte del suelo (suelos residuales) permanecen donde se forman.

Los suelos transportados se subdividen en tres categorías:

- **Aluviales o fluviales:** Son depositados por corrientes de agua.
- **Glaciales:** Son depositados por la acción de glaciares.
- **Eólicos:** Son depositados por la acción del viento.

2.1.3.1. SUELOS RESIDUALES

El depósito de un suelo residual depende de su roca madre, cuando esta es una roca dura, el suelo generado por el intemperismo tiende a permanecer en su sitio, cubiertos generalmente por una capa de material arcilloso o arcilla limosa. Ejemplos de estos depósitos son los suelos provenientes del granito y el gneis.

2.1.3.2. DEPÓSITOS ALUVIALES

Corresponden a los depósitos generados por la acción de corrientes de agua y ríos.

Las corrientes interconectadas son, en sus inicios, altamente erosivos por la velocidad y turbulencia de su flujo. Esto genera el arrastre de grandes cantidades de sedimento que luego pasan a ser depositados en lugares donde la velocidad del flujo disminuye.

Los cinturones meándricos son depósitos que se forman en los ríos meándricos, el suelo de las orillas es continuamente erosionado donde es cóncavo y es depositado en los puntos en donde el borde es convexo. Estos depósitos en particular se llaman bancos de arena.

2.1.3.3. DEPÓSITOS GLACIARES

Durante el avance de los glaciares en la era del Pleistoceno arrastraron consigo arena, limo, arcilla, grava y boleos, formando depósitos llamados derrubio y tilita. El primero corresponde a los depósitos dejados atrás por los glaciares, mientras que el segundo corresponde al depósito no estratificado se encuentra debajo de los glaciares al derretirse.

2.1.3.4. DEPÓSITOS EÓLICOS

El principal depósito eólico son las dunas, que son producto del desplazamiento y depósito de partículas de arena por acción del viento. En una duna, el lado expuesto al viento es compactado, mientras que el lado opuesto tiene un estado suelto. El loess es un depósito eólico que consiste en partículas de limo y demás

partículas similar tamaño. Presentan gran cohesión que contribuye a generar una estructura estable de un suelo en un estado no saturado. Braja (2001).

2.1.4. MINERALES CONSTITUTIVOS DE LOS SUELOS

Los minerales son sustancias naturales e inorgánicas que generalmente se encuentran en estado sólido.

La composición química y sus propiedades físicas son fijas o varían dentro de límites definidos. Dentro de las propiedades físicas se identifican: el color, brillo, el lustre, la tonalidad de raspaduras, la forma de cristalización, la dureza, clivaje, fractura, tenacidad y peso específico. Estas propiedades dependen principalmente de la estructura atómico-molecular del mineral.

2.1.4.1. MINERALES CONSTITUTIVOS DE LOS SUELOS GRUESOS

En los suelos conformados por partículas gruesas, los minerales predominantes son:

- **Silicatos:** Feldespato (de potasio, sodio o calcio), Micas, Olivino, Serpentina, etc.
- **Óxidos:** Cuarzo (óxido de silicio), Limonita, Magnetita, Corindón.
- **Carbonatos:** Calcita y Dolomita.
- **Sulfatos:** Anhidrita y Yeso.

El comportamiento mecánico e hidráulico de los suelos gruesos

está condicionado por su compacidad y orientación de partículas, mas no por su composición mineralógica.

2.1.4.2. MINERALES CONSTITUTIVOS DE LAS ARCILLAS

Para las arcillas, la composición mineralógica sí es determinante en su comportamiento mecánico.

El mineral predominante en las arcillas son los silicatos de aluminio hidratados, además de los silicatos de magnesio, hierro u otros metales hidratados.

Los átomos, en la estructura de los minerales, se disponen en láminas, distinguiéndose dos variedades:

a) Lámina Silícica

Está formada por un átomo de silicio rodeado de oxígeno, disponiendo una forma de tetraedro, como se muestra en la figura 2.1.

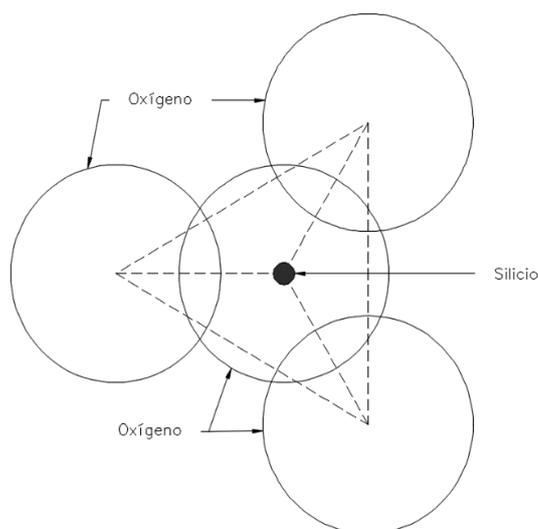


Figura 2.1. Estructura tetraédrica del átomo de silicio. Basado en Juárez y Rico (2011).

Los tetraedros se agrupan en unidades hexagonales, sirviendo un átomo de oxígeno de nexo entre cada tetraedro.

Se puede observar un esquema en la figura 2.2.

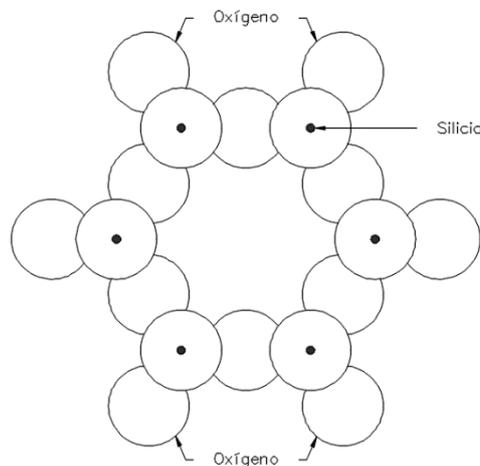


Figura 2.2. Estructura de la lámina silícica. Basado en Juárez y Rico (2011).

b) Lámina Alumínica

Está formada por retículas de octaedros dispuestos con un átomo de aluminio al centro y seis de oxígeno alrededor.

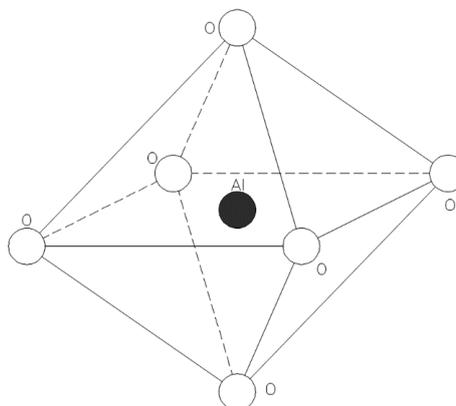


Figura 2. 3. Estructura de la lámina alumínica. Basado en Juárez y Rico (2011).

El oxígeno actúa como nexo entre cada dos octaedros vecinos, para constituir la retícula.

Se pueden distinguir tres grupos de minerales de arcilla:

- **Caolinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$):** Formadas por una lámina silícica y otra alumínica que se superponen indefinidamente. No permite la penetración de las moléculas de agua entre ellas por lo que son relativamente estables en presencia del agua.
- **Montmorilonitas $[(\text{OH})_4\text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{20} \cdot n\text{H}_2\text{O}]$:** Formadas por una lámina alumínica entre dos silícicas que se superponen indefinidamente. Presentan una unión débil por lo que son fácilmente permeables. Con la presencia de agua, presentan tendencia a la inestabilidad, provocando un incremento en el volumen de los cristales (expansión).
- **Illitas $[(\text{OH})_4 \cdot \text{K}_y(\text{Si}_{8-y}\text{Al}_y)(\text{Al}_4 \cdot \text{Fe}_4 \cdot \text{Mg}_4 \cdot \text{Mg}_6)\text{O}_{20} \quad y=1.5]$:** Estructuradas análogamente que las montmorilonitas, pero manifiesta una tendencia a formar grupos de materia, que reducen su área expuesta al agua, logrando tener una expansividad menor que las montmorilonitas, comportándose mecánicamente más favorable para la ingeniería.

2.2. PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE LOS SUELOS

2.2.1. GRANULOMETRÍA

La granulometría de un suelo depende del tamaño y distribución de las partículas que constituyen el suelo. Existen diferentes procedimientos para determinar la composición granulométrica. Para suelos de grano grueso, el procedimiento más usado es el cribado por mallas, mientras que, para suelos de grano fino, se recomienda realizar procedimientos de sedimentación.

2.2.1.1. SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN GRANULOMETRÍA

Juárez y Rico (2011) refieren que el criterio fundamental para el análisis granulométrico es definir los límites de tamaño de las partículas. Es por ello que existen distintas clasificaciones granulométricas, siendo algunas de ellas, las siguientes:

a) Clasificación Internacional

Basada en otra desarrollada en Suecia:

Tamaño en mm				
2.0	0.2	0.02	0.002	0.0002
Arena Gruesa	Arena Fina	Limo	Arcilla	Ultra-Arcilla (coloides)

b) Clasificación M.I.T.

Fue propuesta por G. Gilboy y adoptada por Massachusetts Institute of Technology.

Tamaño en mm

2.0 0.6 0.2 0.06 0.02 0.006 0.002 0.0006 0.0002

Gruesa	Media	Fina	Gruesa	Media	Fina	Gruesa	Media	Fina (coloides)
ARENA			LIMO			ARCILLA		

c) Clasificación de Kopecy

Tabla 2.1. Clasificación de suelos según Kopecy.

MATERIAL	CARACTERÍSTICA	TAMAÑO mm
Piedra	-	Mayor de 70 mm
Grava	Gruesa	30 a 70
	Media	5 a 30
	Fina	2 a 5
Arena	Gruesa	1 a 2
	Media	0.2 a 1
	Fina	0.1 a 0.2
Polvo	Gruesa	0.05 a 0.1
	Fina	0.02 a 0.05
Limo	Gruesa	0.006 a 0.02
	Fina	0.002 a 0.006
Arcilla	Gruesa	0.0006 a 0.002
	Fina	0.0002 a 0.0006
Ultra-Arcilla	-	0.00002 a 0.0002

Nota. Recuperado de "Mecánica de Suelos", de Juárez, E. y Rico, A., 2011, p. 99, Ciudad de México, México: Editorial Limusa.

2.2.1.2. REPRESENTACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

Es preferible emplear una representación gráfica antes que una numérica en tablas. El gráfico de la granulometría de un suelo consiste en una curva donde las ordenadas se refieren al porcentaje en peso de las partículas menores que el tamaño correspondiente (abscisas).

Debido a la amplitud entre los tamaños gruesos a muy finos, se utiliza una escala semilogarítmica.

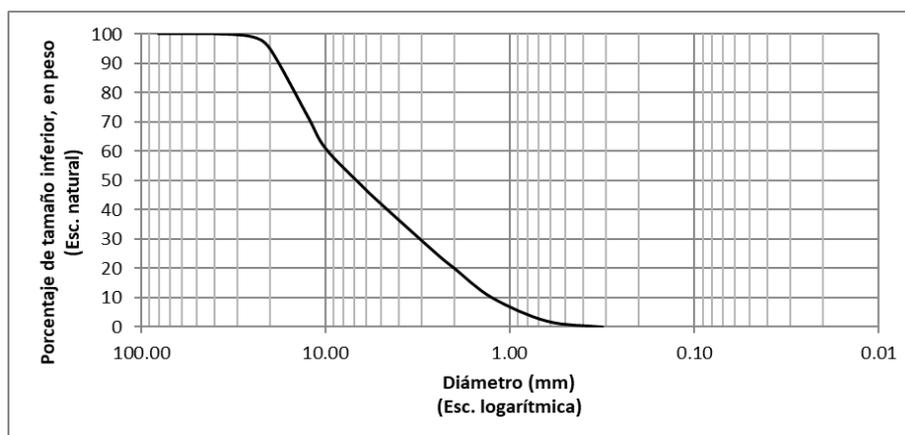


Figura 2. 4. Curva granulométrica de un suelo.

Allen Hazen propuso el coeficiente de uniformidad.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (2.1)$$

Donde:

D_{60} : Tamaño el cual el 60% en peso del suelo sea igual o menor.

D_{10} : Tamaño el cual es igual o mayor que el 10% en peso del suelo.

Los suelos que tienen un $C_u < 3$, se consideran muy uniformes.

El coeficiente de curvatura de un suelo está definido por la siguiente ecuación.

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}} \quad (2.2)$$

Donde la definición de D_{30} es análogo a los D_{10} y D_{60} anteriores.

Para suelos bien graduados, C_c tiene un valor entre 1 y 3.

2.2.1.3. ENSAYO GRANULOMÉTRICO

a) El cribado por mallas

Consiste en hacer pasar la muestra del suelo a través de un juego de tamices de tamaños que varían gradualmente y descendientemente hasta la malla N° 200 (0.074mm).

La muestra debe estar seca y de ser necesario, lavada.

Se pesa el suelo que queda retenido en cada tamiz para posteriormente obtener su porcentaje respecto al total. Se determina entonces el porcentaje acumulado de suelo que pasa a través de cada tamiz, dato que corresponde al eje de las abscisas. Así se obtienen los puntos necesarios para graficar la curva granulométrica.

Tabla 2.2. *Tamices para análisis granulométrico.*

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75.000
2"	50.800
1 ½"	38.100
1"	25.400
¾"	19.000
⅜"	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

Nota. Recuperado de "Manual de Ensayos de Materiales".

Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016, p. 44.

b) El método del hidrómetro

Consiste en la aplicación del principio de la sedimentación de partículas de suelo en el agua. Son necesarios 50 gramos de suelo seco pulverizado. Se usa un agente defloculante, siendo el más usado una solución de 125cc al 4% de exametafosfato de sodio. Luego de haber saturado el suelo por lo menos 16 horas, se agrega agua destilada y la mezcla se agita para luego ser transferida a una probeta de 1000 ml. Se agrega más agua destilada hasta que la superficie llegue

a la marca de 1000 ml y luego la mezcla se agita por última vez.

Se coloca un hidrómetro dentro de la probeta, durante un periodo de 24 horas, para medir la densidad de sólidos de la suspensión suelo-agua en la vecindad de su bulbo.

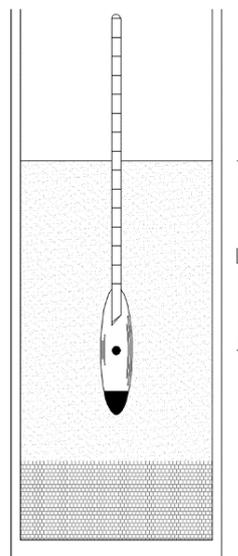


Figura 2.5. Análisis granulométrico con el hidrómetro. Adaptado de Braja (2001).

Mediante la ley de Stokes, se determina la cantidad de suelo en suspensión y el diámetro máximo de las partículas que se encuentran en suspensión para un tiempo dado, t . (Braja, 2001).

$$D = \sqrt{\frac{18\eta}{(G_s - 1)\gamma_w}} \sqrt{\frac{L}{t}} \quad (2.3)$$

Donde

D = diámetro de la partícula de suelo

G_s = peso específico de los sólidos del suelo

η = viscosidad del agua

γ_w = peso específico del agua

L= longitud efectiva

t= tiempo

Con los datos obtenidos se calcula y se prepara una gráfica de distribución granulométrica.

Se puede emplear un método mixto, que contempla el uso de tamices, para las partículas gruesas de suelo, y el uso de un hidrómetro, para las partículas más finas.

2.2.2. RELACIONES VOLUMÉTRICAS

2.2.2.1. FASES DEL SUELO

Se considera que el suelo está compuesto por tres fases: fase sólida, fase líquida y fase gaseosa. Estas, de manera didáctica, pueden separarse para desarrollar las relaciones peso-volumen, tal como se muestra en la figura 2.6.

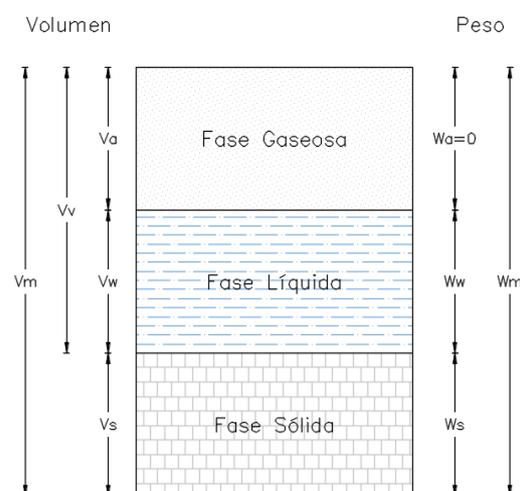


Figura 2.6. Fases del Suelo.

Donde

V_m = Volumen total de la muestra de suelo.

V_s = Volumen de la fase sólida de la muestra.

V_v = Volumen de vacíos de la muestra.

V_w = Volumen de la fase líquida de la muestra.

V_a = Volumen de la fase gaseosa.

W_m = Peso total de la muestra de suelo.

W_s = Peso de la fase sólida de la muestra.

W_w = Peso de la fase líquida de la muestra.

W_a = Peso de la fase gaseosa de la muestra.

2.2.2.2. RELACIONES FUNDAMENTALES

La relación de vacíos o índice de poros (e), es la relación que existe entre el volumen de vacíos y el volumen de sólidos de un suelo.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (2.4)$$

La porosidad (n), es la relación que existe entre el volumen de vacíos y el volumen total del suelo.

$$n = \frac{V_v}{V_m} \quad (2.5)$$

De las dos ecuaciones anteriores, se puede obtener:

$$n = \frac{V_v}{V_m} = \frac{V_v}{V_s + V_v} = \frac{\frac{V_v}{V_s}}{\frac{V_s}{V_s} + \frac{V_v}{V_s}} = \frac{e}{1 + e} \quad (2.6)$$

El grado de saturación (S), es la relación que existe entre el

volumen de agua y el volumen de vacíos del suelo.

$$S(\%) = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \quad (2.7)$$

El contenido de humedad (w), es la relación que existe entre el peso del agua y el peso de los sólidos del suelo.

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (2.8)$$

El peso específico húmedo (γ), es la relación que existe entre el peso total y el volumen total del suelo.

$$\gamma = \frac{W_m}{V_m} \quad (2.9)$$

El peso específico seco (γ_d), es la relación que existe entre el peso de los sólidos y el volumen total del suelo.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_m} \quad (2.10)$$

2.2.3. DENSIDAD MÁXIMA, MÍNIMA Y RELATIVA

La densidad máxima se refiere al estado donde el suelo presenta la mínima relación de vacíos. Esto ocurre cuando se aplica una energía de compactación al suelo. Uno de los métodos es el de apisonar la muestra de suelo en un recipiente de volumen conocido, por capas y haciendo uso de una varilla lisa. Se apisona uniformemente por toda la superficie de la capa evitando que la varilla penetre las capas anteriores ya compactadas. Una vez terminada la compactación, se enrasa el material y se procede a pesarlo.

$$\gamma_{max} = \frac{W_{max}}{V_T} \quad (2.11)$$

Donde

γ_{max} = Densidad máxima.

W_{max} = Peso del suelo compactado.

V_T = Volumen total del recipiente.

La densidad mínima se refiere al estado más suelto posible, donde el suelo presenta la máxima relación de vacíos. Uno de los métodos es el de llenar un recipiente de volumen conocido depositando la muestra de suelo mediante una cuchara, sin descargarlo de una altura mayor a 50mm por encima del borde del recipiente. Una vez terminado el proceso, se enrasa el material y se procede a pesarlo.

$$\gamma_{min} = \frac{W_{min}}{V_T} \quad (2.12)$$

Donde

γ_{min} = Densidad mínima.

W_{min} = Peso del suelo suelto.

V_T = Volumen total del recipiente.

Crespo (2004) afirma: “la compacidad relativa indica el grado de compacidad de un suelo granular en su estado natural, determinado mediante la relación del máximo incremento posible de su relación de vacíos a la amplitud total de variación de dicha relación.” (p. 65)

$$C_r = \frac{e_{m\acute{a}x} - e_{nat}}{e_{m\acute{a}x} - e_{min}} \quad (2.13)$$

Donde

C_r = Compacidad Relativa.

$e_{m\acute{a}x}$ = Relación de vacíos máximo.

e_{nat} = Relación de vacíos natural.

e_{min} = Relación de vacíos mínimo.

La compacidad relativa se puede expresar en términos de densidad máxima y mínima:

$$C_r = \frac{\gamma_{nat} - \gamma_{min}}{\gamma_{m\acute{a}x} - \gamma_{min}} \cdot \frac{\gamma_{m\acute{a}x}}{\gamma_{nat}} \quad (2.14)$$

Donde

γ_{nat} = Densidad natural.

γ_{min} = Densidad mínima.

$\gamma_{m\acute{a}x}$ = Densidad máxima.

Tabla 2.3. *Relación Compacidad Relativa – Estado de Material.*

CR (%)	ESTADO DE MATERIAL
0-15	MUY FLOJO
16-35	FLOJO
36-65	MEDIO
66-85	DENSO
86-100	MUY DENSO

Nota. Basado en “Mecánica de Suelos y Cimentaciones”. Crespo,C., 2004, p.

66.

2.2.4. PLASTICIDAD

Según Juárez y Rico (2011), “puede definirse la plasticidad como la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse.” (p. 127)

Uno de los criterios más representativos para determinar la plasticidad de los suelos, es el considerado por Atterberg. Quien propuso que pueden existir los siguientes límites de consistencia:

- **Límite Líquido (L.L.):** Es el límite entre el estado semilíquido (fluido viscoso) y plástico. Se determina con el ensayo de la copa de Casagrande.
- **Límite Plástico (L.P.):** Es el límite entre el estado plástico y semisólido (apariencia sólida). Se define también como la humedad más baja con la que puedan formarse barras circulares de suelo de 3.2mm de diámetro sin desmoronarse al roce entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado).
- **Límite de Contracción (L.C.):** Es el contenido de agua con el que el suelo no sufre cambios de volumen con la pérdida de agua.

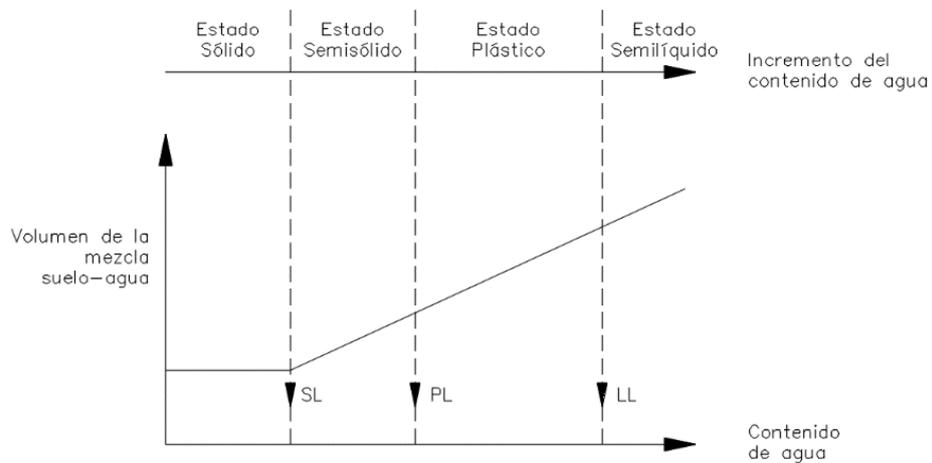


Figura 2.7. Límites de Atterberg. Adaptado de Braja (2001).

La diferencia entre el límite líquido (L.L.) y el límite plástico (L.P) se denomina Índice Plástico (L.P.) del suelo.

$$IP = LL - PL \quad (2.15)$$

Cuando no se puede determinar el límite plástico de un suelo, este se considera no plástico (N.P.) y el índice plástico es igual a cero.

El índice de plasticidad indica el rango de humedad en el que los suelos con cohesión poseen propiedades de un material plástico. Cuando un suelo tiene un índice plástico nulo, el suelo es no plástico; cuando el índice plástico es menor a 7, el suelo tiene baja plasticidad; cuando el índice plástico es de 7 a 17, el suelo es medianamente plástico; y cuando el índice plástico es mayor a 17, el suelo es altamente plástico. Crespo (2004)

2.2.4.1. LÍMITE LÍQUIDO

Para determinar el límite líquido de los suelos, se sigue la técnica basada en el uso de la Copa de Casagrande, que es una copa de bronce a la cual se le hace caer repetidas veces desde una altura de 1 cm.

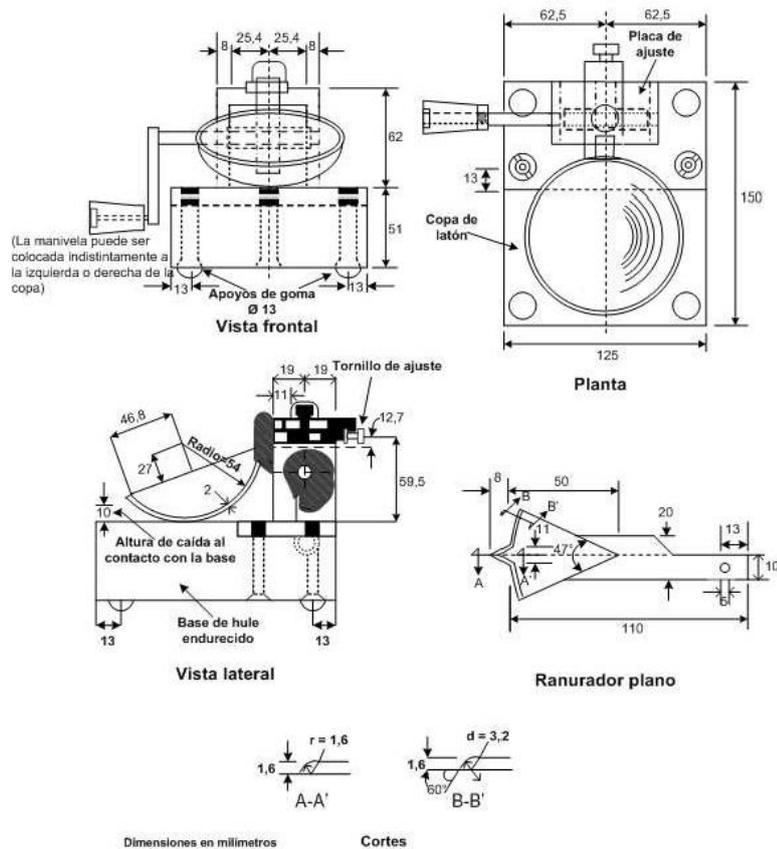


Figura 2.8. Copa Casagrande. Manual de Ensayos de Materiales. MTC, 2016, p. 69.



Figura 2.9. Muestras de suelo antes y después de la prueba. Manual de Ensayos de Materiales. MTC, 2016, p. 69.

Se utiliza para el ensayo 150 g a 200g de una muestra representativa del material pasante del tamiz N°40. Esta se esparce sobre la copa hasta una profundidad de aproximadamente 10mm en su punto más bajo.

Con el acanalador, se divide la muestra de la copa por la mitad, generando una hendidura de 2mm de ancho en la base de la copa.

Se procede luego a levantar y soltar la copa girando el manubrio con una velocidad promedio de 2 golpes por segundo hasta que las dos mitades de suelo se unan en una longitud de 13mm (1/2"). Registrar el número de golpes (N) realizados, tomar una tajada perpendicular al corte realizado del suelo y obtener su contenido de humedad.

Se repite el proceso añadiéndole agua destilada a la muestra para aumentar el contenido de humedad y disminuir el número de golpes (N). El ensayo concluye cuando se han obtenido tres distintos números de golpes: de 25 a 35 golpes, 20 a 30 golpes, y 15 a 25 golpes.

Para el cálculo del límite líquido, con los datos obtenidos, se grafican los puntos sobre el plano generado por la abscisa (número de golpes) y la ordenada (contenido de humedad), para luego trazar la mejor línea recta que pase por ellos. Por último, el límite líquido es la humedad correspondiente a la intersección de la línea con la abscisa de 25 golpes.

2.2.4.2. LÍMITE PLÁSTICO

Para determinar el límite plástico del suelo, se toman 20 g del suelo que pase por el tamiz N°40, se amasa con agua destilada hasta que pueda formarse una esfera. La muestra consistirá en una porción de 1.5 g a 2.0 g de la esfera. Se procede a formar elipsoides con la mitad de la muestra para después formar barras cilíndricas de 3.2mm de diámetro haciéndolas rodar con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, generalmente vidrio esmerilado, hasta que se agriete o desmorone.

Una vez llegado a este estado, se determina la humedad del suelo y se repite el procedimiento con la otra mitad de la muestra. El límite plástico es el promedio de los dos contenidos de humedad obtenidos. Si la diferencia entre estos es mayor que el rango aceptable, se repite el ensayo.

Tabla 2.4. *Tabla de estimados de precisión.*

Índice de precisión y tipo de ensayo	Desviación Estándar	Rango Aceptable de dos resultados
Precisión de un operador		
Límite Plástico	0.9	2.6
Precisión Multilaboratorio		
Límite Plástico	3.7	10.6

Nota. Basado en "Manual de Ensayos de Materiales". Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016, p. 73.

2.2.5. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

2.2.5.1. SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S)

El doctor Arthur Casagrande presentó el sistema S.U.C.S. como una modificación y adaptación más general de su sistema de clasificación para aeropuertos, propuesto en 1942.

En la tabla 2.5. se muestra la clasificación del sistema unificado de suelos, donde los suelos gruesos y finos quedan separados mediante el cribado del material por la malla N°200. Un suelo se considera grueso si más del 50% del material, en peso, queda retenido en la malla N°200, y se considera fino si más del 50% del material pasa la malla N°200.

En la tabla 2.6. se muestran los símbolos de los grupos de suelos. Los prefijos corresponden a las iniciales de los seis principales tipos de suelos: grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grado fino y turba), mientras que los sufijos corresponden a las subdivisiones de dichos grupos. Crespo (2004).

SUELOS GRUESOS

Dentro de los suelos gruesos, se encuentran las gravas y arenas. Estas se separan con la malla N°4. Si más del 50% de la fracción gruesa (material retenido por la malla N°200) queda retenido por la malla N°4, se trata de una grava, perteneciente al grupo G; por el contrario, si menos del 50% de la fracción gruesa queda retenido por la malla N°4, se trata de una arena, perteneciente al grupo S.

Existen subdivisiones en el grupo de suelos gruesos:

Grupo GW y SW

Pertencen los suelos bien graduados y con poca o nula existencia de finos. El contenido de partículas finas debe ser menor o igual al 5% del suelo en peso. Así mismo, para las gravas, el coeficiente de uniformidad debe ser mayor a 4 y el coeficiente de curvatura debe ser entre 1 y 3; mientras que, para las arenas, el coeficiente de uniformidad debe ser mayor a 6, y el coeficiente de curvatura entre el mismo rango de las gravas.

Grupo GP y SP

Pertencen los suelos mal graduados. Las condiciones del contenido de partículas finas es la misma que el grupo GW y SW. En cuanto a su gradación, esto es, coeficiente de uniformidad y curvatura, no satisfacen con los parámetros anteriormente descritos en los suelos bien graduados.

Grupo GM y SM

Pertencen los suelos con presencia de finos mayor al 12% en peso. Son las características de las partículas finas los que definen la subdivisión. En este caso, su plasticidad varía entre nula y media. Los límites de plasticidad de la fracción que pasa la malla N°40 deben estar localizados debajo de la Línea A o el índice de plasticidad debe ser menor a 4.

Grupo GC y SC

Pertencen los suelos con presencia de finos mayor al 12% en peso. La plasticidad de los finos es de media a alta. Y los límites

de plasticidad de la fracción que pasa la malla N°40 deben estar localizados por encima de la Línea A, además de que el índice plástico sea mayor a 7.

Existen suelos que, por no corresponder a un grupo en específico, el Sistema de Clasificación SUCS los considera como casos frontera. Por ejemplo, los suelos gravosos mal graduados que presentan un contenido de finos comprendido entre el 5% y 12% pertenecerían al grupo GP-GC. Juárez y Rico (2011).

SUELOS FINOS

Dentro de los suelos finos existen las siguientes divisiones: limos inorgánicos (L), arcillas inorgánicas (C) y limos y arcillas orgánicas (O). Cada uno de estos se subdividen, según su límite líquido, en dos grupos: baja compresibilidad (L) y alta compresibilidad (H).

Grupos CL y CH

Comprenden los suelos arcillosos inorgánicos. El grupo CL está localizado en la zona sobre la línea A, el límite líquido del suelo debe ser menor al 50% y tener un índice de plasticidad mayor a 7. El grupo CH corresponde también a la zona sobre la línea A, pero el límite líquido del suelo es mayor al 50%.

Grupos ML y MH

Comprenden los suelos limosos inorgánicos. El grupo ML está localizado en la zona sobre la línea A, con un índice plástico menor a 4. El grupo MH corresponde a la zona debajo de la línea

A, con un límite líquido mayor a 50%.

Los suelos finos que se localizan por encima de la línea A, y que presentan un índice plástico entre 4 y 7, se consideran como casos de frontera y se denominan CL-ML.

Grupos OL y OH

Presentan materia orgánica coloidal, lo que provoca que aumente su límite líquido y se ubique, en la carta de plasticidad, en una zona alejada a la derecha de la línea A.

Grupos Pt

Corresponde a suelos altamente orgánicos, con un límite líquido entre 300% y 500% y un índice plástico entre 100% y 200%. Se ubican por debajo de la línea A. Juárez y Rico (2011).

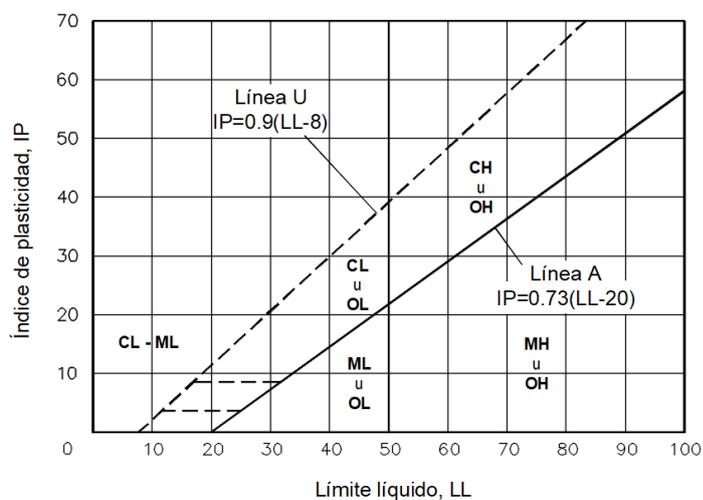


Figura 2.10. Carta de Plasticidad. Adaptado de Crespo (2004).

Tabla 2.5. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S).

DIVISIÓN MAYOR				SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS		
SUELO DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla N° 4	(PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE CM COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA N° 4)	GRAVAS LIMPIAS (Poco o nada de partículas finas)	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos.		
				GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos.		
			GRAVA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	* GM	d	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo.	
					u		
				OC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.		
			ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla N° 4			ARENA LIMPIA (Poco o nada de partículas finas)	SW
		SP				Arenas mal graduadas, arenas con gravas, con poco a nada de finos.	
	ARENA CON FINOS (Poco o nada de partículas finas)	* SM				d	Arenas limosas, mezclas de arenas y limo.
						u	
		SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.				
SUELO DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200	Las partículas de 0.074 mm de diámetro en la malla N° 200 mm aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido Menor de 50		ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.		
				CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.		
				OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.		
		LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido Mayor de 50		MH	Limos inorgánicos, limos elásticos.		
				CH	Arcillas inorgánicas, de alta elasticidad, arcillas francas.		
				OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.		
		SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		Pt	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.		

*La división de los grupos GM y SM en subdivisiones d. y u. son para caminos y aeropuertos únicamente, la subdivisión está basada en los límites de Atterberg. El sufijo d se usa cuando el L.L. es de 28 o menos y el L.P. es de 6 o menos. El sufijo u es usado cuando el L.L. es mayor que 28.

Nota. Adaptado de "Mecánica de Suelos y Cimentaciones". Crespo, C.,

2004, p. 89.

2.2.5.2. CLASIFICACIÓN DE AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO)

Este Sistema fue propuesto por el Highway Research Board's Committee en 1945. Consiste en ocho grupos principales, desde el A-1 al A-8, divididos en base a su granulometría y plasticidad (límite líquido e índice plástico). Los suelos gruesos están comprendidos dentro de los grupos A-1, A-2 y A-3, mientras que los suelos finos están dentro de los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. La turba, el lodo y otros suelos orgánicos pertenecen al grupo A-8.

En la tabla 2.6. se puede apreciar las características que diferencias a los grupos de suelos. El grupo A-7, tiene dos subgrupos: A-7-5 y A-7-6. Estos se diferencian en que para el grupo A-7-5, el índice de plasticidad es menor o igual al límite líquido, menos 30. Y para el grupo A-7-6, el índice de plasticidad es mayor al límite líquido menos 30.

El índice de grupo se desarrolló para poseer una evaluación cualitativa de la conveniencia de un suelo como material de subrasante de un camino. Mientras mayor sea el índice de grupo de un suelo, menor será su uso como subrasante. Un índice de grupo de 20 a más indica un material muy pobre para ser usado. (Braja, 2001).

La fórmula del índice de grupo es la siguiente:

$$GI = (A)[0.2 + 0.005(B)] + 0.01(C)(D) \quad (2.16)$$

Donde:

A = F_{200-35}

B = LL-40

C = F_{200-15}

D = PI-10

F_{200} = Porcentaje de suelo que pasa la malla N°200.

LL = Límite líquido.

PI = Índice de plasticidad

Tabla 2.6. Sistema AASHTO de clasificación de suelos.

Clasificación general		Materiales Granulares (35% o menos de la muestra total pasan por la malla no.200)					
Clasificación del grupo	A-1			A-2			
	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-12-6	A-2-7
Análisis por cribas (%)							
Malla no.10	50 máx						
Malla no. 40	30 máx	50 máx	51 mín				
Malla no. 200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx
Para la fracción que pasa la malla no. 40							
Límite líquido (LL)				40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de plasticidad (IP)	6 máx		No plástico	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Tipo usual de material	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa			
Calificación de la capa	Excelente a buena						
Clasificación general		Materiales de lodo y arcilla (Más del 35% de la muestra total pasan por la malla no.200)					
Clasificación del grupo	A-4	A-5	A-6	A-7			
				A-7-5 ^a	A-7-6 ^b		
Análisis por cribas (%)							
Malla no.10							
Malla no. 40							
Malla no. 200	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín			
Para la fracción que pasa la malla no. 40							
Límite líquido (LL)	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín			
Índice de plasticidad (IP)	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín			
Tipo usual de material	Principalmente suelos limosos			Principalmente suelos arcillosos			
Calificación de la capa	Regular a pobre						

^a Si IP ≤ LL-30, es un A-7-5

^b Si IP > LL-30, es un A-7-6

Nota. Basado en "Principio de ingeniería de cimentaciones". Braja, D,

2001, p. 18

2.2.6. COMPACTACIÓN

En el año 1933, R.R. Proctor encontró que aplicando al suelo determinada energía de compactación, su peso volumétrico varía respecto a la humedad que posee, siguiendo una curva la cual tiene un punto máximo que representa el peso volumétrico máximo de dicho suelo con la energía de compactación utilizada. Crespo (2004).

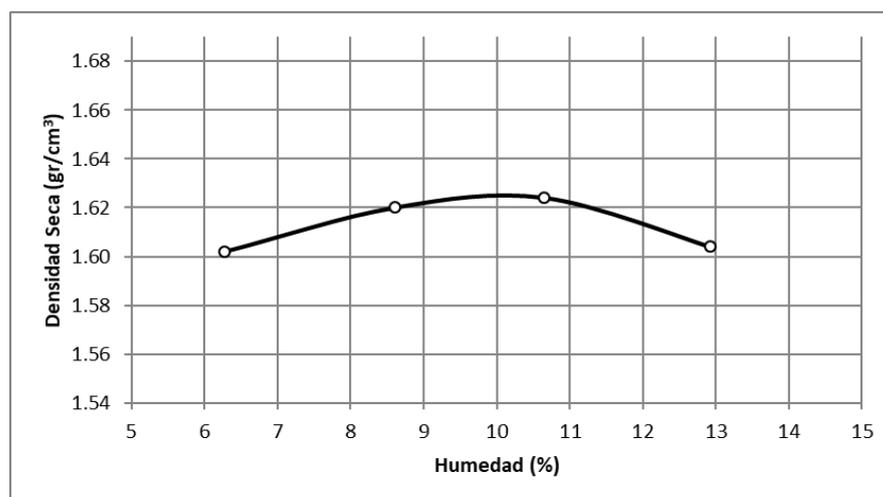


Figura 2.11. Curva densidad seca - humedad.

La curva se representa en un plano bidimensional, donde las abscisas corresponden al porcentaje de humedad y las ordenadas a la densidad seca. El valor máximo de dicha curva relaciona el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca del suelo.

La energía que se emplea puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$E = \frac{W \cdot H \cdot N}{V} \quad (2.17)$$

Donde:

E = Energía específica de compactación (kg-cm/cm³).

W = Peso del pisón (Kg).

H = Altura de caída del pisón (cm).

N = Número total de golpes.

V = Volumen total del suelo compactado.

En general, al aumentar la energía usada en la compactación para un mismo suelo, la máxima densidad seca aumenta y la humedad óptima disminuye. Es por eso que la energía específica de compactación varía dependiendo del tipo de suelo. Las pruebas de compactación más conocidas son las realizadas con una Energía Estándar (Proctor Estándar) y con una Energía Modificada (Proctor Modificado).

2.2.6.1. PROCTOR ESTÁNDAR

Para el ensayo se emplea una Energía Estándar de $600 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$ ($12\,400 \text{ pie}\cdot\text{lb}/\text{pie}^3$).

Se proporcionan tres métodos alternativos, cada uno con sus respectivas especificaciones y siendo la granulometría el principal punto diferenciador entre ellas.

Método A:

Este método se emplea cuando el 20% o menos del peso del material es retenido en el tamiz N°4 (4.75mm).

- Molde de 4" de diámetro.
- Material que pasa por el tamiz N°4.
- Compactación de 3 capas y 25 golpes por cada una.
- Se usan 2.3 kg (5 lbm) de material por espécimen.

Método B:

Este método se emplea cuando el 20% o más del peso del material es retenido en el tamiz N°4 (4.75mm) y el 20% o menos del material es retenido en el tamiz 3/8" (9.5mm).

- Molde de 4" de diámetro.
- Material que pasa por el tamiz 3/8".
- Compactación de 3 capas y 25 golpes por cada una.
- Se usan 2.3 kg (5 lbm) de material por espécimen.

Método C:

Este método se emplea cuando el 20% o más del peso del material es retenido en el tamiz 3/8" (9.5mm) y el 30% o menos del material es retenido en el tamiz 3/4" (19.0mm).

- Molde de 6" de diámetro.
- Material que pasa por el tamiz 3/4".
- Compactación de 3 capas y 56 golpes por cada una.
- Se usan 5.9 kg (13 lbm) de material por espécimen.

Una vez seleccionado el método a seguir, se toma la muestra correspondiente y se determina su contenido de humedad.

Se preparan mínimamente cuatro especímenes con distintas humedades, de tal modo que éstos contengan un contenido de agua lo más próximo al óptimo. Es recomendable que por lo menos dos especímenes tengan una humedad por debajo de la óptima; y otros dos, por encima. La variación de humedad entre

especímenes debe ser aproximadamente del 2% y no deberán exceder del 4%.

Cada espécimen se compacta en capas y con golpes según lo que señala el método elegido. Luego de terminada la compactación, se procede a determinar el peso volumétrico seco de la muestra y su contenido de humedad.

Teniendo los cuatro pesos volumétricos y sus respectivas humedades, se dibuja la curva densidad-humedad, donde se ubica el Óptimo Contenido de Humedad y la Máxima Densidad Seca.

Para el cálculo de la densidad húmeda se usa la siguiente ecuación:

$$\rho_m = 1000 \times \frac{(M_t - M_{md})}{V} \quad (2.18)$$

Donde

ρ_m = Densidad húmeda del espécimen compactado
(M/m³)

M_t = Masa del espécimen húmedo y molde (kg)

M_{md} = Masa del molde de compactación (kg)

V = Volumen del molde de compactación (m³)

Para el cálculo de la densidad seca se emplea la ecuación:

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{w}{100}} \quad (2.19)$$

Donde

ρ_d = Densidad seca del espécimen compactado (M/m^3)

w = Contenido de humedad (%)

2.2.6.2. PROCTOR MODIFICADO

Para el ensayo se emplea una Energía Modificada de 2 700 kN-
 m/m^3 (56 000 pie-lbf/pie³).

Se proporcionan tres métodos alternativos, cada uno con sus respectivas especificaciones y siendo la granulometría el principal punto diferenciador entre ellas.

Método A:

Este método se emplea cuando el 20% o menos del peso del material es retenido en el tamiz N°4 (4.75mm).

- Molde de 4" de diámetro.
- Material que pasa por el tamiz N°4.
- Compactación de 5 capas y 25 golpes por cada una.
- Se usan 2.3 kg (5 lbm) de material por espécimen.

Método B:

Este método se emplea cuando el 20% o más del peso del material es retenido en el tamiz N°4 (4.75mm) y el 20% o menos del material es retenido en el tamiz 3/8" (9.5mm).

- Molde de 4" de diámetro.
- Material que pasa por el tamiz 3/8".

- Compactación de 5 capas y 25 golpes por cada una.
- Se usan 2.3 kg (5 lbm) de material por espécimen.

Método C:

Este método se emplea cuando el 20% o más del peso del material es retenido en el tamiz 3/8" (9.5mm) y el 30% o menos del material es retenido en el tamiz 3/4" (19.0mm).

- Molde de 6" de diámetro.
- Material que pasa por el tamiz 3/4".
- Compactación de 5 capas y 56 golpes por cada una.
- Se usan 5.9 kg (13 lbm) de material por espécimen.

El procedimiento de compactación y obtención de resultados es el mismo que corresponde al ensayo de Proctor Estándar.

2.2.7. RESISTENCIA AL CORTE

Cuando se somete al suelo a presiones producidas por elementos estructurales o cualquier otra obra de ingeniería, se generan esfuerzos en el interior que tratarán de equilibrar el sistema. Cuando la carga aplicada supera estos esfuerzos, se producen fallas o deslizamientos que, dependiendo del tipo de suelo se manifestarán de distintas formas.

2.2.7.1. FUERZAS INTERNAS EN LAS PARTÍCULAS DE SUELO

En las partículas de suelo, se generan tres tipos de fuerzas internas:

Esfuerzos normales (σ): Pueden ser de compresión o tracción y actúan de forma normal al plano de consideración.

Esfuerzos tangenciales (τ): Son tensiones de corte y actúan en forma paralela al plano de consideración.

Tensiones neutras (u): Son fuerzas que se producen por el aumento o disminución de la presión en el agua de los poros del suelo. Actúa en todas direcciones.

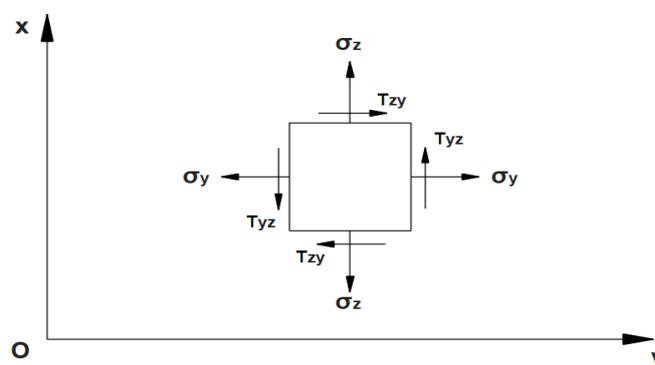


Figura 2.12. Fuerzas internas en las partículas de suelo.

Considerando un modelo simple, en este caso la figura 2.13. presenta un bloque apoyado sobre una superficie plana. Las fuerzas que actúan sobre él, son la fuerza normal N , que actúa perpendicularmente a la superficie plana y la fuerza de corte F .

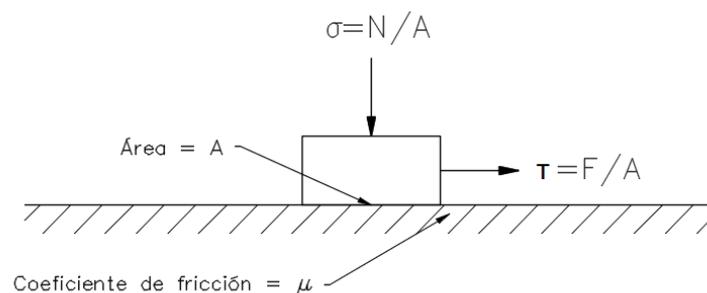


Figura 2.13. Bloque deslizante en un plano.

Si la fuerza F aumenta gradualmente, el bloque se moverá justo en el momento cuando F supera la fuerza de fricción al deslizamiento del bloque, esto es:

$$F = N \times \mu \quad (2.20)$$

Donde μ es el coeficiente de fricción entre el bloque y el plano. Dividiendo a la ecuación 2.20 por la superficie de contacto A . se obtiene:

$$\frac{F}{A} = \frac{N \times \mu}{A} \quad (2.21)$$

Que equivale a:

$$\tau = \sigma \times \mu \quad (2.22)$$

Donde:

τ = Esfuerzo cortante en el plano de deslizamiento.

σ = Esfuerzo normal en el plano de deslizamiento.

Si " ϕ " se considera como la oblicuidad del esfuerzo resultante en el plano de deslizamiento (plano de falla), la ecuación 2.22 puede escribirse como,

$$\tau = \sigma \times \tan \phi \quad (2.23)$$

Esta ecuación indica que el esfuerzo cortante es proporcional al esfuerzo normal aplicado y que se puede graficar la relación entre ellos como una línea recta con inclinación ϕ .

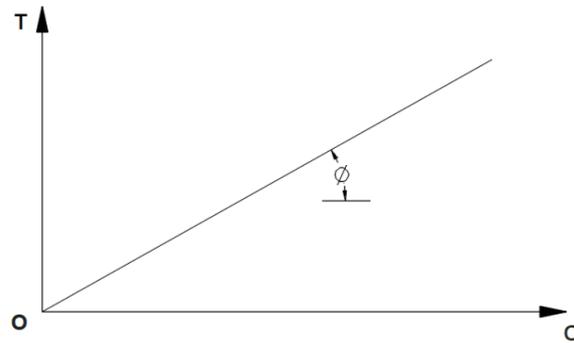


Figura 2.14. Relación entre esfuerzo cortante y normal en arenas lavadas y secas.

El ángulo ϕ , se denomina como “ángulo de fricción interna” del suelo y se define como una constante del material. Este depende la uniformidad de las partículas del suelo, su tamaño y forma, además de la presión normal.

De la ecuación 2.23 se deduce que la resistencia al corte de los suelos que la obedezcan debe ser nula para $\sigma=0$, por ejemplo, en las arenas secas y sueltas.

Para las arcillas, Coulomb descubrió que exhiben resistencia al esfuerzo cortante aún en condiciones en que el esfuerzo normal exterior es nulo. A este tipo de materiales, Coulomb le asignó otra propiedad que influye en la resistencia al corte a la que denominó “cohesión”. Este se define como la adherencia entre las partículas del suelo debido a las fuerzas de atracción moleculares.

Incluso en arcillas francas, la resistencia parecía ser independiente de cualquier presión normal exterior, y por lo tanto solo presentaban cohesión.

Estos suelos obedecían la siguiente ecuación:

$$\tau = c \quad (2.24)$$

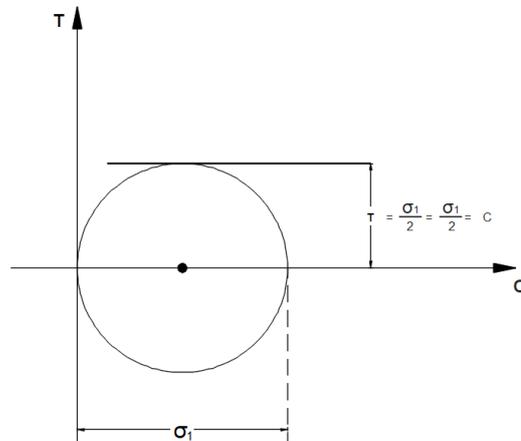


Figura 2. 15. Relación entre esfuerzo cortante y normal en arcillas blandas.

En términos generales, se puede concluir que la resistencia al corte de los suelos viene dada por dos propiedades: el ángulo de fricción y la cohesión. Es así que nace la ley de Coulomb:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (2.25)$$

Siendo las ecuaciones anteriores (2.23 y 2.24) casos particulares de la ley. La ecuación 2.23 corresponde a suelos “puramente friccionantes”, y la ecuación 2.24 corresponde a suelos “puramente cohesivos”.

Más adelante, en 1925, Terzaghi modificó la ley añadiéndole la influencia de la presión del agua a nivel intergranular quedando la siguiente expresión:

$$\tau = c + (\sigma - \mu_n) \tan \phi \quad (2.26)$$

Donde μ_n representa la presión neutral en el agua.

Luego, Hvorslev hizo notar que la cohesión para las arcillas saturadas no era una constante, si no que eran una función del contenido de agua en ellas, quedando finalmente la ecuación 2.27. (Juárez y Rico, 2011)

$$\tau = f(w) + (\sigma - \mu_n) \tan \phi \quad (2.27)$$

2.2.7.2. ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Uno de los ensayos para determinar la resistencia al corte y, por ende, la cohesión y ángulo de fricción interna de un suelo es el ensayo de corte directo, ideado por Arthur Casagrande.

Consta de un aparato conformado de dos marcos, uno es fijo y otro es móvil, en donde se aloja la muestra de suelo. Para muestras saturadas, el suelo es encasillado por piedras porosas en la parte superior e inferior, mientras que, para muestras secas, el suelo es confinado por placas.

Una fuerza rasante es aplicada a la parte móvil provocando la falla a la muestra sobre un plano bien definido. A su vez, sobre la cara superior del conjunto se aplican cargas que proporcionan una presión normal en el plano de falla, σ , que se gradúa a criterio del que ejecuta el ensayo.

La deformación de la muestra, tanto en sentido horizontal como vertical, es medida con extensómetros. (Juárez y Rico, 2011)

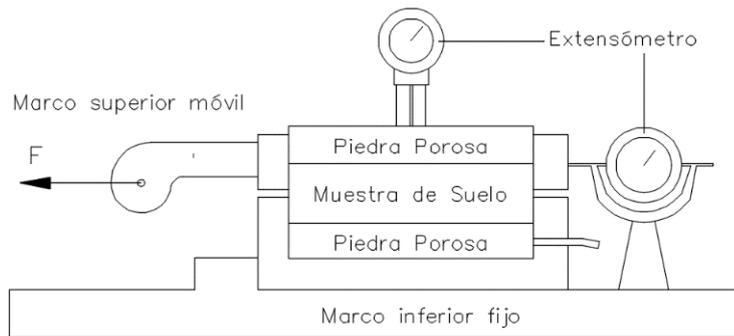


Figura 2.16. Esquema del aparato de resistencia al esfuerzo cortante directo. Adaptado de Juárez y Rico (2011).

La muestra a ensayar puede ser inalterada como moldeada en laboratorio según la humedad y compactación necesaria. El diámetro mínimo de las muestras circulares o el ancho mínimo para muestras rectangulares debe ser alrededor de 50mm (2"). Y el espesor mínimo, 12mm (1/2"), pero no menor de un sexto del tamaño máximo de las partículas del suelo.

Una vez colocada la muestra en la caja de corte, se conecta el dispositivo de carga y se ajusta el dial para medir tanto la deformación durante el corte, como el cambio del espesor de la muestra.

Tras el incremento gradual de la fuerza, se miden las deformaciones horizontales relativas que se generan entre el marco superior e inferior. Así se obtienen pares de valores de fuerza y deformación. Se puede expresar la fuerza como un esfuerzo de corte, mediante la siguiente relación:

$$\tau = \frac{F}{A} \text{ (KPa)} \quad (2.28)$$

Es así que producto de las mediciones se puede graficar una

curva deformación vs esfuerzo de corte para un determinado esfuerzo normal. Se registra el punto máximo de dicha curva, compuesta de un par de valores (σ_{n1} , τ_{r1}) que definirán puntos de la curva de resistencia intrínseca (C.R.I) del material ensayado.

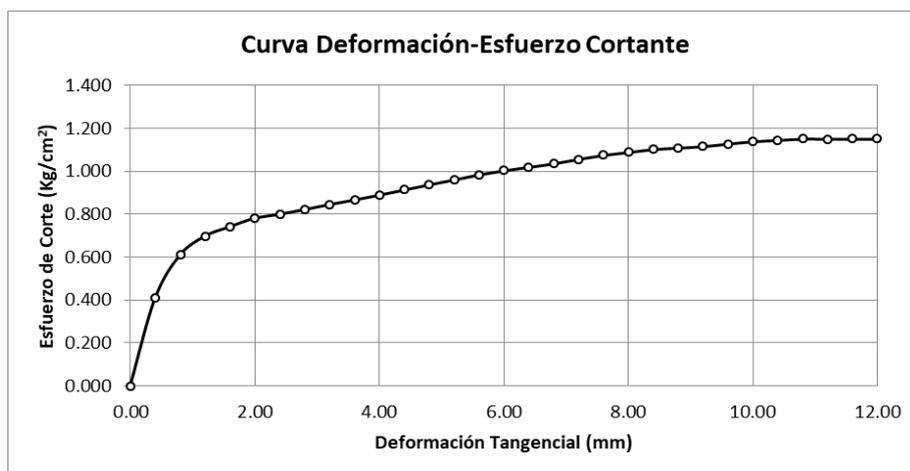


Figura 2.17. Curva deformación vs esfuerzo de corte para un esfuerzo normal.

Se realiza el mismo procedimiento variando la fuerza normal y se procede a graficar la curva C.R.I con los dos otros pares de valores (σ_{n2} , τ_{r2}) y (σ_{n3} , τ_{r3}).

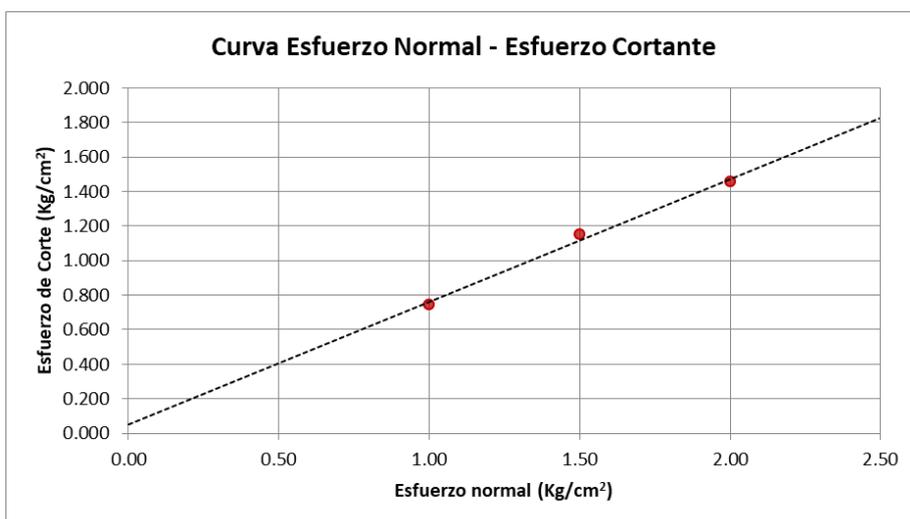


Figura 2.18. Curva de Resistencia Intrínseca. Esfuerzo normal vs esfuerzo de corte.

Los parámetros de cohesión y ángulo de fricción interna pueden medirse directamente de la curva C.R.I. La cohesión es la ordenada que corresponde al punto donde la curva intercepta al eje de los esfuerzos de corte. Y el ángulo de fricción interna es el ángulo formado por la curva y el eje de esfuerzos normales.

$$\phi = \tan^{-1} \frac{\tau}{\sigma} \quad (2.29)$$

Existen relaciones entre el ángulo de fricción interna de un suelo granular y su compacidad relativa. Fue Meyerhof quien formuló las siguientes expresiones. Crespo (2004).

a) Para suelos granulares con más del 5% de arena fina y limo:

$$\phi = 25 + 0.15Cr \quad (2.30)$$

b) Para suelos granulares con menos de 5% de arena fina y limo:

$$\phi = 30 + 0.15Cr \quad (2.31)$$

2.3. TEORÍA DE MECÁNICA DE SUELOS

2.3.1. CIMENTACIONES SUPERFICIALES

El Reglamento Nacional de Edificaciones E050 (2012) define a las cimentaciones superficiales: “...son aquellas en las que la relación Profundidad/Ancho (D_f/B) es menor o igual a cinco, siendo D_f la profundidad de cimentación y B el ancho o diámetro de la misma.”

2.3.2. CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA

Considerando una cimentación corrida que se apoya sobre un suelo arenoso, se podría presentar tres tipos de falla que dependen de la capacidad de carga última del suelo.

a) Falla General por Corte:

Se presenta en arenas densas o suelos cohesivos firmes cuando la carga aplicada a la cimentación alcanza a la capacidad de carga última q_u . La cimentación, luego de un asentamiento gradual falla repentinamente.

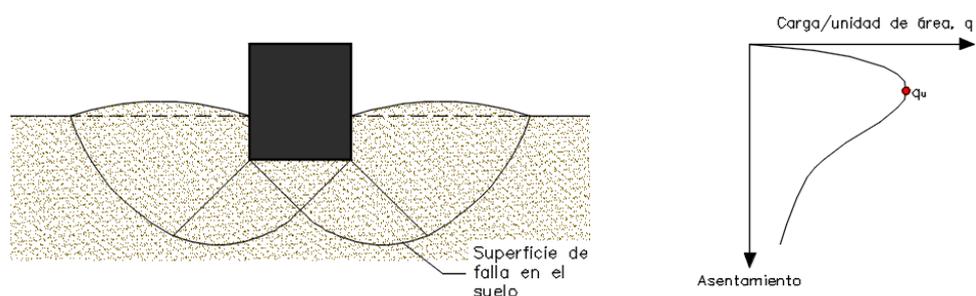


Figura 2.19. Falla General por Corte. Basado en Braja (2001).

b) Falla Local de Corte:

Se presenta en arenas o arcillas medianamente compactadas. Al incrementar la carga sobre la cimentación, aumenta gradualmente el asentamiento hasta alcanzar una carga por área unitaria $q_{u(1)}$, donde el movimiento estará acompañado por sacudidas repentinas pero no es hasta que se alcanza la capacidad de carga última q_u que la superficie de falla del suelo se extiende hasta la superficie del terreno. Más allá de ese punto, a una mayor carga le corresponderá un mayor asentamiento de la cimentación. La carga por unidad de área $q_{u(1)}$ se denomina **carga primera de falla**.

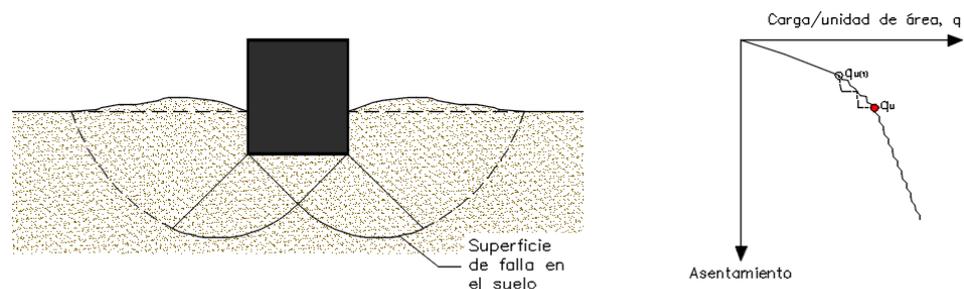


Figura 2.20. Falla Local de Corte. Basado en Braja (2001).

c) Falla de corte por Punzonamiento:

Se presenta en suelos bastante sueltos. Al incrementar la carga sobre la cimentación, se presenta un asentamiento continuo incluso hasta llegar más allá de la carga última de falla q_u , donde la gráfica carga-asentamiento se inclinará y será prácticamente lineal.

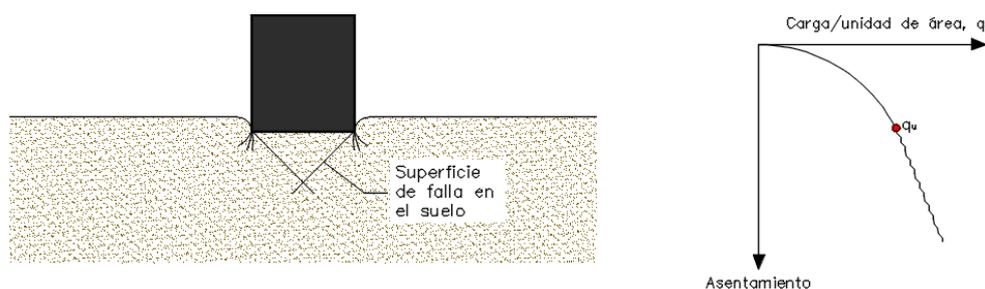


Figura 2.21. Falla de corte por Punzonamiento. Basado en Braja (2001).

2.3.3. TEORÍA DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE TERZAGHI

Terzaghi fue el primero en presentar una teoría completa para evaluar la capacidad de carga última de cimentaciones superficiales. Sugirió que, para una cimentación corrida, puede suponerse una superficie de falla en el suelo tal como se muestra en la figura 2.22.

El efecto del peso del suelo que está por encima del fondo de la cimentación puede también suponerse reemplazado por una sobrecarga equivalente efectiva $q = \gamma D_f$ (donde γ = peso específico del suelo).

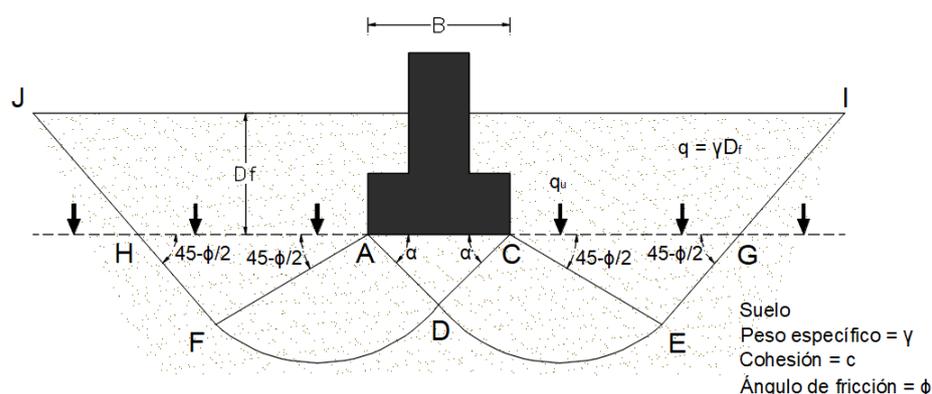


Figura 2. 22. Esquema de falla por capacidad de carga en suelo bajo una cimentación corrida. Basado en Braja (2001).

La zona de falla bajo la cimentación puede separarse en tres partes:

1. La Zona triangular ACD ubicada debajo de la cimentación.
2. Las zonas de corte radiales ADF y CDE, con las curvas DE y DF como arcos de una espiral logarítmica.
3. Dos zonas pasivas de Rankine triangulares AFH y CEG.

Se supone que los ángulos CAD y ACD son iguales al ángulo de fricción interno del suelo, ϕ . Con el reemplazo del suelo arriba del fondo de la cimentación por una sobrecarga equivalente q , la resistencia de corte del suelo a lo largo de las superficies de falla GI y HJ fue despreciada. Braja (2001)

Usando el análisis de equilibrio, Terzaghi expresó la capacidad de carga última para una cimentación corrida:

$$q_u = cN_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma \quad (2.32)$$

Donde:

c = cohesión del suelo.

γ = peso específico del suelo.

$$q = \gamma D_f$$

N_c, N_q, N_γ = factores de capacidad de carga adimensionales que están únicamente en función del ángulo ϕ de fricción del suelo.

Los factores de capacidad de carga, N_c, N_q, N_γ se definen mediante las expresiones.

$$N_c = \cot \phi \left[\frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) \tan \phi}}{2 \cos^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)} - 1 \right] = \cot \phi (N_q - 1) \quad (2.33)$$

$$N_q = \frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) \tan \phi}}{2 \cos^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)} \quad (2.34)$$

$$N_\gamma = \frac{1}{2} \left(\frac{K_{p\gamma}}{\cos^2(\phi)} - 1 \right) \tan \phi \quad (2.35)$$

Donde $K_{p\gamma}$ = coeficiente de empuje pasivo

Las variaciones de los factores de capacidad de carga definidos por las ecuaciones se dan en la tabla 2.7.

Tabla 2.7. Factores de capacidad de carga de Terzaghi.

ϕ	N_c	N_q	N_γ	ϕ	N_c	N_q	N_γ
0	5.70	1.00	0.00	26	27.09	14.21	9.84
1	6.00	1.10	0.01	27	29.24	15.90	11.60
2	6.30	1.22	0.04	28	31.61	17.81	13.70
3	6.62	1.35	0.06	29	34.24	19.98	16.18
4	6.97	1.49	0.10	30	37.16	22.46	19.13
5	7.34	1.64	0.14	31	40.41	25.28	22.65
6	7.73	1.81	0.20	32	44.04	28.52	26.87
7	8.15	2.00	0.27	33	48.09	32.23	31.94
8	8.60	2.21	0.35	34	52.64	36.50	38.04
9	9.09	2.44	0.44	35	57.75	41.44	45.41
10	9.61	2.69	0.56	36	63.53	47.16	54.36
11	10.16	2.98	0.69	37	70.01	53.80	65.27
12	10.76	3.29	0.85	38	77.50	61.55	78.61
13	11.41	3.63	1.04	39	85.97	70.61	95.03
14	12.11	4.02	1.26	40	95.66	81.27	115.31
15	12.86	4.45	1.52	41	106.81	93.85	140.51
16	13.68	4.92	1.82	42	119.67	108.75	171.99
17	14.60	5.45	2.18	43	134.58	126.50	211.56
18	15.12	6.04	2.59	44	151.95	147.74	261.60
19	16.56	6.70	3.07	45	172.28	173.28	325.34
20	17.69	7.44	3.64	46	196.22	204.19	407.11
21	18.92	8.26	4.31	47	224.55	241.80	512.84
22	20.27	9.19	5.09	48	258.28	287.85	650.67
23	21.75	10.23	6.00	49	298.71	344.63	831.99
24	23.36	11.40	7.08	50	347.50	415.14	1072.80
25	25.13	12.72	8.34				

*Según Kumbhojkar (1993)

Nota. Basado en "Principio de ingeniería de cimentaciones". Braja, 2001, p. 158

Para estimar la capacidad de carga última de cimentaciones cuadradas o circulares, la ecuación 2.32 puede modificarse para formular la ecuación 2.36, correspondiente a cimentaciones cuadradas y para formular la ecuación 2.37, correspondiente a cimentaciones circulares:

$$q_u = 1.3cN_c + qN_q + 0.4\gamma BN_\gamma \quad (2.36)$$

$$q_u = 1.3cN_c + qN_q + 0.3\gamma BN_\gamma \quad (2.37)$$

Donde en la ecuación 2.36, B es igual a la dimensión de cada lado de la cimentación y en la ecuación 2.37, B es igual al diámetro de la cimentación.

Para cimentaciones que exhiben falla local por corte en suelos, Terzaghi sugirió modificaciones a las ecuaciones 2.32, 2.36 y 2.37.

$$q_u = \frac{2}{3}cN'_c + qN'_q + \frac{1}{2}\gamma BN'_\gamma \quad (2.38)$$

$$q_u = 0.867cN'_c + qN'_q + 0.4\gamma BN'_\gamma \quad (2.39)$$

$$q_u = 0.867cN'_c + qN'_q + 0.3\gamma BN'_\gamma \quad (2.40)$$

N'_c, N'_q, N'_γ son los factores de capacidad de carga modificada. Estos se calculan usando las ecuaciones para el factor de capacidad de carga (para N_c, N_q, N_γ) reemplazando ϕ por $\phi' = \tan^{-1}\left(\frac{2}{3}\tan\phi\right)$. La variación de N'_c, N'_q, N'_γ con el ángulo ϕ de fricción del suelo, se da en la tabla 2.8.

Tabla 2.8. Factores de capacidad de carga modificados de Terzaghi.

ϕ	N'_c	N'_q	N'_γ	ϕ	N'_c	N'_q	N'_γ
0	5.70	1.00	0.00	26	15.53	6.05	2.59
1	5.90	1.07	0.005	27	16.30	6.54	2.88
2	6.10	1.14	0.02	28	17.13	7.07	3.29
3	6.30	1.22	0.04	29	18.03	7.66	3.76
4	6.51	1.30	0.055	30	18.99	8.31	4.39
5	6.74	1.39	0.074	31	20.03	9.03	4.83
6	6.97	1.49	0.10	32	21.16	9.82	5.51
7	7.22	1.59	0.128	33	22.39	10.69	6.32
8	7.47	1.70	0.16	34	23.72	11.67	7.22
9	7.74	1.82	0.20	35	25.18	12.75	8.35
10	8.02	1.94	0.24	36	26.77	13.97	9.41
11	8.32	2.08	0.30	37	28.51	15.32	10.90
12	8.63	2.22	0.35	38	30.43	16.85	12.75
13	8.96	2.38	0.42	39	32.53	18.56	14.71
14	9.31	2.55	0.48	40	34.87	20.50	17.22
15	9.67	2.73	0.57	41	37.45	22.70	19.75
16	10.06	2.92	0.67	42	40.33	25.21	22.50
17	10.47	3.13	0.76	43	43.54	28.06	26.25
18	10.90	3.36	0.88	44	47.13	31.34	30.40
19	11.36	3.61	1.03	45	51.17	35.11	36.00
20	11.85	3.88	1.12	46	55.73	39.48	41.70
21	12.37	4.17	1.35	47	60.91	44.45	49.30
22	12.92	4.48	1.55	48	66.80	50.46	59.25
23	13.51	4.82	1.74	49	73.55	57.41	71.45
24	14.14	5.20	1.97	50	81.31	65.60	85.75
25	14.80	5.60	2.25				

Nota. Basado en "Principio de ingeniería de cimentaciones". Braja, 2001, p. 160

2.3.4. FACTOR DE SEGURIDAD

Para el cálculo de la capacidad de carga bruta admisible de cimentaciones superficiales se requiere aplicar un factor de seguridad (FS) a la capacidad de carga última bruta, o

$$q_{adm} = \frac{q_u}{FS} \quad (2.41)$$

La capacidad de carga última neta se define como la presión última por unidad de área de la cimentación que es soportada por el suelo en exceso de la presión causada por el suelo que la rodea en el nivel de la cimentación. Si la diferencia entre el peso específico del concreto usado

para la cimentación y el peso específico del suelo que la rodea se supone insignificante,

$$q_{neta(u)} = q_u - q \quad (2.42)$$

Donde:

$q_{neta(u)}$ = capacidad de carga última neta

$$q = \gamma D_f$$

Entonces:

$$q_{adm(neta)} = \frac{q_u - q}{FS} \quad (2.43)$$

El factor de seguridad, tal como se define por la ecuación 2.43 puede ser por lo menos de 3 en todos los casos.

2.3.5. LA ECUACIÓN GENERAL DE LA CAPACIDAD DE CARGA

Las ecuaciones de capacidad de carga última presentadas en las ecuaciones (2.32), (2.36) y (2.37) son únicamente para cimentaciones continuas, cuadradas y circulares, pero no se aplican al caso de cimentaciones rectangulares ($0 < B/L < 1$). Además, la carga sobre la cimentación puede estar inclinada.

Para tomar en cuenta todos los factores, Meyerhof (1963) sugirió la siguiente forma de ecuación general de capacidad de apoyo:

$$q_u = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad (2.44)$$

Donde

c = cohesión.

q = esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación.

γ = peso específico del suelo.

B = ancho de la cimentación (diámetro para una cimentación circular)

$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$ = factores de forma.

$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$ = factores de profundidad.

$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$ = factores por inclinación de la carga.

N_c, N_q, N_γ = factores de capacidad de carga.

Las fórmulas para determinar los diversos factores dados en la ecuación (2.44) están descritas más adelante. Los factores de forma, profundidad e inclinación de carga son factores empíricos basados en datos experimentales.

2.3.6. FACTORES DE LA CAPACIDAD DE CARGA

Con $\alpha = 45 + \phi/2$, las relaciones para N_c y N_q pueden obtenerse como:

$$N_q = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) e^{\pi \tan \phi} \quad (2.45)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (2.46)$$

La ecuación para N_c dada por la ecuación 2.46 fue originalmente obtenida por Prandtl (1921), y la relación para N_q fue presentada por Reissner

(1924). Caquot y Kerisel (1953) y Vesic (1973) dieron la relación para N_γ

como:

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi \quad (2.47)$$

Tabla 2.9. Factores de capacidad de carga.

ϕ	N_c	N_q	N_γ	N_q/N_c	$\tan \phi$	ϕ	N_c	N_q	N_γ	N_q/N_c	$\tan \phi$
0	5.14	1.00	0.00	0.20	0.00	26	22.25	11.85	12.54	0.53	0.49
1	5.38	1.09	0.07	0.20	0.02	27	23.94	13.20	14.47	0.55	0.51
2	5.63	1.20	0.15	0.21	0.03	28	25.80	14.72	16.72	0.57	0.53
3	5.90	1.31	0.24	0.22	0.05	29	27.86	16.44	19.34	0.59	0.55
4	6.19	1.43	0.34	0.23	0.07	30	30.14	18.40	22.40	0.61	0.58
5	6.49	1.57	0.45	0.24	0.09	31	32.67	20.63	25.99	0.63	0.60
6	6.81	1.72	0.57	0.25	0.11	32	35.49	23.18	30.22	0.65	0.62
7	7.16	1.88	0.71	0.26	0.12	33	38.64	26.09	35.19	0.68	0.65
8	7.53	2.06	0.86	0.27	0.14	34	42.16	29.44	41.06	0.70	0.67
9	7.92	2.25	1.03	0.28	0.16	35	46.12	33.30	48.03	0.72	0.70
10	8.35	2.47	1.22	0.30	0.18	36	50.59	37.75	56.31	0.75	0.73
11	8.80	2.71	1.44	0.31	0.19	37	55.63	42.92	66.19	0.77	0.75
12	9.28	2.97	1.69	0.32	0.21	38	61.35	48.93	78.03	0.80	0.78
13	9.81	3.26	1.97	0.33	0.23	39	67.87	55.96	92.25	0.82	0.81
14	10.37	3.59	2.29	0.35	0.25	40	75.10	64.20	109.41	0.85	0.84
15	10.98	3.94	2.65	0.36	0.27	41	83.86	73.90	130.22	0.88	0.87
16	11.63	4.34	3.06	0.37	0.29	42	93.71	85.38	155.55	0.91	0.90
17	12.34	4.77	3.53	0.39	0.31	43	105.11	99.02	186.54	0.94	0.93
18	13.10	5.26	4.07	0.40	0.32	44	118.37	115.31	224.64	0.97	0.97
19	13.93	5.80	4.68	0.42	0.34	45	133.88	134.88	271.76	1.01	1.00
20	14.83	6.40	5.39	0.43	0.36	46	152.10	158.51	330.35	1.04	1.04
21	15.82	7.07	6.20	0.45	0.38	47	173.64	187.21	403.67	1.08	1.07
22	16.88	7.82	7.13	0.46	0.40	48	199.26	222.31	496.01	1.12	1.11
23	18.05	8.66	8.20	0.48	0.42	49	229.93	265.51	613.16	1.15	1.15
24	19.32	9.60	9.44	0.50	0.45	50	266.89	319.07	762.89	1.20	1.19
25	20.72	10.66	10.88	0.51	0.47						

*Según Vesic (1973)

Nota. Basado en "Principio de ingeniería de cimentaciones". Braja, 2001, p. 168

Factores de forma, profundidad e inclinación

Las relaciones para los factores de forma, profundidad e inclinación recomendados para usarse se muestran en la tabla 2.10.

Tabla 2.10. Factores de forma, profundidad e inclinación recomendados para su uso.

Factor	Relación	Fuente		
Forma	$F_{cs} = 1 + \frac{B N_q}{L N_c}$	De Beer (1970) Hansen(1970)		
	$F_{qs} = 1 + \frac{B}{L \tan \phi}$			
	$F_{\gamma s} = 1 - 0.4 \frac{B}{L}$			
	donde L = longitud de la cimentación ($L > B$)			
Profundidad	Condición (a): $D_f/B \leq 1$	Hansen(1970)		
	$F_{cd} = 1 + 0.4 \frac{D_f}{B}$			
	$F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \frac{D_f}{B}$			
	$F_{\gamma d} = 1$			
	Condición (b): $D_f/B > 1$			
	$F_{cd} = 1 + (0.4) \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B} \right)$			
	$F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B} \right)$			
	$F_{\gamma d} = 1$			
	Inclinación		$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\beta^\circ}{90^\circ} \right)^2$	Meyerhof (1963); Hana y Meyerhof (1981)
			$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\beta^\circ}{90^\circ} \right)^2$	
donde β = inclinación de la carga sobre la cimentación con respecto a la vertical				

Nota. Basado en "Principio de ingeniería de cimentaciones". Braja, 2001, p. 169

2.3.7. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN EL SUELO

2.3.7.1. ESFUERZO DEBIDO A UNA CARGA CONCENTRADA

En 1889, Boussinesq desarrolló las relaciones matemáticas para la determinación de los esfuerzos normal y de corte en un punto cualquiera dentro de los medios homogéneos, elásticos e isotrópicos debido a una carga puntual concentrada localizada en la superficie, como muestra la figura 2.23. De acuerdo con su análisis, el incremento del esfuerzo vertical (Δp) en el punto A causado por la carga puntual de magnitud P es:

$$\Delta p = \frac{3P}{2\pi z^2 \left[1 + \left(\frac{r}{z} \right)^2 \right]^{5/2}} \quad (2.48)$$

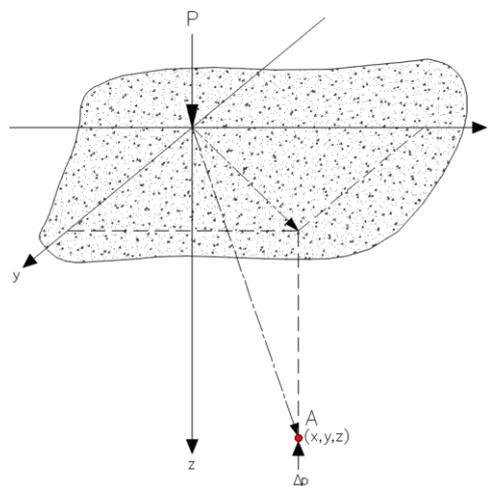


Figura 2.23. Esfuerzo vertical en un punto A, causado por una carga puntual. Basado en Braja (2001).

Donde:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

x, y, z = coordenadas del punto A

2.3.7.2. ESFUERZO DEBAJO DE UN ÁREA RECTANGULAR

Considerando un área elemental $dA = dx dy$ sobre la superficie cargada. Si la carga por unidad de área es q_0 , la carga total sobre el área elemental es

$$dP = q_0 dx dy \quad (2.49)$$

Esta carga elemental, dP , debe tratarse como una carga puntual. El incremento del esfuerzo vertical en el punto A causado por dP se evalúa usando la ecuación (2.48). Sin embargo, se sustituye $dP = q_0 dx dy$ por P , y $x^2 + y^2$ por r^2 , en la ecuación 2.48. Entonces

El incremento del esfuerzo en A causado por dP es:

$$dP = \frac{3q_0 dx dy}{2\pi[x^2 + y^2 + z^2]^{5/2}} \quad (2.50)$$

El incremento total del esfuerzo causado por el área total cargada en el punto A se obtiene ahora integrando la ecuación anterior:

$$\Delta P = \int_{y=0}^L \int_{x=0}^B \frac{3q_0 dx dy}{2\pi[x^2 + y^2 + z^2]^{5/2}} = q_0 I \quad (2.51)$$

Donde

Δp = incremento del esfuerzo en A

I = factor de influencia

$$I = \frac{1}{4} \left(\frac{2mn\sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 + m^2n^2 + 1} \cdot \frac{m^2 + n^2 + 2}{m^2 + n^2 + 1} + \tan^{-1} \frac{2mn\sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 + 1 - m^2n^2} \right) \quad (2.52)$$

Cuando m y n son pequeños, el argumento de \tan^{-1} es negativo.

En ese caso,

$$I = \frac{1}{4} \left[\frac{2mn\sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 + m^2n^2 + 1} \cdot \frac{m^2 + n^2 + 2}{m^2 + n^2 + 1} + \tan^{-1} \left(\pi - \frac{2mn\sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 + 1 - m^2n^2} \right) \right] \quad (2.53)$$

$$m = \frac{B}{z} \quad (2.54)$$

$$n = \frac{L}{z} \quad (2.55)$$

Las variaciones de los valores de influencia con m y n se dan en la tabla 2.11.

Tabla 2.11. Variación del valor de influencia, I .

m	n											
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
0.1	0.00470	0.00917	0.01323	0.01678	0.01978	0.02223	0.02420	0.02576	0.02698	0.02794	0.02926	0.03007
0.2	0.00917	0.01790	0.02585	0.03280	0.03866	0.04348	0.04735	0.05042	0.05283	0.05471	0.05733	0.05894
0.3	0.01323	0.02585	0.03735	0.04742	0.05593	0.06294	0.06858	0.07308	0.07661	0.07938	0.08323	0.08561
0.4	0.01678	0.03280	0.04742	0.06024	0.07111	0.08009	0.08734	0.09314	0.09770	0.10129	0.10631	0.10941
0.5	0.01978	0.03866	0.05593	0.07111	0.08403	0.09473	0.10340	0.11035	0.11584	0.12018	0.12626	0.13003
0.6	0.02223	0.04348	0.06294	0.08009	0.09473	0.10688	0.11679	0.12474	0.13105	0.13605	0.14309	0.14749
0.7	0.02420	0.04735	0.06858	0.08734	0.10340	0.11679	0.12772	0.13653	0.14356	0.14914	0.15703	0.16199
0.8	0.02576	0.05042	0.07308	0.09314	0.11035	0.12474	0.13653	0.14607	0.15371	0.15978	0.16843	0.17389
0.9	0.02698	0.05283	0.07661	0.09770	0.11584	0.13105	0.14356	0.15371	0.16185	0.16835	0.17766	0.18357
1.0	0.02794	0.05471	0.07938	0.10129	0.12018	0.13605	0.14914	0.15978	0.16835	0.17522	0.18508	0.19139
1.2	0.02926	0.05733	0.08323	0.10631	0.12626	0.14309	0.15703	0.16843	0.17766	0.18508	0.19584	0.20278
1.4	0.03007	0.05894	0.08561	0.10941	0.13003	0.14749	0.16199	0.17389	0.18357	0.19139	0.20278	0.21020
1.6	0.03058	0.05994	0.08709	0.11135	0.13241	0.15028	0.16515	0.17739	0.18737	0.19546	0.20731	0.21510
1.8	0.03090	0.06058	0.08804	0.11260	0.13395	0.15207	0.16720	0.17967	0.18986	0.19814	0.21032	0.21836
2.0	0.03111	0.06100	0.08867	0.11342	0.13496	0.15326	0.16856	0.18119	0.19152	0.19994	0.21235	0.22058
2.5	0.03138	0.06155	0.08948	0.11450	0.13628	0.15483	0.17036	0.18321	0.19375	0.20236	0.21512	0.22364
3.0	0.03150	0.06178	0.08982	0.11495	0.13684	0.15550	0.17113	0.18407	0.19470	0.20341	0.21633	0.22499
4.0	0.03158	0.06194	0.09007	0.11527	0.13724	0.15598	0.17168	0.1847	0.19540	0.20417	0.21722	0.22600
5.0	0.03160	0.06199	0.09014	0.11537	0.13737	0.15612	0.17185	0.18488	0.19561	0.20440	0.21749	0.22632
6.0	0.03161	0.06201	0.09017	0.11541	0.13741	0.15617	0.17191	0.18496	0.19569	0.20449	0.21760	0.22644
8.0	0.03162	0.06202	0.09018	0.11543	0.13744	0.15621	0.17195	0.18500	0.19574	0.20455	0.21767	0.22652
10.0	0.03612	0.06202	0.09019	0.11544	0.13745	0.15622	0.17196	0.18502	0.19576	0.20457	0.21769	0.22654
∞	0.03162	0.06202	0.09019	0.11544	0.13745	0.15623	0.17197	0.18502	0.19577	0.20458	0.21770	0.22656

*Según Newmark (1935)

m	n										
	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	∞
0.1	0.03058	0.03090	0.03111	0.03138	0.03150	0.03158	0.03160	0.03161	0.03162	0.03612	0.03162
0.2	0.05994	0.06058	0.06100	0.06155	0.06178	0.06194	0.06199	0.06201	0.06202	0.06202	0.06202
0.3	0.08709	0.08804	0.08867	0.08948	0.08982	0.09007	0.09014	0.09017	0.09018	0.09019	0.09019
0.4	0.11135	0.11260	0.11342	0.11450	0.11495	0.11527	0.11537	0.11541	0.11543	0.11544	0.11544
0.5	0.13241	0.13395	0.13496	0.13628	0.13684	0.13724	0.13737	0.13741	0.13744	0.13745	0.13745
0.6	0.15028	0.15207	0.15326	0.15483	0.15550	0.15598	0.15612	0.15617	0.15621	0.15622	0.15623
0.7	0.16515	0.16720	0.16856	0.17036	0.17113	0.17168	0.17185	0.17191	0.17195	0.17196	0.17197
0.8	0.17739	0.17967	0.18119	0.18321	0.18407	0.1847	0.18488	0.18496	0.18500	0.18502	0.18502
0.9	0.18737	0.18986	0.19152	0.19375	0.19470	0.19540	0.19561	0.19569	0.19574	0.19576	0.19577
1.0	0.19546	0.19814	0.19994	0.20236	0.20341	0.20417	0.20440	0.20449	0.20455	0.20457	0.20458
1.2	0.20731	0.21032	0.21235	0.21512	0.21633	0.21722	0.21749	0.21760	0.21767	0.21769	0.21770
1.4	0.21510	0.21836	0.22058	0.22364	0.22499	0.22600	0.22632	0.22644	0.22652	0.22654	0.22656
1.6	0.22025	0.22372	0.22610	0.22940	0.23088	0.23200	0.23236	0.23249	0.23258	0.23261	0.23263
1.8	0.22372	0.22736	0.22986	0.23334	0.23495	0.23617	0.23656	0.23671	0.23681	0.23684	0.23686
2.0	0.22610	0.22986	0.23247	0.23614	0.23782	0.23912	0.23954	0.23970	0.23981	0.23985	0.23987
2.5	0.22940	0.23334	0.23614	0.24010	0.24196	0.24344	0.24392	0.24412	0.24425	0.24429	0.24432
3.0	0.23088	0.23495	0.23782	0.24196	0.24394	0.24554	0.24608	0.24630	0.24646	0.24650	0.24654
4.0	0.23200	0.23617	0.23912	0.24344	0.24554	0.24729	0.24791	0.24817	0.24836	0.24842	0.24846
5.0	0.23236	0.23656	0.23954	0.24392	0.24608	0.24791	0.24857	0.24885	0.24907	0.24914	0.24919
6.0	0.23249	0.23671	0.23970	0.24412	0.24630	0.24817	0.24885	0.24916	0.24939	0.24946	0.24952
8.0	0.23258	0.23681	0.23981	0.24425	0.24646	0.24836	0.24907	0.24939	0.24964	0.24973	0.24980
10.0	0.23261	0.23684	0.23985	0.24429	0.24650	0.24842	0.24914	0.24946	0.24973	0.24981	0.24989
∞	0.23263	0.23686	0.23987	0.24432	0.24654	0.24846	0.24919	0.24952	0.24980	0.24989	0.25000

*Según Newmark (1935)

Nota. Basado en "Principio de ingeniería de cimentaciones". Braja, D, 2001, p. 224

El incremento del esfuerzo en cualquier punto debajo de una superficie rectangular cargada también se encuentra usando la ecuación 2.51. Para determinar un esfuerzo a una profundidad z debajo de un punto O, se divide la superficie cargada en cuatro rectángulos. El punto O es la esquina común a cada rectángulo, luego se usa la ecuación 2.51 para calcular el incremento del esfuerzo a la profundidad z debajo del punto O causado por cada superficie rectangular. El incremento total del esfuerzo causado por toda la superficie cargada se expresa como:

$$\Delta p = q_0(I_1 + I_2 + I_3 + I_4) \quad (2.56)$$

Donde

I_1, I_2, I_3, I_4 = valores de influencia de los rectángulos 1,2,3 y 4

En la mayoría de los casos, el esfuerzo vertical debajo del centro de una superficie rectangular es de importancia, y se da por la siguiente relación:

$$\Delta p = q_0 I_c \quad (2.57)$$

Donde

$$I = \frac{2}{\pi} \left[\frac{m_1 n_1}{\sqrt{1+m_1^2+n_1^2}} \cdot \frac{1+m_1^2+2n_1^2}{(1+n_1^2)(m_1^2+n_1^2)} \right] + \sin^{-1} \frac{m_1}{\sqrt{m_1^2+n_1^2}\sqrt{1+n_1^2}} \quad (2.58)$$

$$m_1 = \frac{L}{B} \quad (2.59)$$

$$n_1 = \frac{z}{\left(\frac{B}{2}\right)} \quad (2.60)$$

La variación de I_c con m_1 y n_1 se da en la tabla 2.12.

Tabla 2.12. Variación I_c con m_1 y n_1 .

n_1	m_1									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.20	0.994	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997
0.40	0.960	0.976	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997
0.60	0.892	0.932	0.936	0.936	0.937	0.937	0.937	0.937	0.937	0.937
0.80	0.800	0.870	0.878	0.880	0.881	0.881	0.881	0.881	0.881	0.881
1.00	0.701	0.800	0.814	0.817	0.817	0.818	0.818	0.818	0.818	0.818
1.20	0.606	0.727	0.748	0.753	0.754	0.755	0.755	0.755	0.755	0.755
1.40	0.522	0.658	0.685	0.692	0.694	0.695	0.695	0.696	0.696	0.696
1.60	0.449	0.593	0.627	0.636	0.639	0.640	0.641	0.641	0.641	0.642
1.80	0.388	0.534	0.573	0.585	0.590	0.591	0.592	0.592	0.593	0.593
2.00	0.336	0.481	0.525	0.540	0.545	0.547	0.548	0.549	0.549	0.549
3.00	0.179	0.293	0.348	0.373	0.384	0.389	0.392	0.393	0.394	0.395
4.00	0.108	0.190	0.241	0.269	0.285	0.293	0.298	0.301	0.302	0.303
5.00	0.072	0.131	0.174	0.202	0.219	0.229	0.236	0.240	0.242	0.244
6.00	0.051	0.095	0.130	0.155	0.172	0.184	0.192	0.197	0.200	0.202
7.00	0.038	0.072	0.100	0.122	0.139	0.150	0.158	0.164	0.168	0.171
8.00	0.029	0.056	0.079	0.098	0.113	0.125	0.133	0.139	0.144	0.147
9.00	0.023	0.045	0.064	0.081	0.094	0.105	0.113	0.119	0.124	0.128
10.00	0.019	0.037	0.053	0.067	0.079	0.089	0.097	0.103	0.108	0.112

Nota. Basado en "Principio de ingeniería de cimentaciones". Braja, D, 2001, p. 227

Los ingenieros en cimentaciones usan a menudo un método aproximado para determinar el incremento del esfuerzo con la profundidad causado por la construcción de una cimentación, denominado método 2:1. De acuerdo con éste, el incremento del esfuerzo a la profundidad z es

$$\Delta p = \frac{q_0 \times B \times L}{(B + z)(L + z)} \quad (2.61)$$

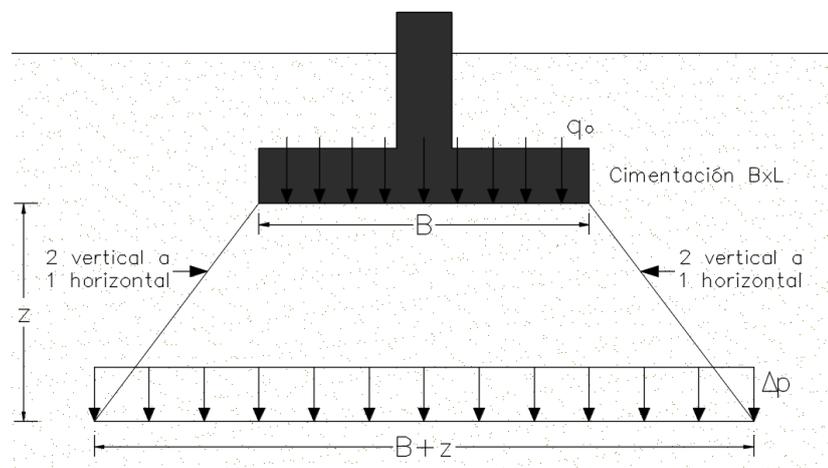


Figura 2.24. Método 2:1 para encontrar el incremento de esfuerzo debajo de una cimentación. Basado en Braja (2001).

La ecuación se basa en la hipótesis de que el esfuerzo se difunde desde la cimentación a lo largo de líneas con una pendiente de 2 vertical a 1 horizontal.

2.4. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

2.4.1. INTRODUCCIÓN

Braja (2001), comenta que el suelo en un sitio de construcción no será siempre totalmente adecuado para soportar estructuras como edificios, puentes, carreteras y presas. Por ejemplo, en depósitos de suelo granular en suelo in situ tal vez esté muy suelto e indique un gran asentamiento elástico. En tal caso, tiene que ser densificado para incrementar su peso específico, así como su resistencia cortante. Esto se logra con la estabilización de suelos. Algunas veces, las capas superiores del suelo no son adecuadas y deben retirarse y reemplazarse con mejor material sobre el cual puede construirse una cimentación estructural.

López (1983), indica que en la mayoría de los casos de mejora geotécnica del suelo el objetivo del tratamiento es obtener uno o más de los siguientes cambios, en las propiedades o condiciones del suelo:

- Aumentar la resistencia mecánica.
- Reducir la compresibilidad en orden a minimizar los asientos bajo cargas estáticas.
- Reducir el potencial de licuefacción bajo cargas dinámicas y movimientos sísmicos.
- Disminuir la permeabilidad.
- Disminuir la erosionabilidad.
- Disminuir el potencial de colapso estructural.
- Disminuir el potencial físico-químico de expansión.

2.4.2. DEFINICIÓN

Según en Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2013), la estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas 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 inadecuados o pobres, en este caso son conocidas como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos.

La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes. Cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación.

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
- Costos comparativos

El siguiente diagrama sintetiza un procedimiento para determinar el método apropiado de estabilización:

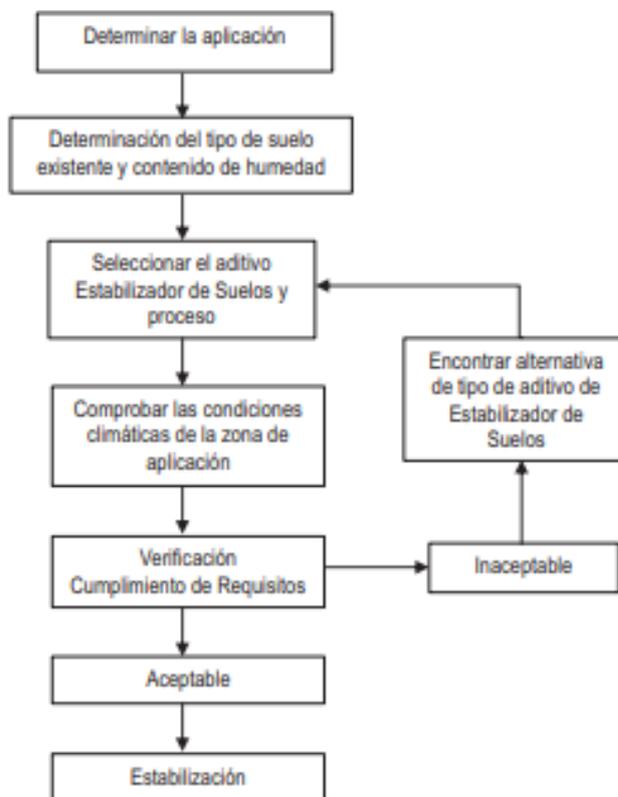


Figura 2.25. Proceso de selección del Tipo de Estabilización. “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos”. MTC, 2013.

2.4.3. COMPACTACIÓN EN CAMPO

Si se agrega una pequeña cantidad de agua a un suelo y luego éste se compacta, el suelo tendrá un cierto peso específico. Si el contenido de agua del mismo suelo es incrementado gradualmente y la energía de compactación es la misma, el peso específico seco del suelo se incrementará gradualmente. La razón es que el agua actúa como un

lubricante entre las partículas del suelo y, bajo compactación ésta ayuda a reacomodar las partículas sólidas a un estado más denso. Braja (2001) Los equipos que se utilizan en el campo para realizar la compactación incluyen placas vibratorias, apisonadores mecánicos y diferentes tipos de rodillos; los más comunes de ellos se describen a continuación. La compactación que se obtiene con estos equipos es producida por uno o por la combinación de los efectos siguientes: presión estática, amasado, vibración o impacto; la energía de compactación se especifica en términos de cierto número de *pasadas*. La elección del equipo de compactación que debe utilizarse depende de la aplicación a la que esté destinada la compactación y del tipo de suelo a utilizar.

Las *placas vibratorias* y los *apisonadores mecánicos* son ejemplos de equipos manuales de compactación que se utilizan principalmente en áreas pequeñas en donde los compactadores de gran tamaño, tales como los rodillos, no pueden acceder con facilidad o donde su utilización no se justifica; se utilizan por ejemplo, en la compactación de zanjas y por detrás de los estribos de puentes o de los muros de contención, en la compactación de fundaciones para zapatas.

Los *rodillos lisos* tienen un tambor hueco de acero que puede llenarse con arena o agua para aumentar su peso, y pueden ser autopropulsados o remolcados. A menos que se les coloque un vibrador, la compactación se produce solo por el efecto de carga estática que produce presiones de contacto aproximadamente 400 kN/m^2 . La aplicación principal de los rodillos lisos es la compactación de bases o subrasantes compuestas por

arenas o gravas bien gradadas y la compactación de pavimentos asfálticos.

Los *rodillos pata de cabra* tienen un tambor hueco de acero que cuenta con numerosas protuberancias o “patas”; estas patas tienen usualmente una longitud que varía entre 150mm y 250mm y 25cm² a 80cm² de área en la punta. La pata produce presiones de contacto muy altas que oscilan entre 1500 kN/m² y 7500 kN/m², dependiendo del tamaño de la pata, del tambor y del lastre del tambor. Los rodillos pata de cabra pueden ser autopropulsados o remolcados. El compactador pata de cabra funciona de manera adecuada en suelos finos y en suelos gruesos con más del 20% de finos.

Los *compactadores de llantas* tienen entre dos y seis llantas colocadas a muy poca distancia en cada uno de los ejes. La compactación se produce por una combinación de la presión estática y de la acción de amasado. Los ejes por lo general permiten un cierto movimiento vertical de las llantas para evitar el “puenteo” cuando pasa por puntos bajos o terrenos irregulares. Son aconsejables para la mayor parte de suelos finos y de grano grueso a excepción de los materiales con gradación uniforme.

Compactadores vibratorios, a cualquiera de los tipos de compactadores ya descritos puede adicionarles un vibrador con el fin de impartir un efecto vibratorio adicional al suelo que se desea compactar. Por lo general, la frecuencia de vibración oscila en el rango de 20Hz a 80Hz. Los compactadores vibratorios son particularmente eficaces en la compactación de suelos granulares sin finos. Berry y Reid (2000).

2.4.4. ESTABILIZACIÓN CON CAL

Como se mencionó, se usan ocasionalmente aditivos para estabilizar suelos en el campo, particularmente suelos de grano fino. Los aditivos más comunes son la cal, cemento y la ceniza volátil con cal. El suelo-cal se obtiene por mezcla íntima de suelo, cal y agua. La cal que se utiliza es óxido cálcico (cal anhidra o cal viva), obtenido por calcinación de materiales calizos, o hidróxido cálcico (cal hidratada o cal apagada). Estas cales se llaman también aéreas por la propiedad que tienen de endurecerse en el aire, una vez mezcladas con agua, por acción del anhídrido carbónico.

Los fines principales de la estabilización son:

- a) Modificar el suelo
- b) Apresurar la construcción
- c) Mejorar la resistencia y durabilidad del suelo

Los tipos de cal comúnmente usados para la estabilización de suelos de grano fino son la cal hidratada de alto calcio $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, la cal viva calcítica (CaO), la cal dolomítica monohidratada $[\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{MgO}]$ y la cal viva dolomítica. La cantidad usada para la estabilización de la mayoría de los suelos varía usualmente entre 5% y 10%.

La estabilización con cal en el campo se hace de tres maneras:

1. El material *in situ* y/o el material de préstamo se mezcla con la cantidad apropiada de cal en el sitio y luego se compacta después de la adición de agua.

2. El suelo se mezcla con la cantidad apropiada de cal y agua en una planta y luego se acarrea al sitio para su compactación.
3. Un mortero de cal se inyecta a presión en el suelo a una profundidad de 12 a 16 pies (4-5m). Se emplea un vehículo para la inyección a presión de un mortero de cal. La unidad mecánica de inyección es un mástil de levantamiento hidráulico con vigas transversales que contienen las barras de inyección, las cuales se introducen en el terreno por la acción de las vigas del mástil de levantamiento. El mortero es bombeado a alta presión a las barras de inyección, similar a inflar un globo dentro del suelo. Es muy efectivo en arenas finas, pues las comprime y densifica.

2.4.5. ESTABILIZACIÓN CON CENIZAS VOLANTES

La ceniza volante es un polvo de grano fino, compuesto principalmente de silicio, aluminio y varios óxidos y álcalis; es de naturaleza puzolánica y reacciona con cal hidratada para producir productos cementantes, que sirven para estabilizar materiales granulares con pocos finos. Mezclas efectivas se preparan con 10%-35% de ceniza volante y 2%-10% de cal. Mezclas de suelo, cal y ceniza volante son compactadas bajo condiciones controladas con la cantidad apropiada de agua para obtener capas de suelo estabilizado. La ventaja principal del uso de cenizas volantes, es que son un producto de desecho en muchas industrias y, por tanto, más barato que otros agentes. Braja (2001)

2.5. CAL

2.5.1. DEFINICIÓN

Crespo S. (2009) define a la cal como un producto resultante de la descomposición por el calor de las rocas calizas o de las rocas calizas dolomíticas:



Al óxido de calcio (CaO), también se le llama cal viva. Normalmente suele venir con pequeñas cantidades de magnesia (MgO). La cal viva es un material blanco en forma de polvo.

Si al óxido de calcio o cal viva lo mezclamos con agua obtenemos cal apagada, Ca(OH)_2 , material que también es blanco y pulverulento:



2.5.2. CLASIFICACIÓN

Según la Norma Técnica Peruana (NTP 24: 05-001) indica que la clasificación de las cales es como sigue:

- a. Cales aéreas:** Son aquellas que fraguan al combinarse con anhídrido carbónico del ambiente. También se les conoce con el nombre de cal viva o hidratada. Estas a su vez se divide en las siguientes clases:
- Cal altamente cálcica: Es la que se obtiene a partir de calizas con alto contenido de carbonato de calcio (CaCO_3).

- Cal cálcica: Es la que se obtiene con la calcinación de calizas con menor cantidad de carbonato de calcio que la anterior.
- Cal dolomítica: Es la que se obtiene a partir de calizas dolomíticas (con alto contenido de carbonato de magnesio: $MgCO_3$).

b. Cales hidráulicas: Son aquellas que se obtienen a partir de calizas arcillosas por calcinación inferior a la de principio de fusión y que después de agregarles agua y dejarlas reposar un tiempo suficientemente largo al aire, fraguan bajo el agua. Se encuentra en el mercado con el nombre de cales hidráulicas hidratadas. Se clasifican en:

- Cal hidráulica 10: Es la que su fraguado produce en parte por carbonatación y en parte por reacciones químicas complejas. Debe alcanzar una resistencia a la compresión mayor a 10 kg/cm^2 .
- Cal hidráulica 20: Es la que se obtiene a partir de calizas arcillosas por calcinación a temperatura inferior a la de principio de fusión, con o sin adición de materias puzolánicas. Es la que puede ser obtenida por la mezcla de productos de calcinación de calizas con alto contenido de carbonato de calcio ($CaCO_3$) y calizas arcillosas a las que se puede agregar materias puzolánicas. Debe alcanzar una resistencia a la compresión igual o superior a 20 kg/cm^2 .
- Cal hidráulica 50: Es la que se obtiene a partir de calizas arcillosas por calcinación a temperatura inferior a la de principio de fusión

con o sin adición de materias puzolánicas. Puede ser obtenida por la mezcla de los productos de calcinación de calizas con alto contenido de Carbonato de Calcio (CaCO_3) y calizas arcillosas a las que se puede agregar materias puzolánicas. Debe alcanzar una resistencia igual o superior a 50 kg/cm^2 .

2.5.3. ÍNDICE DE HIDRAULICIDAD

Oizus (1985), indica que el índice de hidraulicidad define numéricamente el grado de hidraulicidad de las cales y constituye la relación en peso de los silicatos, aluminatos y óxidos de hierro respecto al óxido de cal y de magnesio:

$$I = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{CaO} + \text{MgO}} \quad (2.62)$$

La relación inversa del índice hidráulico se llama módulo hidráulico:

$$M = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} \quad (2.63)$$

Vicat, en 1983, hizo una clasificación de los productos hidráulicos teniendo en cuenta dichos índice, el tiempo de fraguado y medio de conservación:

Tabla 2.13. Índices Hidráulicos

Naturaleza de los productos	Índice hidráulico	% de arcilla en la caliza primitiva	Tiempo de fraguado en agua	Observaciones
Cal Grasa y magra	0.00 – 0.10	0.0 – 5.3		Fraguan solo en el aire.
Cal Débilmente hidráulica	0.10 - 0.16	5.3 – 8.2	16 – 30	Días.
Cal medianamente hidráulica	0.16 – 0.31	8.2 – 14.8	10 – 15	Días.
Cal propiamente hidráulica	0.31 – 0.42	14.8 – 19.1	5 – 9	Días.
Cal eminentemente hidráulica	0.42 – 0.50	19.2 – 21.8	2 – 4	Días.
Cal límite o cemento lento	0.50 – 0.65	21.8 – 26.7	1 – 12	Horas.
Cemento rápido	0.65 – 1.20	26.7 – 40.0	5 - 15	Minutos.

Nota. Adaptado de “Materiales de construcción”. Oizus, F., 1985, p. 89.

2.5.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA

Los investigadores Ariel, Rojas, Umbarilda y Bustamante (2008), experimentaron en su trabajo de investigación con los dos tipos de cal: aérea e hidráulica. Ellos pudieron diferenciarlos luego de hallar del índice de hidraulicidad de Vicat para cada muestra de cal. Determinaron la composición química de las cales a través del ensayo de Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X.

Tabla 2.14. *Composición química de la cal aérea.*

COMPUESTO	% EN PESO
CaO	87.32
SiO ₂	3.98
Al ₂ O ₃	1.42
MgO	0.60
Fe ₂ O ₃	1.07
PPC	4.13
Reactividad	351

Nota. Basado en “Evaluación experimental de unidades sílico-calcáreas a partir de escoria de alto horno y cal hidráulica para mampostería”. Ariel, N., Rojas, N., y Umbarila B., 2008, p.249

$$I = \frac{3.98 + 1.42 + 1.07}{87.32 + 0.6} = 0.07 \quad (2.64)$$

Según su índice de hidraulicidad se clasifica como una cal aérea (grasa y magra).

Tabla 2.15. *Composición química de cal hidráulica.*

COMPUESTO	% EN PESO
CaO	75.1
SiO ₂	10.2
Al ₂ O ₃	1.5
MgO	0.8
Fe ₂ O ₃	6.5
PPC	5.25
Reactividad	286

Nota. Basado en “Evaluación experimental de unidades sílico-calcáreas a partir de escoria de alto horno y cal hidráulica para mampostería”. Ariel, N., Rojas, N., y Umbarila B., 2008, p.249

$$I = \frac{10.2 + 1.5 + 6.5}{75.1 + 0.8} = 0.24 \quad (2.65)$$

Según su índice de hidraulicidad se clasifica como una cal medianamente hidráulica.

2.5.5. PROCESO DE PRODUCCIÓN

El proceso de producción de la cal consta de las siguientes etapas:

- **Extracción de la roca caliza:** Como la roca caliza es dura (dureza 3 en la escala de Mohs), generalmente se requieren explosivos para fragmentarla, en caso de ser necesario los fragmentos más grandes se someten a una trituración primaria para reducirlos al tamaño adecuado.
- **Cocción:** Esta etapa consiste en someter a la roca caliza previamente fragmentada a temperaturas que oscilan entre 100 y 1500°C, con lo cual se desprende el Dióxido de carbono y se obtiene la cal viva (CaO). El proceso implica un aumento de temperatura desde la ambiental hasta la temperatura de calcinación; después, se mantiene constante esta temperatura durante el lapso necesario para que la descomposición de toda la caliza se lleve a cabo. El efecto del calor sobre la roca caliza es: generalmente, el siguiente:

Hasta **100 °C**: se precalienta la roca.

De **100 °C a 450°C**: se evapora el agua higroscópica.

De **450°C a 800°C**: se disocian los carbonatos de magnesio y algunos carbonatos de calcio.

De **800°C a 900°C**: se disocian los carbonatos de calcio.

De **900°C a 1500°C**: aumenta la velocidad de disociación.

Posterior a **1500°C**: empieza a sobre quemar la caliza que está cerca de la fuente de calor.

Los hornos en los cuales se lleva al cabo esta operación pueden ser de diversos tipos, desde muy sencillos hasta muy complicados. Los hornos pueden ser: a) intermitentes o b) continuos. En los hornos intermitentes se realiza solo una quema a la vez y es necesario cargar la roca caliza, quemar y posteriormente descargar para dejar libre el horno para la siguiente hornada, mientras que en los hornos continuos la roca caliza se carga por un lado y por el otro se descarga la cal viva, todo en una operación más o menos continua.

- **Apagado**: La cal viva es muy inestable puesto que tiende a absorber agua hasta del medio ambiente, el material en estas condiciones resulta peligroso puesto que puede quitarle humedad a las plantas, los animales y cualquier ser vivo por simple contacto. Por esta razón la cal viva, de aspecto blanco es sometida al apagado o la hidratación con el objeto de obtener la cal hidratada o hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$, en el proceso se libera calor. El apagado que se practica en la industria varía desde apagado por riego o aspersion hasta el apagado por inyección de vapor de agua, cualquiera que sea el

método, el objetivo principal del proceso es no dejar ningún resto de cal viva sin hidratar, puesto que esto ocasionaría pérdida de consistencia en las mezclas de cal y daños posteriores, ya que la cal viva absorbe aproximadamente 3 veces su volumen de agua.

- **Molienda:** Como la cal se vende molida para facilitar su aplicación, el proceso tiene que ver con el costo de la misma puesto que un método de molienda refinado eleva el costo de la cal. El método más recurrido para la molienda es el que emplea martillos pulverizadores en un sistema rotatorio, posteriormente el material molido se separa mediante cribas, regresándose cíclicamente aquel material que no cumple con el grado de finura requerido.
- **Almacenaje y envasado:** Como muchos productos a granel, la cal se almacena en silos verticales y se envasa por gravedad en bolsas de papel reforzadas. Basado en Gonzalez, C., Gonzales, J., Rodríguez, M., y Salcedo, A. (2016).

2.5.6. USOS Y APLICACIONES

La cal tiene múltiples aplicaciones en diversos campos de la actividad productiva como:

A) INDUSTRIAS ESTRATÉGICAS:

- Siderurgia: Se emplea en la escarificación, desulfuración, desfosforización y la protección de los refractarios.

- Minería: Se utiliza como químico básico para recuperar metales como Cu, Pb, Zn, Ni, Ag, Au, se utiliza para controlar el pH, neutralizar y mantener atmósferas limpias como en la minería del carbón.
- Azúcar: La cal precipita impurezas minerales y orgánicas, mezcladas con el azúcar en el líquido extraído de la caña o remolacha.
- Papel: La función de la cal es fungir como agente caustificador, como elemento de cocción para disolver elementos no celulosos, como blanqueador de la pulpa, mejora la calidad del papel, regula la brillantez, color y textura.

B) EN LA ECOLOGÍA:

- Tratamiento de aguas industriales y municipales: Por ser alcalina es un poderoso desinfectante de bacteria y virus nocivos a la salud, suaviza y clarifica el agua, elimina sustancias negativas y neutraliza ácidos del agua, protegiendo las tuberías de la corrosión.
- Tratamiento de lodos: La estabilización con cal es un medio efectivo y económico para el tratamiento de lodos; el proceso comprende la adición de cal para lograr un pH igual o mayor de 12, obteniéndose una total reducción de olores y debido al alto pH se eliminan microorganismos y virus.
- Tratamiento de basura: Las bases y entre capas de los rellenos sanitarios, se tratan con cal para evitar que los lixiviados

contaminen el suelo y los mantos acuíferos. Las cantidades adecuadas, no suprime la biodegradación, pero sí evita la proliferación de organismos nocivos y los malos olores.

- Desulfuración de gases: Se emplea para abatir la contaminación del aire, mediante la eliminación de los óxidos de azufre de los gases de chimeneas donde se quema carbón o combustibles con alto contenido de azufre. La cal reacciona con el SO_3 y SO_2 formando sulfato de calcio y yeso.

C) EN LA AGRICULTURA:

La cal ayuda en el combate de algunos hongos, bacterias, nematodos e insectos que dañan las cosechas. También sirve para neutralizar la acidez de los suelos, suministra calcio que es nutriente esencial en las plantas e incrementa la disponibilidad de fósforo.

D) EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN:

- En morteros de albañilería: Posibilita mayores resistencias, mejor adherencia y ayuda a las construcciones a ser térmicas e impermeables.
- Para impermeabilizar: Sus propiedades de absorción y retención de agua y por estar formadas por pequeñísimas partículas penetra mejor en todos los vacíos de tal manera que evita el paso del agua.
- En pintura: Se puede elaborar una pintura a base de cal, sal de cocina y alumbre. Los resultados son notorios en cuanto a costos

de esta elaboración se logra una pintura que se incorpora como ninguna otra a la superficie, es higiénica, de apariencia atractiva y durable.

- Estabilización de suelos: la cal es el estabilizador de suelos más utilizado por su versatilidad en su manejo, aplicación y bajo costo. Un suelo tratado con cal modifica las propiedades físicas del suelo de manera permanente, disminuye el índice plástico y la contracción lineal y la resistencia a la compresión.
- En mezclas asfálticas: Con frecuencia se utiliza cal hidratada en las mezclas calientes de asfalto, la cual funciona como un agente antidesgarramiento, rellenedor y modificador. Además, reduce la sensibilidad hacia la humedad, también incrementa el endurecimiento inicial, contribuyendo de esta manera a minimizar las marcas de las rodadas y reducir el envejecimiento prematuro del asfalto (evita la oxidación).

2.6. CENIZAS DE HOJAS DE CAÑA DE AZÚCAR

2.6.1. CARACTERÍSTICAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Para Rein (2012), la caña de azúcar es una planta herbácea de gran tamaño que se cultiva en países tropicales y subtropicales. Es un híbrido complejo de varias especies, derivadas principalmente del *Saccharum officinarum* y otras especies de *Saccharum*. La caña se propaga vegetativamente sembrando trozos de sus tallos. La nueva planta o retoño crece a partir de los cogollos o yemas de los nudos del tallo, asegurando así una descendencia uniforme.

La producción de caña varía significativamente de un área a otra, dependiendo de la variedad, utilizando factores climáticos, disponibilidad de agua, prácticas de cultivo y la duración del periodo de crecimiento. La caña producida puede estar entre 50 t/ha bajo condiciones desfavorables y cifras próximas a 200t/ha bajo condiciones excepcionales con largos periodos de crecimiento. La producción del azúcar varía de 5 a 25t/ha.

Generalmente no se requiere volver a sembrar caña luego de cada cosecha, sino que se deja crecer de nuevo para producir una siguiente cosecha, denominada soca o rebrote. La producción de caña se reduce después de varias socas, llegando a un punto en que se debe arar y sembrar caña nuevamente, lo que se conoce como renovación.

El principal objetivo al procesar la caña es recobrar el azúcar, que en su estado puro se conoce con el nombre químico de sacarosa. La sacarosa se forma en la planta a través de un proceso complejo que esencialmente

consiste en la combinación de dos azúcares monosacáridos, fructuosa y glucosa.

2.6.2. TAXONOMÍA DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Según Osorio (2007), la caña de azúcar se ubica en la siguiente clasificación botánica:

Reino: Vegetal

Tipo: Fanerógamas

Subtipo: Angiospermas

Clase: Monocotiledóneas

Orden: Glumales

Familia: Gramíneas

Tribu: Andropogoneas

Género: Saccharum

Especies: Spontaneum y robustum (silvestres), edule, barberi, sinense y officinarum (domesticadas).

2.6.3. MORFOLOGÍA DE LA CAÑA DE AZÚCAR

El conocimiento de la morfología de la planta permite diferenciar y reconocer las especies y variedades existentes; también, relacionarlas con comportamientos en rendimientos y adaptabilidad. Las partes básicas de la estructura de una planta, que determinan su forma, son: la raíz, el tallo, las hojas y la flor.

A) SISTEMA RADICAL

Constituye la parte subterránea del eje de la planta; es el órgano sostén y el medio para la absorción de nutrientes y agua del suelo. En la planta de caña se distinguen dos tipos de raíces, como se muestra en la figura 2.26.

- Raíces primordiales: corresponden a las raíces de la estaca original de siembra; son delgadas, muy ramificadas y su período de vida llega hasta los tres meses de edad.
- Raíces permanentes: brotan de los anillos de crecimiento de los nuevos brotes, son numerosas, gruesas, de rápido crecimiento y su proliferación avanza con el desarrollo de la planta. Su cantidad, longitud y edad dependen de la variedad y de las condiciones de suelo y humedad. La raíz de la caña es fasciculada.

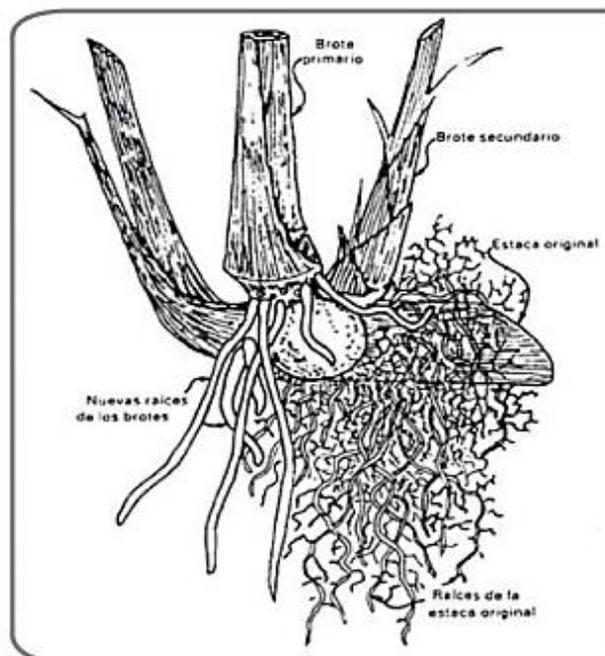


Figura 2.26. Sistema radicular de la caña de azúcar. Basado en Osorio (2007).

B) EL TALLO

Es el órgano más importante de la planta de la caña, puesto que allí se almacenan los azúcares; el número, el diámetro, el color y el hábito de crecimiento dependen de la variedad. La longitud de los tallos, en gran parte depende de las condiciones ambientales de la zona y del manejo que se le dé a la variedad. Los tallos pueden ser primarios, secundarios o terciarios. Las partes constitutivas del tallo se presentan en la figura 2.27 y sus componentes morfológicos en la figura 2.30.

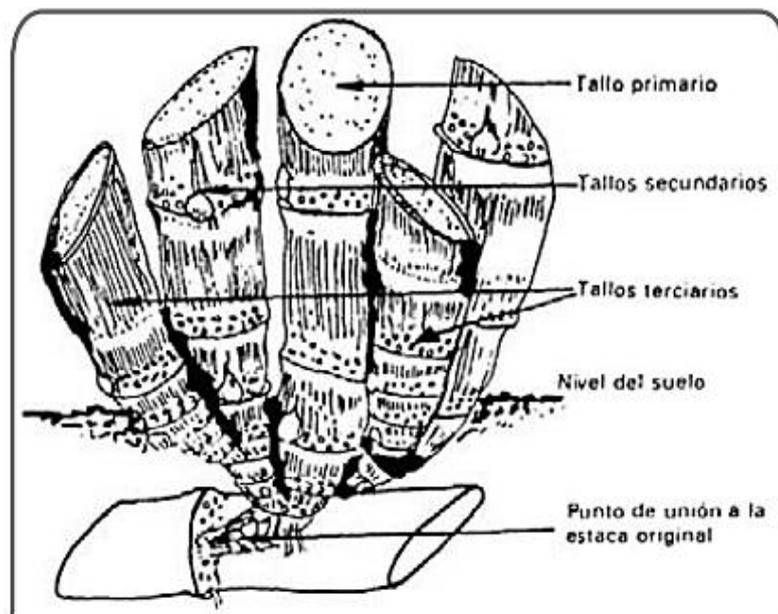


Figura 2.27. Tallos de la caña y su diferenciación. Basado en Osorio (2007).

- El nudo: Es la porción dura y más fibrosa del tallo que separa dos entrenudos vecinos. El nudo, a su vez, se encuentra conformado por el anillo de crecimiento, la banda de raíces, la cicatriz foliar, el nudo propiamente dicho, la yema y el anillo ceroso. La forma de

la yema y su pubescencia son diferentes en cada variedad y, por tanto, muy usados para su identificación (figura 2.28).

- El entrenudo: Es la porción del tallo localizada entre dos nudos. El diámetro, el color, la forma y la longitud cambian con la variedad. El color es regulado por factores genéticos, cuya expresión puede ser influenciada por condiciones del medio ambiente. Sus formas más comunes son cilíndrico, abarrilado, constreñido, coneiforme y curvado (figura 2.29).

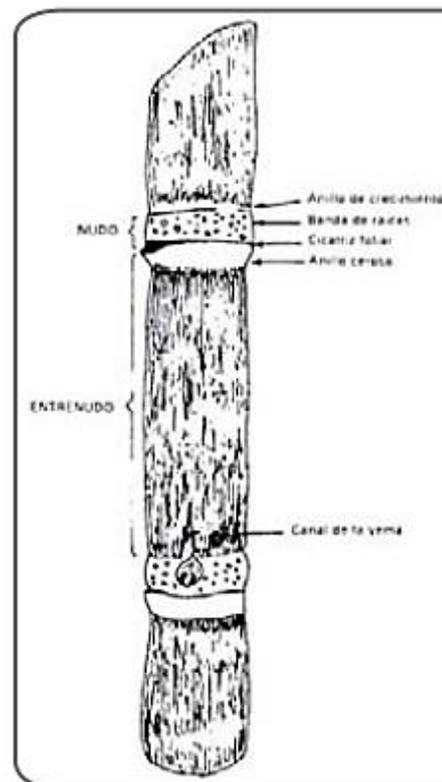


Figura 2.28. Nudo y entrenudo. Partes principales del tallo de la caña de azúcar. Basado en Osorio (2007).

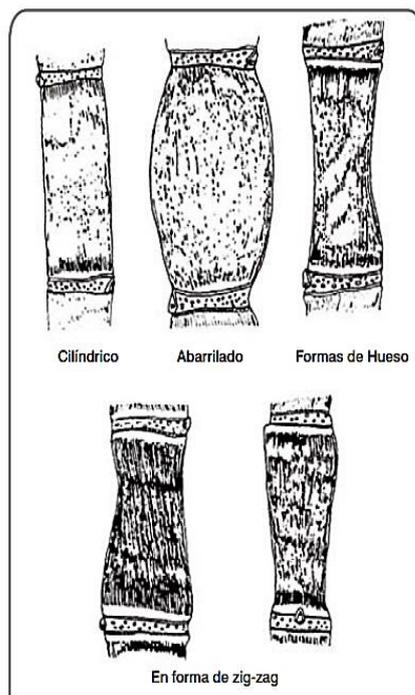


Figura 2.29. Formas del entrenudo. Basado en Osorio (2007).

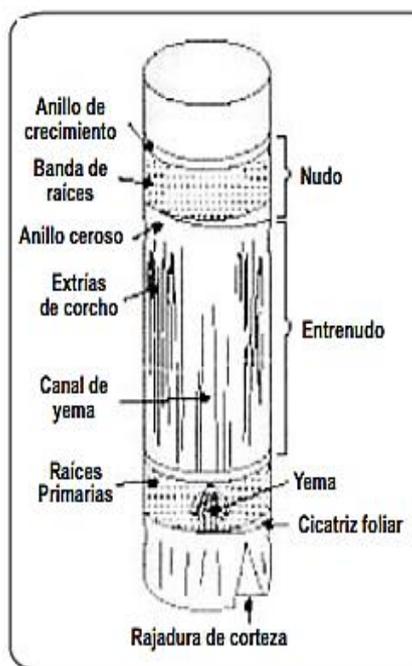


Figura 2.30. Componentes morfológicos que identifican el nudo y el entrenudo del tallo. Basado en Osorio (2007).

C) HOJA

Se origina en los nudos y se distribuye en posiciones alternas a lo largo del tallo. Cada hoja está formada por la lámina foliar y por la vaina y la yagua. La unión entre estas dos partes se conoce con el nombre de lígula, en cuyo extremo existe una aurícula con pubescencia variable.

- Lámina foliar: Es la parte más importante para el proceso de fotosíntesis, su disposición en la planta difiere con las variedades. La lámina foliar es recorrida en toda su longitud por la nervadura central y los bordes presentan protuberancias en forma aserrada. El color de las hojas, dependiendo de la variedad, puede variar desde verde claro a verde más oscuro. La longitud y el ancho también dependen de la variedad.
- Yagua o vaina: Es de forma tubular, envuelve el tallo y es más ancha en la base. Puede tener presencia o ausencia de pelos urticantes en cantidad y longitud que cambian con las variedades.

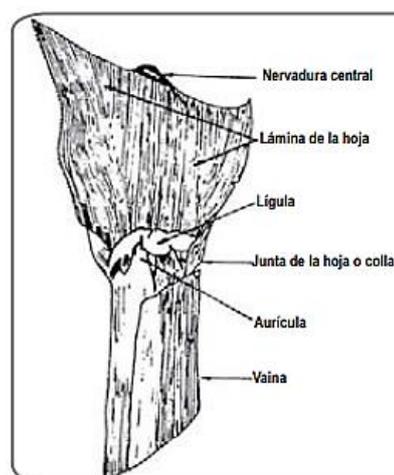


Figura 2. 31. Partes de la hoja de la caña. Basado en Osorio (2007).

D) LA FLOR

Es una inflorescencia en panícula sedosa en forma de espiga. Las espiguillas dispuestas a lo largo de un raquis contienen una flor hermafrodita con tres anteras y un ovario con dos estigmas. Cada flor está rodeada de pubescencias largas que le dan a la inflorescencia un aspecto sedoso (figura 2.32). La floración ocurre cuando las condiciones ambientales de fotoperiodo, temperatura y disponibilidad de agua y niveles de nutrientes en el suelo son favorables. Osorio (2007).

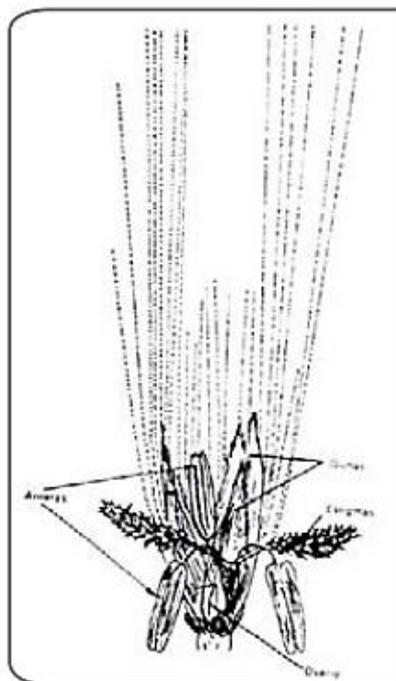


Figura 2.32. Flor de la caña de azúcar. Basado en Osorio (2007).

2.6.4. COMPOSICIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR

La composición de la caña de azúcar en su estado natural se muestra en la tabla 2.16, donde se puede apreciar que los residuos constituyen alrededor del 30 %, de ahí la importancia de su utilización. La paja está constituida por la vaina y la hoja seca. Su composición química en estado natural se muestra en la tabla 2.17.

Tabla 2.16. *Composición de la caña en la plantación*

COMPONENTE	CONTENIDO (%)
Cogollo y hojas verdes	8.44
Vainas y hojas secas (paja)	19.74
Tallos limpios	71.82

Nota. Adaptado de “La industria de los derivados de la caña de azúcar”.
ICIDCA, 1986, p. 131.

Tabla 2.17. *Composición química de la paja en estado natural*

COMPONENTE	PAJA INTEGRAL (%)
Celulosa	45.13
Lignina	14.11
Pentosanos	25.56
Cenizas	8.03
Humedad	9.67

Nota. Adaptado de “La industria de los derivados de la caña de azúcar”.
ICIDCA, 1986, p. 133.

2.6.5. SISTEMAS DE COSECHA DE LA CAÑA DE AZÚCAR

La cosecha es una de las etapas de mayor importancia en la producción de caña de azúcar. Su objetivo es recolectar la materia prima disponible en el campo con mínimas pérdidas y una alta eficiencia, garantizando el suministro de caña oportuno y en cantidad suficiente a la fábrica, con el menor tiempo entre cosecha y molienda, con bajos niveles de materias extrañas (especialmente de hojas, despunte y tierra) y con los menores costos, todo esto con el propósito de obtener azúcar de alta calidad y a precios competitivos. La edad para la cosecha depende del manejo, las condiciones climáticas y la variedad en el tiempo, pudiendo ser entre los 14 y 18 meses. Una cosecha adecuada debe asegurar que:

- La caña sea cosechada en su máximo estado de madurez, evitando cortar caña sobre madura o inmadura.
- El corte de la caña debe ser hasta el suelo, para cosechar los entrenudos inferiores ricos en azúcar, aumentando la producción y el rendimiento de azúcar.
- El despunte o desmoche debe hacerse a una altura adecuada para eliminar los entrenudos superiores inmaduros.
- La caña debe estar limpia, removiendo los cuerpos extraños, tales como hojas, basura, raíces, etc.
- La caña cosechada debe enviarse rápidamente al ingenio. (Portal Netafim)

2.6.5.1. COSECHA MANUAL

Es el sistema de cosecha en donde el conjunto de operaciones de corte y alza se realizan manualmente. La operación de transporte se lleva a cabo por medio de carreta tiradas por animales, tractores con remolques o en camiones. En algunas zonas la cosecha todavía se realiza de forma manual, utilizando diversos tipos de instrumentos, fundamentalmente el machete o la mocha.

La cosecha manual requiere de obreros con altas habilidades, ya que una cosecha inadecuada trae consigo pérdidas tanto de caña como de azúcar, dando un jugo de mala calidad y causando problemas en la planta procesadora para retirar los cuerpos extraños de la misma.

Los pasos básicos de la cosecha manual son: el corte del tallo, la separación del cogollo, la limpieza del tallo, el trozado del tallo, la formación del bulto en la superficie del suelo y la carga del bulto en el medio de transporte. Rodríguez (2008).

Existen dos tipos de corte manual: corte quemado y corte en verde.

El corte de caña quemada se hace por parte de los corteros que utilizan dos pases, uno para cortar la base de la caña y otro para cortar el cogollo. La caña es luego colocada en chorras o montones alineados para que luego sea alzada con uñas

mecánicas. Un cortero en promedio puede procesar del orden de 5 a 6 t/día.

El corte de caña en verde puede ser sucio o limpio. El corte verde sucio utiliza tres pases, el adicional quita algo de hojas. Se arruma de igual forma a la caña quemada. El corte verde limpio, tiene por lo menos dos pases de limpieza para asegurar que se remuevan todas las hojas. Por el trabajo adicional que requiere, los corteros solamente obtienen un rendimiento de 2 a 3 t/día. Madriñán (2002).

2.6.5.2. COSECHA MECÁNICA

La Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (2009), indica que la cosecha totalmente mecanizada cuenta con modernas máquinas que operan con equipos autovolcables (8 a 12 toneladas) para el trasbordo de la materia prima a unidades de transporte de alta capacidad de carga, traccionados por tractores y/o camiones, según la distancia a la fábrica. En otros casos, la cosechadora carga directamente sobre el equipo de transporte, evitando el costo del autovuelco, pero con mayor riesgo de daño sobre el cañaveral.

La expansión de este sistema estuvo fuertemente asociada a la sustancial reducción del costo de cosecha y su significativo efecto en la rentabilidad del cultivo. Las ventajas operativas de las cosechadoras disponibles permiten una mejor planificación y organización de la zafra, una operación más eficiente de cosecha

y una entrega adecuada de caña al ingenio, además de contribuir a la mejora de la calidad de la materia prima y una menor pérdida de azúcar por el hecho de procesar caña fresca. También es importante destacar que las nuevas cosechadoras son capaces de dejar una mínima cantidad de caña en el campo y se evidencian mejoras en la eficiencia y costo del transporte, ya que la caña en trozos ocupa menos espacio que la caña larga y por lo tanto se incrementa la capacidad de carga de los equipos de transporte.

La alternativa de cosechar la caña en verde, permite reducir los efectos negativos de la quema sobre el medio ambiente. El sistema de limpieza de las cosechadoras modernas está capacitado para obtener una baja cantidad de materias extrañas aun operando sobre cañaverales no quemados previamente. Otra ventaja operativa radica en los costos, en este sentido es de esperar que el costo de mano de obra se incremente con los años, y con ello se incrementa la diferencia de los costos totales de ambos sistemas.

Entre las desventajas de la cosecha integral, se puede señalar que, por las características de los equipos que participan en las operaciones de cosecha, existen mayores posibilidades de afectar los cañaverales, aumentando los problemas de compactación, los riesgos de daño a las cepas y la probabilidad de una menor longevidad del cañaveral. Asimismo, este sistema tiene mayores exigencias en cuanto a las dimensiones y a la

sistematización de los campos que el sistema semimecánico, surgiendo limitaciones para el uso de las cosechadoras en campos pequeños, de dimensiones irregulares, cañaverales dispersos y en lotes de relieve accidentado o pendientes elevadas.

2.6.6. LA ACTIVIDAD DE LA QUEMA DE CAÑA DE AZÚCAR

Más del 50% de la caña de azúcar alrededor del mundo se quema antes de la cosecha. La práctica de quemar caña es vista como un camino eficaz para mantener productividades elevadas del cortador manual y de las cosechadoras mecánicas y entregar caña limpia a las fábricas. Adicionalmente, la quema elimina el problema de dejar grandes cantidades de residuos en los campos, que retrasan el crecimiento de la caña en las áreas de cultivo más frías, conduciendo a una reducción de la producción por hectárea. Sin embargo, hay muchas desventajas asociadas con la quema, que incluyen contaminación atmosférica y pérdida de agua y suelo. Rein (2012).

Chaves y Bermúdez (2006), identifican como ventajas y necesidades justificantes para efectuar la quema de las plantaciones comerciales de caña de azúcar, las siguientes:

- Facilita la corta de los tallos
- Facilita la cosecha de variedades difíciles
- Agiliza la cosecha de la plantación
- Incrementa el rendimiento de los cortadores

- Elimina materia extraña o basura
- Mejora la calidad física de la materia prima
- Favorece la cosecha mecánica
- Necesaria ante falta de mano de obra calificada
- Necesaria en condiciones de cosecha difícil
- Reduce los accidentes laborales
- Elimina la presencia de malezas
- Reduce los costos de producción agrícola
- Facilita la aplicación del riego
- Elimina plagas dañinas
- Incorpora nutrimentos esenciales al suelo.

Complementariamente se han también identificado y enumerado una buena cantidad de limitantes y desventajas, que obligan a criterio de muchos defensores proceder de inmediato con la eliminación y prohibición de la quema como práctica agrícola:

- Afecta la biodiversidad y el ecosistema
- Genera gases con efecto invernadero
- Disminuye la Fertilidad Natural del Suelo
- Destruye la Actividad Microbiológica del Suelo
- Ocasiona trastornos a la salud
- Práctica peligrosa y de alto riesgo
- Favorece la erosión del suelo
- Liberación de cenizas afecta las poblaciones
- Favorece la presencia de plagas problemáticas

- Favorece el crecimiento de malezas
- Puede afectar otras actividades productivas
- Favorece la pérdida de humedad en el suelo
- Aumenta el deterioro de la materia prima
- Introduce impurezas al ingenio
- Afecta la calidad industrial de la materia prima
- Aumenta los costos de procesamiento industrial
- Induce la pérdida de nutrimentos esenciales
- Afecta el turismo y el paisaje
- Limita y pone en peligro el tránsito en las carreteras.

2.6.7. VALORIZACIÓN PUZOLÁNICA DE LA CENIZA DE HOJAS DE CAÑA DE AZÚCAR

Varios residuos de la industria y la agricultura han demostrado tener propiedades puzolánicas, entre ellos las Cenizas Volantes de Carbón (PFA) desechadas en plantas generadoras de energía, y las Cenizas de Cascarrilla de Arroz (RHA). Hay estudios recientes que demuestran que los desechos agrícolas e industriales de la industria azucarera, principalmente las Cenizas de Bagazo de Caña (CBC), y las Cenizas de Paja de Caña (CPC) tienen actividad puzolánica, debido al alto contenido de sílice (SiO_2) presente en estos materiales.

En los residuos agrícolas combustionados, con propiedades puzolánicas reconocidas, la actividad puzolánica depende principalmente de la temperatura de combustión, que debe oscilar entre 400 °C-800 °C para evitar la formación de fases cristalinas de sílice producto de las altas

temperaturas en la combustión. Las cenizas producidas bajo estas condiciones son consideradas de buena calidad.

Las cenizas de bagazo y paja de caña de azúcar, obtenidas en forma inalterada directamente de las calderas de la fábrica de azúcar, y de la quema incontrolada en el campo, representan una interesante fuente de puzolana reactiva, con potencialidad de ser usada en la preparación de aglomerantes del tipo cal/puzolana.

Una demostración de la composición química de las cenizas fue determinada por medio de las técnicas de Fluorescencia de Rayos X, gracias a la colaboración entre la Universidad de la Villas y la Universidad Ghkassel en Alemania, desarrollada por los investigadores Martirena, Betancourt, Middendorf, Rubio, Martínez, Machado, y González (2000).

Los resultados se muestran en la tabla 2.18. Las muestras empleadas para la ejecución de ensayos tuvieron que ser requemadas con el objetivo de eliminar sustancias no deseadas, como, por ejemplo, el carbón, y materia orgánica sin combustionar. Los estudios confirmaron que las cenizas contienen un elevado contenido de sílice (SiO_2), alúmina (Al_2O_3) y óxido férrico (Fe_2O_3), en condiciones tales que satisfacen las exigencias de las regulaciones internacionales.

Los aglomerantes tipo cal/puzolana se han convertido recientemente en una atractiva alternativa para la construcción social en países en vías de desarrollo. Estudios recientes demuestran que los desechos agrícolas e industriales de la industria azucarera, principalmente las cenizas de bagazo de caña (CBC) y las cenizas de paja de caña (CPC), tienen

actividad puzolánica debido al alto contenido de sílice presente en estos materiales.

Tabla 2.18. *Composición química de la ceniza de hoja de caña.*

Componente / Component	%
K ₂ O	3.00
Na ₂ O	0.11
CaO	6.00
MgO	2.00
Al ₂ O ₃	0.60
SiO ₂	81.0
Fe ₂ O ₃	0.70
TiO ₂	0.04
P ₂ O ₅	1.10
SO ₃	1.40
MnO	0.08
ZnO	0.03
PPI 110 °C a 1100 °C	4.00

Nota. Adaptado de “Valoración puzolánica de la hoja de la caña de azúcar. Guzmán, A., Gutiérrez, C., Amigó, V., Mejía, R., y Delvasto, S., 2011, p. 218.

Los aglomerantes cal-puzolana tienen su origen reconocido en las construcciones hechas por los romanos. Hoy día se conservan aún las ruinas de los grandes edificios construidos con este material. Las puzolanas son materiales silíceos o alumino-silíceos que por sí solos poseen poco o ningún valor cementante, pero cuando se han dividido finamente y están en presencia de agua reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos con propiedades cementantes. En el caso de las puzolanas obtenidas como desechos de la agricultura (cenizas de la paja de caña de azúcar y el arroz), la forma más viable de mejorar sus propiedades es realizar una quema controlada en incineradores rústicos, donde se controla la temperatura de combustión y el tiempo de residencia del material.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

- Según su naturaleza: Experimental
- Según su propósito: Aplicativa

3.2. UNIVERSO, POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. UNIVERSO

El universo de nuestra investigación abarca a todos los suelos arenosos de la ciudad de Nuevo Chimbote.

3.2.2. POBLACIÓN

Se ha considerado como población al suelo arenoso perteneciente al Campus I de la Universidad Nacional del Santa, ubicada en la urbanización Bellamar en la ciudad de Nuevo Chimbote.

3.2.3. MUESTRA

El tipo de muestreo corresponde a uno no probabilístico por conveniencia, debido a que no se seleccionó la cantidad puntos de estudio mediante un criterio estadístico, sino se escogieron tomando en cuenta el tiempo-costo que conllevaría la investigación. Por esta razón, se han considerado dos (02) calicatas dentro de la zona especificada anteriormente.

Cuadro 3.1. Ubicación de calicatas

CALICATA N°	UBICACIÓN	PROFUNDIDAD EXCAVADA
C - 01	773341.85 m E 8990684.28 m S	1.50 m
C - 02	773443.05 m E 8990595.06 m S	1.50 m



Figura 3.1. Ubicación de calicatas. Obtenido de Google Earth (2018).

3.3. VARIABLES

3.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

- Cal
- Cenizas de hojas de caña de azúcar

3.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE

- Propiedades mecánicas de arenas

3.4. MATERIALES INVESTIGADOS

3.4.1. SUELO ARENOSO

La arena utilizada en este estudio pertenece a las muestras obtenidas de las calicatas antes mencionadas. Aproximadamente se obtuvo 150kg de muestra de suelo arenoso por cada calicata, para poder realizar los ensayos en laboratorio.

Las muestras de suelo, a simple vista, presentaban características similares en cuanto a su granulometría y color; por lo que se pudo deducir que se trata de un mismo tipo de suelo arenoso. Más tarde, esta premisa se pudo comprobar haciendo los ensayos respectivos, pudiendo clasificar a las muestras de suelo, según la clasificación SUCS, en una arena mal graduada con limos (SPSM).

3.4.2. CAL

La cal que se utilizó para la presente investigación fue una cal de construcción, comercializada en bolsas de 6kg en las diferentes ferreterías de la ciudad de Nuevo Chimbote. Esta cal, según la información obtenida, es traída por proveedores desde el distrito de Ranrahirca, provincia de Yungay, departamento de Ancash. Ranrahirca se caracteriza por su sector minero, donde pequeñas empresas se dedican a la explotación y proceso del yeso, cal y explotación de la piedra de carbón. La cantidad de cal utilizada fue aproximadamente 12kg.

3.4.3. CENIZAS DE HOJAS DE CAÑA DE AZÚCAR

La recolección de cenizas de hojas de caña de azúcar se hizo en las

chacras de los centros poblados Cerro Blanco y San Jacinto, en el distrito de Nepeña. Previamente a la recolección, se tuvo que coordinar con el capataz de turno el día de la quema de caña de azúcar, para poder regresar a la mañana siguiente y obtener la ceniza. Aproximadamente se recolectaron unos 80kg de cenizas de hojas de caña de azúcar. Ya en laboratorio, y luego de un proceso de tamizado, se obtuvo como cantidad neta de ceniza unos 60kg.

Las cenizas utilizadas presentan un color negro, debido a que la temperatura de quema no es controlada. Fueron almacenadas en bidones, de tal manera que conserven su humedad y no sean contaminadas por otros agentes.

3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el análisis del mejoramiento de las propiedades mecánicas de suelos arenosos cuando se lo estabiliza con cenizas de hojas de caña de azúcar y cal, se realizaron pruebas de compactación (Proctor Estándar) y ensayos de Corte Directo para determinar los parámetros mecánicos de ángulo de fricción y cohesión.

Además del suelo natural, se consideraron mezclas conformadas por el suelo, la cal y las cenizas de hojas de caña de azúcar en proporciones distintas. Los porcentajes de cal fueron de 2%, 4% y 6% del peso de la mezcla total; mientras que los porcentajes de cenizas, entre 5%, 10%, 15% y 20% del peso de la mezcla total. Estas proporciones están basadas según la bibliografía revisada.

A partir de la combinación de las dosificaciones de los materiales, se obtuvieron 20 tipos de mezclas, las cuales se realizarán tanto para las arenas de la calicata C-01 y C-02.

Cuadro 3.2. *Proporción de mezclas*

N° DE MEZCLA	SÍMBOLO	% CONTENIDO		
		SUELO	CAL	CENIZA
1	Ca0Ce0	100	0	0
2	Ca0Ce5	95	0	5
3	Ca0Ce10	90	0	10
4	Ca0Ce15	85	0	15
5	Ca0Ce20	80	0	20
6	Ca2Ce0	98	2	0
7	Ca2Ce5	93	2	5
8	Ca2Ce10	88	2	10
9	Ca2Ce15	83	2	15
10	Ca2Ce20	78	2	20
11	Ca4Ce0	96	4	0
12	Ca4Ce5	91	4	5
13	Ca4Ce10	86	4	10
14	Ca4Ce15	81	4	15
15	Ca4Ce20	76	4	20
16	Ca6Ce0	94	6	0
17	Ca6Ce5	89	6	5
18	Ca6Ce10	84	6	10
19	Ca6Ce15	79	6	15
20	Ca6Ce20	74	6	20

Para que se origine la reacción química entre los materiales utilizados, es necesario utilizar en la mezcla cierta cantidad de agua. Esta cantidad viene a ser el óptimo contenido de humedad de la mezcla, obtenido a través del ensayo de compactación Proctor Estándar. Una vez teniendo las dosificaciones completas, tanto de suelo, cal, ceniza y agua, se remoldean las muestras y se procede al ensayo de Corte Directo.

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

La recolección de datos se realizó a través de ensayos de campo y de laboratorio. Estos permitieron, mediante la medición directa e indirecta de los resultados, identificar el tipo de suelo en el sistema SUCS, así como sus propiedades físicas (densidad, contenido de humedad, índice de plasticidad) y mecánicas (máxima densidad seca, cohesión y ángulo de fricción), tanto del suelo en estado natural como la de las mezclas realizadas. En cuanto a la cal y cenizas de hojas de caña de azúcar, se realizó un análisis químico de ambas para conocer a fondo las propiedades que poseen.

Los ensayos de campo consistieron en:

- Muestreo de suelos y rocas (MTC E 101).
- Ensayo para determinar la densidad y peso unitario del suelo in situ mediante el método del cono de arena (MTC E 117).

Los ensayos de laboratorio están conformados por:

- Análisis químico de cal y ceniza mediante Fluorescencia de Rayos X.
- Obtención en laboratorio de muestras representativas “cuarteo” (MTC E 105).
- Análisis granulométrico de suelos por tamizado (MTC E 107).
- Determinación del contenido de humedad de un suelo (MTC E 108).
- Determinación del límite líquido de los suelos (MTC E 110).
- Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.) (MTC E 111).

- Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía estándar (Proctor Estándar) (MTC E 116).
- Ensayo de corte directo (MTC E 123).

3.6.1. TRABAJOS EJECUTADOS EN CAMPO

Los trabajos en campo se enfocaron fundamentalmente en la toma de muestras de suelo para la realización de los distintos ensayos en laboratorio. Para esto, se realizaron 02 calicatas a cielo abierto excavadas manualmente hasta una profundidad de 1.50m. Ver Cuadro 3.1.

3.6.1.1. CALICATAS

a) Equipos y materiales

- 02 palanas
- 01 wincha de 5.00m
- 01 varilla
- 01 balde
- Sacos para recolección.

b) Procedimiento

- Se ubicó el punto donde se realizará la excavación.
- Se demarcó el área en planta de excavación, siendo esta una sección de 1.00 m x 1.50 m aproximadamente.
- Se hizo una limpieza superficial.
- Se comenzó con la excavación de la calicata hasta llegar a una profundidad de 1.50m.
- Se introdujo una varilla y con ayuda de una wincha se iba midiendo la profundidad de excavación.

- Una vez que se llegó a los 1.50m de profundidad, se extrajo la cantidad de suelo necesaria, almacenada en sacos.

Es importante mencionar que antes de empezar a extraer la muestra de suelo, a una profundidad de 1.50m, se obtuvo la densidad natural del suelo a través el método del cono de arena. (MTC E 117).

3.6.1.2. DENSIDAD NATURAL DEL SUELO

a) Equipos y materiales

- Equipo de densidad de campo (cono metálico, arena calibrada, placa metálica hueca)
- 01 cuchara metálica
- 01 balanza eléctrica con aprox. 1gr
- Taras
- 01 brocha

b) Procedimiento

- El ensayo se hizo en la calicata excavada a una profundidad de 1.50m.
- Se limpió y niveló la superficie donde se realizará la prueba con ayuda de la placa metálica.
- Una vez fijada la placa metálica hueca y con ayuda de una cuchara se excava el suelo hasta una profundidad de 5cm. El suelo excavado se colocó en un recipiente para su posterior medida.

- Se asentó el embudo metálico del cono (lleno de arena calibrada) en el hueco del plato base, se abrió la válvula y se dejó caer la arena hasta que lo llene, inmediatamente se cerró la válvula.
- Se determinó el peso del cono con la arena calibrada sobrante, calculando así el peso de la arena calibrada que se utilizó para llenar el hueco. Con estos datos se obtiene el volumen del agujero.
- Teniendo el peso del suelo excavado y volumen del agujero, se obtiene la densidad natural del suelo.
- Se recogió una muestra representativa para la determinación del contenido de humedad del suelo.

3.6.2. TRABAJOS EN LABORATORIO

Una vez extraídas las muestras de suelo, de las calicatas establecidas, fueron llevadas a laboratorio para determinar sus características físico-mecánicas, mediante los ensayos estándar de laboratorio. Los ensayos, tanto al suelo en estado natural como a las mezclas, se realizaron en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Nacional del Santa, bajo las normas de la American Society for Testing and Materiales (ASTM) y del Manual de Ensayo de materiales 2000 (MTC). En cuanto a los otros materiales de investigación, la cal y cenizas de hojas de caña de azúcar, pasaron por un análisis químico para determinar su composición a través de un ensayo de Fluorescencia de Rayos X. Este ensayo se mandó a realizar al laboratorio de análisis químico, consultoría e investigación

LABICER, laboratorio n°12, de la Universidad Nacional de Ingeniería, en la ciudad de Lima.

3.6.2.1. FLUORESCENCIA DE RAYOS X

El ensayo de fluorescencia de rayos X (FRX) es una técnica analítica instrumental no destructiva que determina cualitativa y cuantitativamente la composición elemental de una sustancia, generalmente sólida, al ser expuesta a una radiación de rayos X. El análisis cualitativo se obtiene a partir de la energía característica, o su longitud de onda, de la radiación de fluorescencia de rayos X emitida. El análisis cuantitativo se obtiene por conteo de los rayos X para una longitud de onda determinada. Los contenidos elementales son contenidos totales, sin distinción de estados de oxidación.

Un espectrómetro de FRX consta de tres partes fundamentales: la fuente que genera los rayos X (un tubo o una fuente radiactiva), un detector que convierte los rayos X emitidos por la muestra en una señal electrónica susceptible de ser medida; y una unidad de procesamiento que registra la señal y calcula la concentración elemental en la muestra.

Para esta investigación, se determinó la composición química de la cal y cenizas de hojas de caña de azúcar a través de este ensayo, el cual estuvo a cargo del laboratorio de análisis químico, consultoría e investigación de la Universidad Nacional de Ingeniería en Lima. Se llevó al laboratorio 10gr de cada material

en estado pulverizado y limpio, sellados en bolsas herméticas.

Luego de 5 días hábiles se recogieron los resultados.

3.6.2.2. OBTENCIÓN EN LABORATORIO DE MUESTRAS REPRESENTATIVAS (CUARTEO)

a) Equipos y materiales

- 01 cucharón metálico
- 01 regla de 60cm
- 01 mortero
- 01 brocha

b) Procedimiento

- Se colocó la muestra sobre una superficie dura, limpia y horizontal evitando cualquier pérdida de material o adición de sustancias extrañas.
- Se desmenuzó el material, deshaciendo los terrones utilizando el mortero.
- Con ayuda del cucharón, se mezcló hasta formar una pila en forma de cono, repitiendo esta operación unas cuatro veces. Cada palada tomada de la base se depositó en la parte superior del cono, de modo que el material caía uniformemente por los lados.
- Se aplanó y extendió la pila cónica hasta darle una base circular, presionando hacia abajo con el cucharón, de tal manera que cada cuarto del sector contenga el material original.

- Se procedió a dividir diametralmente en cuatro partes iguales, de las cuales se separaron dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino limpiando con una brocha. Los dos cuartos restantes se mezclaron sucesivamente y se repitió la operación hasta obtener la cantidad de muestra requerida.

3.6.2.3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

a) Equipos y materiales

- Juego de tamices de malla cuadrada (N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100, N° 200, fondo y tapa)
- Máquina tamizadora
- 01 balanza eléctrica con aprox. 1gr
- 01 balanza eléctrica con aprox. 0.01gr
- Recipientes de aluminio
- 01 cucharón metálico
- 01 cepillo
- Horno eléctrico a temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).

b) Procedimiento

- Primero se obtuvo la muestra a través del cuarteo, aproximadamente 1kg.
- Se preparó la muestra, lavándola y luego secándola en el horno eléctrico, para determinar su contenido de finos.
- Se seleccionaron los tamaños adecuados de tamices

para proporcionar la información requerida (los más gruesos arriba y finos abajo, ordenadamente) y se colocaron en la máquina tamizadora.

- Se echó la muestra al juego de tamices y se puso a funcionar la máquina tamizadora.
- Luego de 10min de tamizado, se retiraron los tamices y se empezó a pesar el material del mayor tamiz en la balanza eléctrica.
- Se repitió el procedimiento con los sucesivos tamices más pequeños. Los tamices más finos se invirtieron sobre un recipiente y se limpió con un cepillo.

3.6.2.4. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

a) Equipos y materiales

- 01 balanza eléctrica con aprox. 0.01gr
- Recipientes de aluminio (taras)
- 01 espátula
- Horno eléctrico a temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).

b) Procedimiento

- La determinación del contenido de humedad se realizó tan pronto como fue posible después del muestreo.
- Se pesaron y registraron el peso de las taras.
- Se pesaron las taras con las muestras húmedas

representativas y se colocaron en el horno eléctrico hasta secarlas (aproximadamente 24h).

- Una vez secas las muestras, se sacan del horno y se vuelven a pesar, obteniendo así el contenido de humedad.

3.6.2.5. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS

a) Equipos y materiales

- Tamiz N° 40
- Copa de Casagrande
- Herramienta ranuradora curva
- 01 espátula
- 01 balanza eléctrica con aprox. 0.01gr
- Recipientes de aluminio (taras)
- Horno eléctrico a temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).
- Agua destilada

b) Procedimiento

- Se pasó por el tamiz N° 40 a la muestra de suelo. Se trabajó con el material pasante a esta malla.
- Se colocó en un recipiente 200gr de muestra y se le agregó de 15 a 20ml de agua destilada, hasta formar una pasta de textura uniforme.
- Con ayuda de la espátula, se colocó la pasta de suelo en la cazuela de la Copa de Casagrande, comprimiéndola

hacia abajo y extendiéndola hasta conseguir un espesor de 1cm.

- Se hizo una división en el centro de la cazuela con la ranuradora curva y se comenzó a girar la manivela de la Copa de Casagrande, contando el número de golpes que se originaron para unir las dos mitades de la pasta de suelo. Se anotó el número de golpes requeridos para cerrar la ranura.
- Se sacó una tajada de suelo de la cazuela y se colocó en una tara para más tarde ponerla en el horno y así determinar su contenido de humedad.
- Se repitió todo el procedimiento anterior agregando o disminuyendo la cantidad de agua destilada, de tal manera que se asegure que haya dos determinaciones sobre los 25 golpes, y otros dos por debajo.

3.6.2.6. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD

a) Equipos y materiales

- Tamiz N° 40
- Vidrio grueso esmerilado
- 01 espátula
- 01 balanza eléctrica con aprox. 0.01gr
- Recipientes de aluminio (taras)
- Horno eléctrico a temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ \text{C}$

(230 ± 9° F).

- Agua destilada

b) Procedimiento

- Se pasó por el tamiz N° 40 a la muestra de suelo. Se trabajó con el material pasante a esta malla.
- Se amasó con agua destilada hasta que se formó una esfera con la masa de suelo. Se tomó una pequeña porción de dicha esfera como muestra para el ensayo.
- Se enrolló la porción de suelo con la mano extendida sobre una superficie lisa (vidrio), con presión suficiente para moldearlo en forma de cilindro o hilo de diámetro uniforme por la acción de unos 80 a 90 movimientos de la mano por minuto, hasta romperse en un diámetro de 3mm.
- Una vez que se llegó a romper la porción de suelo, se obtiene su contenido de humedad, y se continúa con el mismo procedimiento hasta obtener unos 6gr de suelo. El promedio de estos contenidos de humedad viene a ser el límite plástico.
- El índice de plasticidad viene a ser la diferencia entre el límite líquido y límite plástico de una muestra de suelo.

3.6.2.7. COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA ESTÁNDAR (PROCTOR ESTÁNDAR)

a) Equipos y materiales

- 01 molde Proctor de 4" de diámetro
- 01 pisón manual
- 01 balanza eléctrica con aprox. 1gr
- 01 balanza eléctrica con aprox. 0.01gr
- 01 regla metálica
- Recipientes de aluminio (taras)
- Horno eléctrico a temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ \text{C}$
($230 \pm 9^\circ \text{F}$).
- Herramientas de mezcla (bandejas, cucharas, espátulas)
- Agua, cal y ceniza de hojas de caña de azúcar.

b) Procedimiento

- La muestra de suelo requerida para un ensayo Proctor fue aproximadamente 15kg. Para determinar un punto de la curva Proctor, se utiliza 2.5kg de suelo.
- Se preparó la muestra de suelo adicionando agua (se comenzó suponiendo un óptimo contenido de humedad del 6%). Se mezcló hasta que toda la muestra se encuentre homogéneamente húmeda.
- Se tomó el peso del molde y luego aseguró sobre un cimiento uniforme y rígido. Se compactó el suelo dentro del molde en tres capas.

- Se colocó la primera capa suelo suelto y húmedo dentro del molde, luego se apisonó con el martillo unos 25 golpes. Esta operación se repitió para las otras dos capas siguientes.
- Una vez acabada la compactación, se removió el collar del molde y se enrasó cuidadosamente el espécimen compactado con ayuda de una regla o espátula.
- Se determinó y registró el peso del espécimen y molde con aproximación al gramo.
- Se tomaron dos porciones de suelo húmedo compactado, de la cara inferior y superior del molde, para determinar su contenido de humedad.
- Se repitió todo el procedimiento anterior agregando agua en intervalos de 2%, de tal manera que al formar la curva Proctor se aseguren dos puntos en la rama ascendente.
- El punto máximo de la curva Proctor nos indicará la máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad del suelo.
- Este mismo procedimiento se siguió para las distintas mezclas establecidas en el Cuadro 3.2, para así poder saber la cantidad de suelo, cal, cenizas y agua necesarios para la realización del ensayo de corte directo.

3.6.2.8. ENSAYO DE CORTE DIRECTO

a) Equipos y materiales

- Máquina de corte directo (conjunto de caja cuadrada de corte 10x10x2.5cm, pesas de 10, 15 y 20kg)
- 01 pisón de muestra sección 10x10cm
- 03 piedras porosas
- Papel filtro
- Recipientes plásticos
- 01 espátula
- 01 probeta de 50ml
- 01 martillo de goma
- 01 mortero
- 01 cepillo
- Agua, cal y ceniza de hojas de caña de azúcar

b) Procedimiento

- Ya teniendo la máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad producto del ensayo Proctor, y el volumen de la caja de corte directo (180 cm³), se calculó la cantidad de suelo y agua a colocar en la caja.
- Se ajustó adecuadamente la caja de corte, verificando que tanto la parte superior como inferior de la caja estén alineadas y asegurándolo con los tornillos para evitar que se muevan.
- Se colocó en la caja la tapa inferior percatándose que las ranuras estén en paralelo a la dirección de corte,

seguidamente se colocó la piedra porosa cuadrada y el papel filtro.

- Una vez ya preparada la mezcla, se colocó dentro de la caja dividida en 3 capas compactadas. Con ayuda de la espátula se distribuyó por toda la superficie de la caja, tratando de formar una capa uniforme, y con el pisón se compactó dando 25 golpes con el martillo de goma. Las capas compactadas eran escarificadas haciendo 5 líneas verticales y 5 líneas horizontales para el recibimiento de la próxima capa.
- Finalmente se colocó un papel filtro sobre la muestra compactada, las 2 piedras porosas cuadradas y el pisón metálico de carga.
- Se colocó la primera carga normal de 1.00 kg/cm^2 , el dial de desplazamiento vertical y se calibró correctamente los indicadores de desplazamiento horizontal y fuerza cortante.
- Una vez colocada la caja en la máquina de corte directo, se retiraron los tornillos de seguridad de la caja, y se aseguraron los tornillos que fijan la caja a la máquina de corte.
- Se puso en funcionamiento la máquina de corte directo a una velocidad de 0.5 mm/min .
- Se registraron la fuerza normal, los desplazamientos horizontales y las fuerzas cortantes.

- Se detuvo el funcionamiento del equipo al ver una falla de la muestra (el dial de fuerza cortante ya no avanzaba o empezaba a retroceder).
- Finalmente se retiró la carga normal y se ajustó la caja de corte con los tornillos de seguridad antes de retirarla.
- Se repitió todo el procedimiento anterior para esfuerzos normales de 1.50 y 2.00 kg/cm².
- Este ensayo también se realizó para las distintas mezclas establecidas en el Cuadro 3.2, para determinar la variación de los parámetros mecánicos (ángulo de fricción y cohesión) ante la presencia de otros agentes (cal y cenizas de hojas de caña de azúcar).

Nota: Todos los resultados de los ensayos, tanto de campo como de laboratorio, se encuentran en **ANEXO 2**.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. RESULTADOS

4.1.1. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN FÍSICA

4.1.1.1. DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

El análisis granulométrico se realizó según la norma MTC E107.

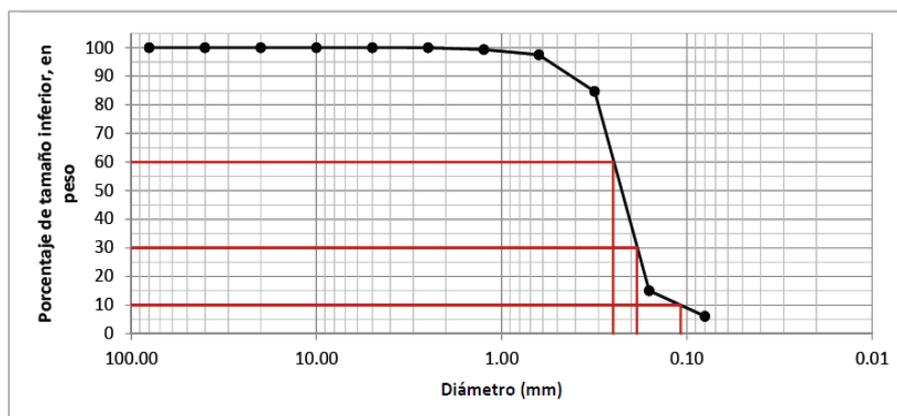


Figura 4.1. Curva granulométrica del suelo natural extraído de la calicata C-01

En la Figura 4.1 se muestra la curva granulométrica correspondiente al suelo extraído de la calicata C-01.

La muestra de suelo presentó un Coeficiente de Uniformidad (C_u) de 2.31 y un Coeficiente de Curvatura (C_c) de 1.28.

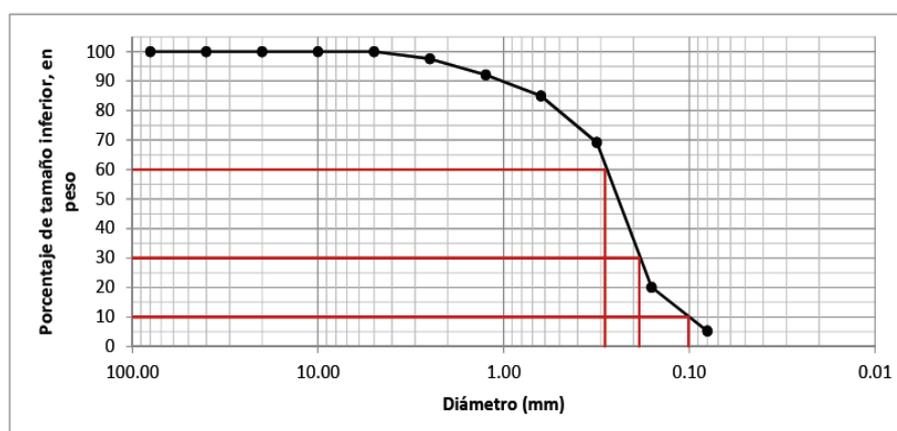


Figura 4.2. Curva granulométrica del suelo natural extraído de la calicata C-02

En la Figura 4.2 se muestra la curva granulométrica correspondiente al suelo extraído de la calicata C-02.

La muestra de suelo presentó un Coeficiente de Uniformidad (Cu) de 2.82 y un Coeficiente de Curvatura (Cc) de 1.20.

4.1.1.2. PLASTICIDAD

Los ensayos de determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad se realizaron según las normas MTC E110 y E111, respectivamente. Ambas muestras de suelo natural no presentaron plasticidad. Tampoco lo presentaron las muestras de suelo mezcladas con ceniza y cal.

4.1.1.3. CONTENIDO DE HUMEDAD

Los ensayos de determinación de contenido de humedad se realizaron según la norma MTC E108.

La humedad natural del suelo en la calicata C-01 fue de 0.45% mientras que la de la calicata C-02 fue de 0.35%.

4.1.1.4. CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS

Según los parámetros definidos anteriormente, los suelos extraídos de la calicata C-01 y C-02 corresponden a un suelo tipo arenoso no graduado con limos SP-SM en la clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).

4.1.2. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

4.1.2.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE CAL

Los ensayos de caracterización química de la muestra de cal fueron realizados por el Laboratorio LABICER – Facultad de Ciencias UNI, mediante la técnica de Espectrometría de Fluorescencia de rayos X.

En el Cuadro 4.1. se muestran los principales componentes químicos de la cal utilizada en la investigación.

Cuadro 4.1. Composición Química de cal, expresada en óxidos.

ANÁLISIS	RESULTADO (%)
Materia orgánica	4.80
Elementos livianos ⁽¹⁾	37.905
Óxido de calcio, CaO	50.826
Óxido de silicio, SiO ₂	3.355
Óxido de aluminio, Al ₂ O ₃	1.779
Óxido de hierro, Fe ₂ O ₃	0.375

⁽¹⁾ Elementos livianos (del hidrógeno al sodio)

Siendo el óxido de calcio (CaO) el componente químico predominante en la cal, representando el 50.826% del total.

Haciendo uso de la ecuación 2.62, se determinó el índice hidráulico de la cal utilizada, el cual es 0.108, correspondiente a una cal débilmente hidráulica, según la Tabla 2.13.

4.1.2.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE CENIZAS DE HOJA DE CAÑA DE AZÚCAR

Los ensayos de caracterización química de la muestra de cenizas de hoja de caña de azúcar fueron realizados por el Laboratorio LABICER – Facultad de Ciencias UNI, mediante la técnica de Espectrometría de Fluorescencia de rayos X.

En el Cuadro 4.2. se muestran los principales componentes químicos de la ceniza utilizada en la investigación.

Cuadro 4.2. *Composición Química de ceniza de hojas de caña de azúcar, expresado en óxidos.*

ANÁLISIS	RESULTADO (%)
Materia orgánica	10.32
Elementos livianos ⁽¹⁾	30.106
Óxido de silicio, SiO ₂	39.454
Óxido de potasio, K ₂ O	6.522
Óxido de calcio, CaO	7.054
Óxido de hierro, Fe ₂ O ₃	1.949
Óxido de azufre, SO ₃	1.886
Óxido de aluminio, Al ₂ O ₃	1.388
Óxido de fósforo, P ₂ O ₅	0.998
Óxido de titanio, TiO ₂	0.219

⁽¹⁾ Elementos livianos (del hidrógeno al sodio)

Siendo el óxido de silicio (SiO₂) el componente químico predominante en la ceniza, representando el 39.454% del total.

4.1.3. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

4.1.3.1. PROCTOR ESTÁNDAR

Se realizaron los ensayos de Proctor Estándar según la norma MTC E116.

En la Figura 4.3. se muestran los valores de máxima densidad seca obtenidos para cada dosificación de cal, ceniza y suelo de la calicata C-01. De los resultados se aprecia que la máxima densidad seca aumenta con la adición de cal, pero disminuye con la adición de ceniza.

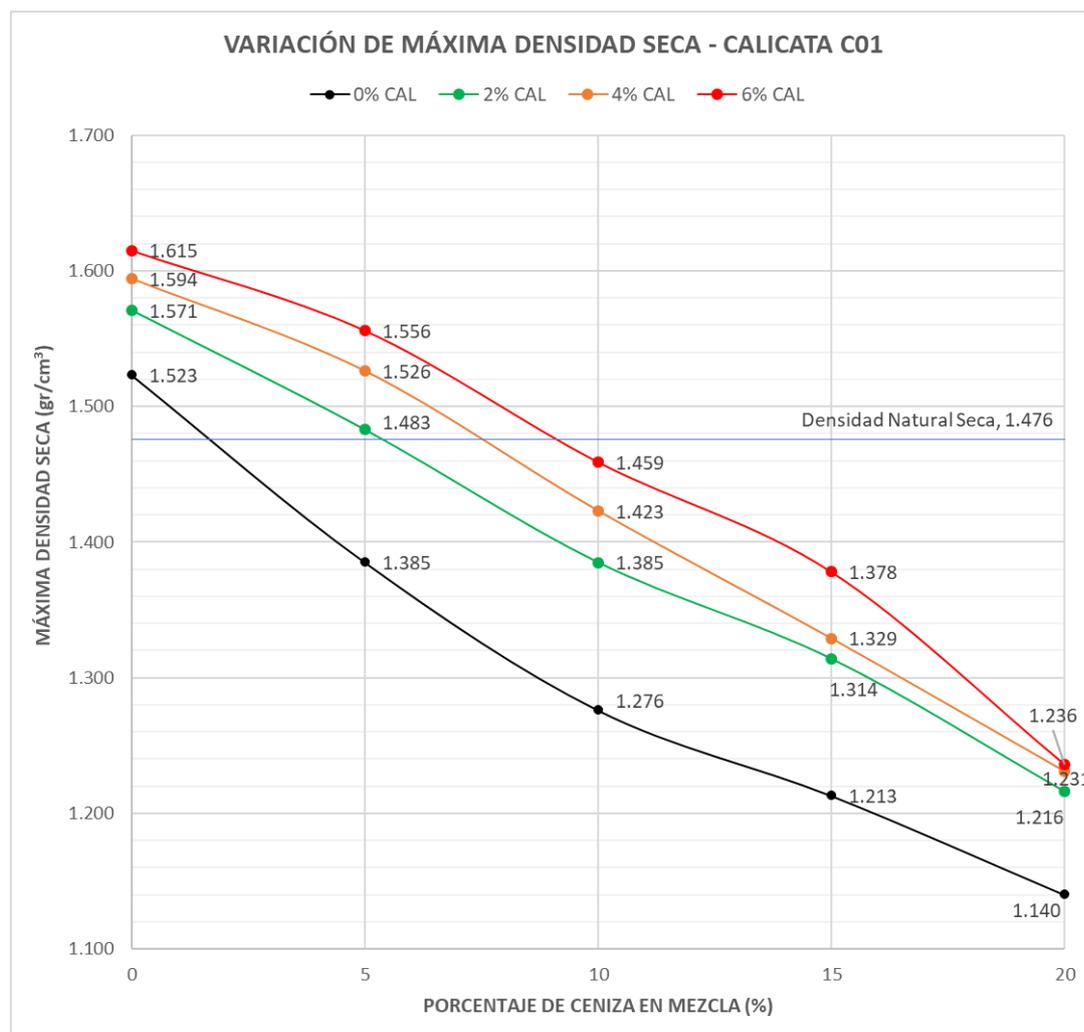


Figura 4.3. Variación de la máxima densidad seca según las dosificaciones de cal y ceniza para la calicata C-01.

En la Figura 4.4. se muestran los valores de máxima densidad seca obtenidos para cada dosificación de cal, ceniza y suelo de la calicata C-02. De los resultados se aprecia que la máxima densidad seca aumenta con la adición de cal, pero disminuye con la adición de ceniza.

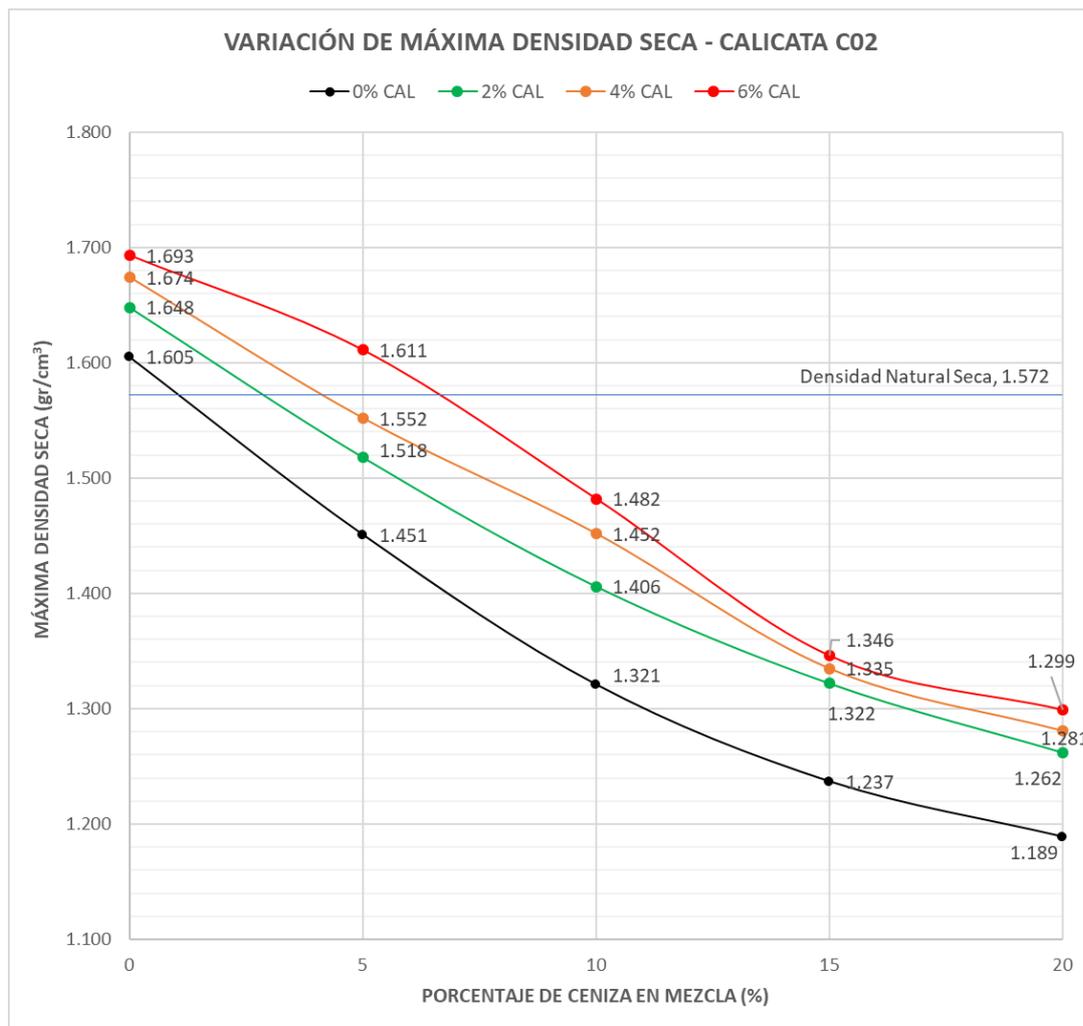


Figura 4.4. Variación de la máxima densidad seca según las dosificaciones de cal y ceniza para la calicata C-02.

Se ha observado que, en promedio, la máxima densidad seca aumenta un 3.29% por cada adición del 2% de cal, y que disminuye en un 6.54% por cada adición del 5% de ceniza de hoja de caña de azúcar.

4.1.3.2. CORTE DIRECTO

Se realizaron los ensayos según la norma MTC E123.

En la Figura 4.5. se muestran los valores del ángulo de fricción interna obtenidos para las dosificaciones de ceniza y suelo de la calicata C-01. De los resultados se aprecia que el valor del ángulo de fricción disminuye con la adición de ceniza. Se observa un máximo valor de 35.37° para la mezcla que no presenta ni cal ni ceniza.

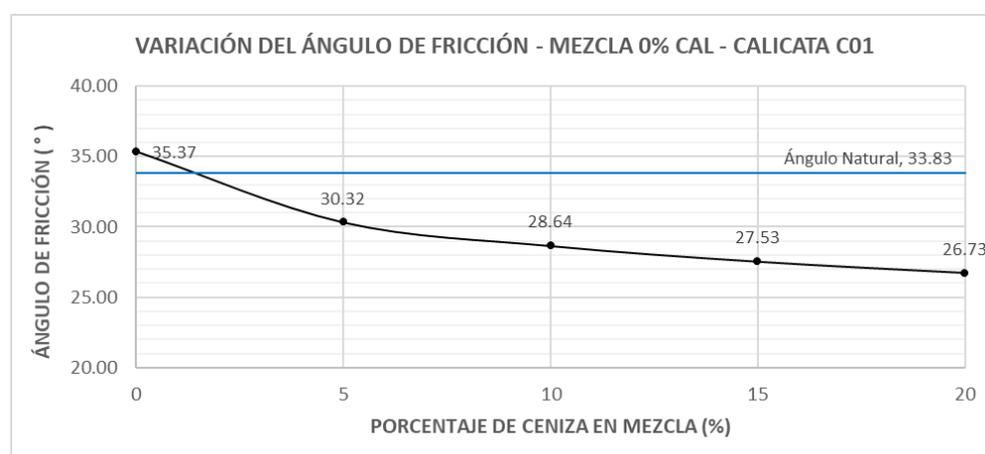


Figura 4.5. Variación del ángulo de fricción según las dosificaciones de 0% cal y ceniza para la calicata C-01.

En la Figura 4.6. se muestran los valores del ángulo de fricción interna obtenidos para las dosificaciones de 2% de cal, ceniza y suelo de la calicata C-01. De los resultados se aprecia que el valor del ángulo de fricción disminuye con la adición de ceniza en un primer momento, luego aumenta en un intervalo determinado y nuevamente disminuye. Se observa un máximo valor de 36.95° para la mezcla 2% cal y 0% ceniza, pero también un valor máximo relativo de 30.85° para la mezcla 2% cal y 10% ceniza.

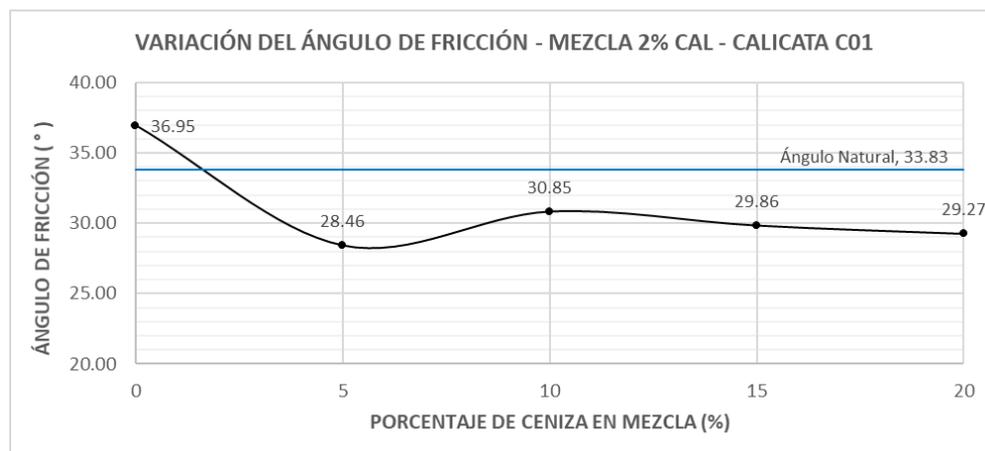


Figura 4.6. Variación del ángulo de fricción según las dosificaciones de 2% cal y ceniza para la calicata C-01.

En la Figura 4.7. se muestran los valores del ángulo de fricción interna obtenidos para las dosificaciones de 4% de cal, ceniza y suelo de la calicata C-01. De los resultados se aprecia que el valor del ángulo de fricción disminuye con la adición de ceniza, salvo en un intervalo determinado de ceniza, donde aumenta ligeramente. Se observa un máximo valor de 38.64° para la mezcla 4% cal y 0% ceniza, pero también un valor máximo relativo de 32.65° para la mezcla 4% cal y 10.00% ceniza.

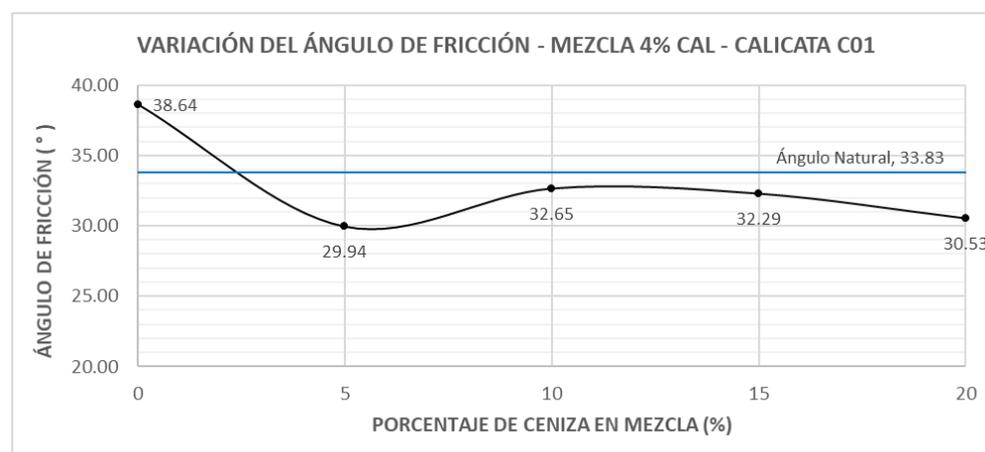


Figura 4.7. Variación del ángulo de fricción según las dosificaciones de 4% cal y ceniza para la calicata C-01.

En la Figura 4.8. se muestran los valores del ángulo de fricción interna obtenidos para las dosificaciones de 6% de cal, ceniza y suelo de la calicata C-01. De los resultados se aprecia que el valor del ángulo de fricción disminuye con la adición de ceniza, salvo en un intervalo determinado de ceniza, donde aumenta ligeramente. Se observa un máximo valor de 38.96° para la mezcla 6% cal y 0% ceniza, pero también un valor máximo relativo de 35.54° para la mezcla 6% cal y 15.00% ceniza.

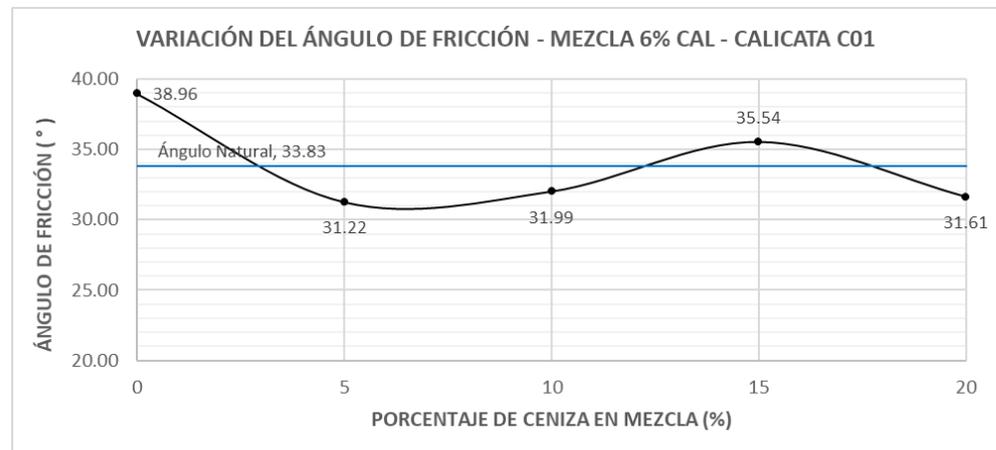


Figura 4.8. Variación del ángulo de fricción según las dosificaciones de 6% cal y ceniza para la calicata C-01.

Los máximos valores se dan para las dosificaciones de 6% cal – 0% ceniza y 6% cal – 15% ceniza con valores de ángulo de fricción interna de 38.96° y 35.54° , respectivamente.

En la Figura 4.9. se muestran los valores del ángulo de fricción interna obtenidos para las dosificaciones de 0% de cal, ceniza y suelo de la calicata C-02. De los resultados se aprecia que el valor del ángulo de fricción disminuye con la adición de ceniza, salvo en un intervalo determinado de ceniza, donde aumenta ligeramente. Se observa un máximo valor de 36.82° para la mezcla 0% cal y 0% ceniza, pero también un valor máximo relativo de 30.77° para la mezcla 0% cal y 10.00% ceniza.

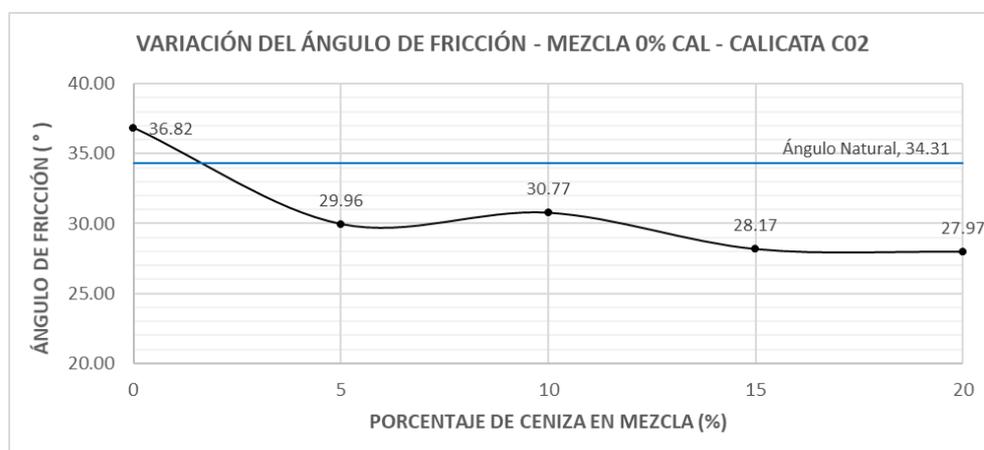


Figura 4.9. Variación del ángulo de fricción según las dosificaciones de 0% cal y ceniza para la calicata C-02.

En la Figura 4.10. se muestran los valores del ángulo de fricción interna obtenidos para las dosificaciones de 2% de cal, ceniza y suelo de la calicata C-02. De los resultados se aprecia que el valor del ángulo de fricción disminuye con la adición de ceniza, salvo en un intervalo determinado de ceniza, donde aumenta ligeramente. Se observa un máximo valor de 38.15° para la mezcla 2% cal y 0% ceniza, pero también un valor máximo relativo de 32.75° para la mezcla 2% cal y 10.00% ceniza.

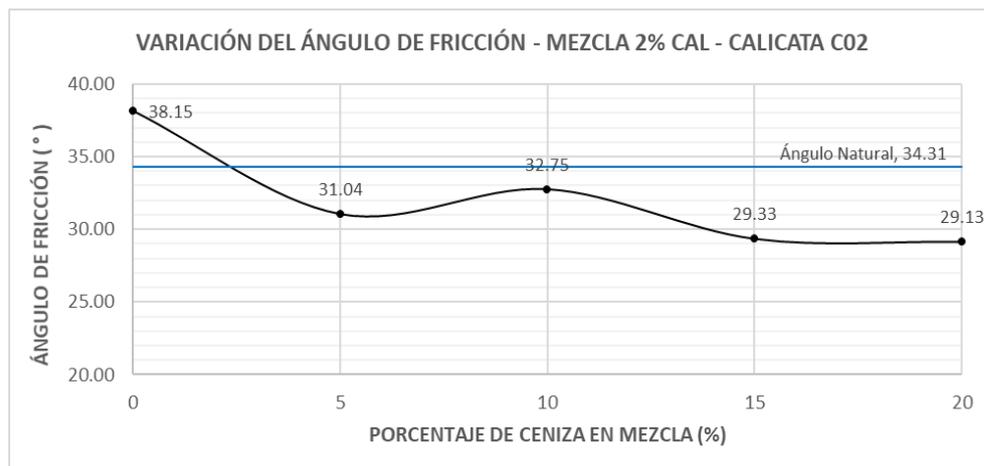


Figura 4.10. Variación del ángulo de fricción según las dosificaciones de 2% cal y ceniza para la calicata C-02.

En la Figura 4.11. se muestran los valores del ángulo de fricción interna obtenidos para las dosificaciones de 4% de cal, ceniza y suelo de la calicata C-02. De los resultados se aprecia que el valor del ángulo de fricción disminuye con la adición de ceniza, salvo en un intervalo determinado de ceniza, donde aumenta ligeramente. Se observa un máximo valor de 38.60° para la mezcla 4% cal y 0% ceniza, pero también un valor máximo relativo de 33.39° para la mezcla 4% cal y 15.00% ceniza.

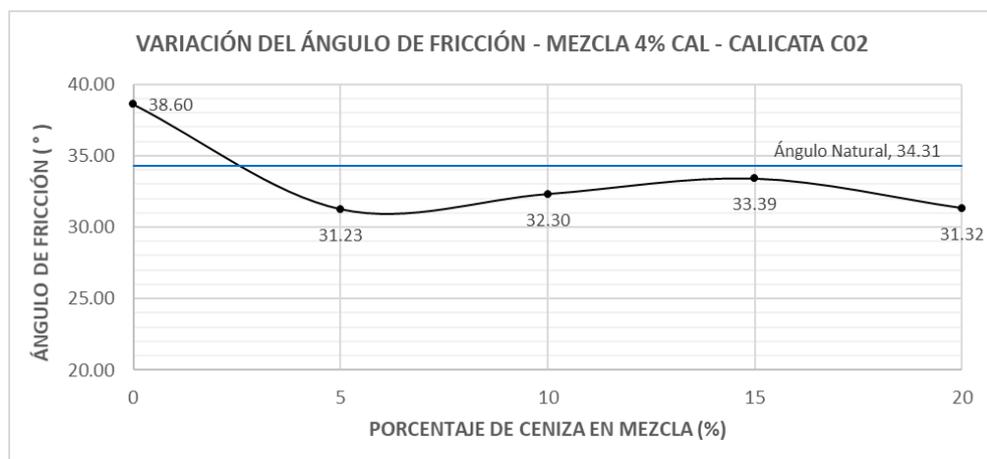


Figura 4.11. Variación del ángulo de fricción según las dosificaciones de 4% cal y ceniza para la calicata C-02.

En la Figura 4.12. se muestran los valores del ángulo de fricción interna obtenidos para las dosificaciones de 6% de cal, ceniza y suelo de la calicata C-02. De los resultados se aprecia que el valor del ángulo de fricción disminuye con la adición de ceniza, salvo en un intervalo determinado de ceniza, donde aumenta ligeramente. Se observa un máximo valor de 39.43° para la mezcla 6% cal y 0% ceniza, pero también un valor máximo relativo de 36.29° para la mezcla 6% cal y 15.00% ceniza.

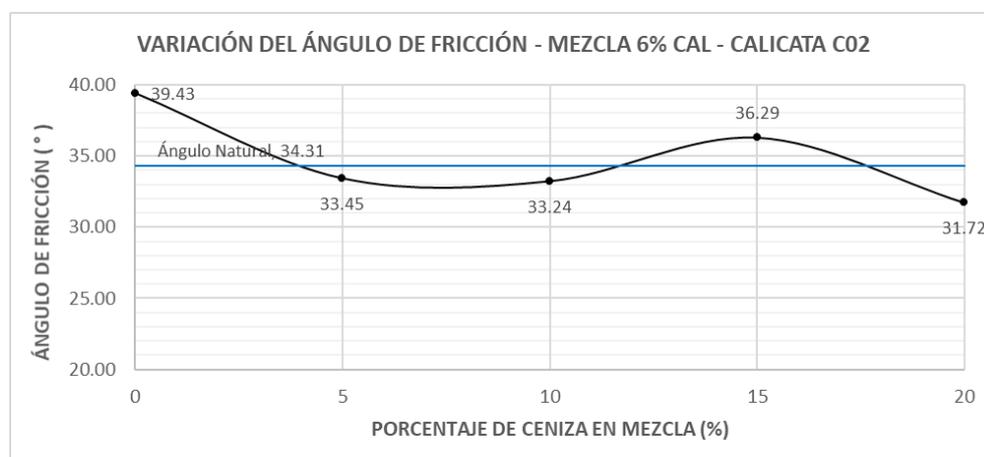


Figura 4.12. Variación del ángulo de fricción según las dosificaciones de 6% cal y ceniza para la calicata C-02.

Los máximos valores se dan para las dosificaciones de 6% cal – 0% ceniza y 6% cal – 15% ceniza con valores de ángulo de fricción interna de 39.43° y 36.29° , respectivamente.

En el Cuadro 4.3. se muestra el incremento del ángulo de fricción interna de los valores más altos con respecto al valor del ángulo de fricción del suelo natural.

Cuadro 4.3. *Incremento del valor del ángulo de fricción respecto al del suelo natural*

Calicata C-01			Calicata C-02		
Dosificación	Ángulo de Fricción	Incremento	Dosificación	Ángulo de Fricción	Incremento
Suelo Natural	33.83°	-	Suelo Natural	34.31°	-
6.00% Cal 0.00% Ceniza	38.96°	15.16%	6.00% Cal 0.00% Ceniza	39.43°	14.92%
6.00% Cal 15.00% Ceniza	35.54°	5.05%	6.00% Cal 15.00% Ceniza	36.29°	5.77%

4.1.4. DIMENSIONAMIENTO DE CIMENTACIÓN SUPERFICIAL

4.1.4.1. CARGA TOTAL

La carga total considerada como referencia para realizar los análisis comparativos siguientes corresponde a la combinación de cargas vivas y muertas que actúan sobre la zapata más crítica del nuevo edificio de la Escuela de Energía de la Universidad Nacional del Santa. El valor de la carga asciende a un total de 139,731 Kg y el procedimiento se encuentra en el Anexo 1: Memoria de Cálculo.

4.1.4.2. CAPACIDAD PORTANTE

En el Cuadro 4.4 se indican las capacidades portantes obtenidas con los parámetros geotécnicos del suelo natural y de las mezclas que obtuvieron los mayores valores de ángulo de fricción, para la calicata C-01.

Cuadro 4.4. *Capacidad Portante de las mezclas de cal y ceniza seleccionadas para la calicata C-01.*

Calicata C-01		
Dosificación	Capacidad Portante	Dimensión de Zapata
Suelo Natural	4.02 Kg/cm ²	1.90 x 1.90 m ²
6% Cal - 0% Ceniza	8.31 Kg/cm ²	1.30 x 1.30 m ²
6% Cal – 15% Ceniza	4.68 Kg/cm ²	1.75 x 1.75 m ²

La mezcla de 6% de cal y 0% ceniza representa un aumento de la capacidad portante de 106.72% del respecto al suelo natural y a su vez, una disminución del 53.19% del área de cimentación necesaria. Por otro lado, la mezcla de 6% de cal y 15% ceniza representa un aumento de la capacidad portante de 16.42% del respecto al suelo natural y a su vez, una disminución del 15.17% del área de cimentación necesaria.

El Cuadro 4.5 indica las capacidades portantes obtenidas con los parámetros geotécnicos del suelo natural y de las mezclas que obtuvieron los mayores valores de ángulo de fricción, para la calicata C-02.

Cuadro 4.5. *Capacidad Portante de las mezclas de cal y ceniza seleccionadas para la calicata C-02.*

Calicata C-02		
Dosificación	Capacidad Portante	Dimensión de Zapata
Suelo Natural	4.51 Kg/cm ²	1.80 x 1.80 m ²
6% Cal - 0% Ceniza	9.29 Kg/cm ²	1.25 x 1.25 m ²
6% Cal – 15% Ceniza	5.06 Kg/cm ²	1.70 x 1.70 m ²

La mezcla de 6% de cal y 0% ceniza representa un aumento de la capacidad portante de 105.99% del respecto al suelo natural y a su vez, una disminución del 51.77% del área de cimentación necesaria. Por otro lado, la mezcla de 6% de cal y 15% ceniza representa un aumento de la capacidad portante de 12.20% del respecto al suelo natural y a su vez, una disminución del 10.80% del área de cimentación necesaria.

4.1.4.3. MEJORAMIENTO DE SUELO DE FUNDACIÓN

Para el cálculo del espesor de mejoramiento de suelo necesario se utilizó la técnica de Boussinesq, que determina el incremento en el esfuerzo a una profundidad z por debajo de la cara inferior de la zapata. Al disminuir las dimensiones de la zapata hasta las medidas mostradas en los cuadros 4.4 y 4.5, la presión aplicada sobre el terreno aumenta y supera a la capacidad portante del suelo existente. Es por ello que se reemplazaría dicho suelo con uno mejorado de mayores propiedades mecánicas (Mezclas Cal-Ceniza). El mejoramiento llegaría hasta la profundidad donde la presión ejercida por la zapata pueda ser soportada por el terreno natural.

Los Cuadros 4.6 y 4.7 muestran los espesores de mejoramiento de suelo necesarios para soportar las cargas ejercidas por las zapatas calculadas.

Cuadro 4.6. *Espesores de mejoramiento de suelo para las mezclas seleccionadas de la calicata C-01.*

MEJORAMIENTO DE SUELOS. CALICATA C-01		
Dosificación	Espesor de Mejoramiento	Volumen de suelo a extraer
6% Cal - 0% Ceniza	1.00 m	1.69 m ³
6% Cal – 15% Ceniza	0.55 m	1.68 m ³

Cuadro 4.7. *Espesores de mejoramiento de suelo para las mezclas seleccionadas de la calicata C-02.*

MEJORAMIENTO DE SUELOS. CALICATA C-02		
Dosificación	Espesor de Mejoramiento	Volumen de suelo a extraer
6% Cal - 0% Ceniza	0.95 m	1.48 m ³
6% Cal – 15% Ceniza	0.45 m	1.30 m ³

4.1.5. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Se evaluó el coste de construcción de las distintas zapatas diseñadas con el suelo mejorado (dosificaciones 6% cal – 0% ceniza y 6% cal – 15% ceniza) para compararlas con la de una cimentación en la que no se realiza un mejoramiento de suelos.

Los Cuadros 4.8 y 4.9 muestran los resultados del análisis de costo de construcción tanto para la calicata C-01 como para la calicata C-02, respectivamente.

Cuadro 4.8. *Evaluación económica de construcción de zapatas con distintos mejoramientos de suelos para la calicata C-01.*

MEJORAMIENTO DE SUELOS. CALICATA C-01			
Dosificación	Dimensiones Zapata	Espesor de Mejoramiento	Costo de construcción
Suelo Natural	1.90 x 1.90 m ²	0.00 m	S/ 2,354.42
6% cal – 0% ceniza	1.30 x 1.30 m ²	1.00 m	S/ 1,526.82
6% cal – 15% ceniza	1.75 x 1.75 m ²	0.55 m	S/ 2,229.57

Para el suelo de la calicata C-01, la mezcla 6% cal – 0% ceniza representa un ahorro económico de 35.15%, mientras que la mezcla 6% cal – 15% ceniza representa tan solo un ahorro de 5.30%.

Cuadro 4.9. *Evaluación económica de construcción de zapatas con distintos mejoramientos de suelos para la calicata C-02.*

MEJORAMIENTO DE SUELOS. CALICATA C-02			
Dosificación	Dimensiones Zapata	Espesor de Mejoramiento	Costo de construcción
Suelo Natural	1.80 x 1.80 m ²	0.00 m	S/ 2,136.61
6% cal – 0% ceniza	1.25 x 1.25 m ²	0.95 m	S/ 1,263.80
6% cal – 15% ceniza	1.70 x 1.70 m ²	0.45 m	S/ 2,081.31

Para el suelo de la calicata C-02, la mezcla 6% cal – 0% ceniza representa un ahorro económico de 40.85%, mientras que la mezcla 6% cal – 15% ceniza representa tan solo un ahorro de 2.59%.

4.2. DISCUSIÓN

En base a los resultados obtenidos de la investigación geotécnica efectuada, y complementándose con un análisis estadístico, se pueden hacer las evaluaciones siguientes:

- Se utilizó, para los cálculos de la capacidad portante, la ecuación formulada por Terzaghi y no la ecuación modificada de Meyerhof debido a que el uso de ésta última se justifica cuando existen condiciones especiales de la carga aplicada, tales como factores de profundidad e inclinación. Además, la ecuación de Terzaghi brinda resultados más conservadores.
- El tipo de suelo de nuestra investigación resultó ser una arena mal graduada limosa SPSM, según la clasificación SUCS, para ambas muestras de suelo extraídas de las calicatas C-01 y C-02, a una profundidad de 1.50m. A la vez, sus parámetros mecánicos fueron los siguientes: ángulo de fricción 33.83° y 34.31° , cohesión 0.0464 y 0.0165 kg/cm², respectivamente. Esta información se pudo comparar con el estudio geotécnico que realizaron los investigadores Aguirre e Iparraguirre (2016) sobre los suelos de Nuevo Chimbote, específicamente en las 6 calicatas de estudio ubicados en el área del Campus I de la Universidad Nacional del Santa, en los cuales, a una profundidad de 1.50m, presentan suelos tipo SP y SPSM, y un ángulo de fricción en promedio de 36.88° . Con esto podemos constatar que los resultados de nuestra investigación se aproximan mucho a los antecedentes presentados, pudiendo asegurar la fiabilidad de nuestro estudio.

- En cuanto a la estabilización del suelo, se pudo observar en la investigación que se conseguía el mejoramiento las propiedades mecánicas de las arenas, máxima densidad seca y ángulo de fricción, siempre que se mezclaba con un porcentaje de cal (2%, 4% y 6%), siendo la mezcla óptima con el 6%, logrando así que aumente el ángulo de fricción de 33.83° a 38.96° para el suelo de la calicata C-01 y de 34.31° a 39.43° para la calicata C-02. Ahora, las mezclas de suelo utilizando en conjunto la cal y cenizas de hojas de caña de azúcar, originaban todo lo contrario, ya que tanto la máxima densidad seca y ángulo de fricción de estas mezclas eran menores a las del suelo en estado natural, exceptuando la dosificación de 6% cal y 15% cenizas, ya que con estas mezclas se lograba un aumento en el ángulo de fricción de 33.83° a 35.54° y de 34.31° a 36.29°, para las muestras de las calicatas C-01 y C-02 respectivamente. Con esto se pudo comprobar que el efecto estabilizador es mayor utilizando solo la cal, mostrando una mejoría de tendencia lineal en cuanto se agregaba mayor cantidad. No se logró lo mismo con la adición de ceniza de hojas de caña de azúcar, debido a las condiciones desfavorables que presenta su composición química (ver Cuadro 4.2.), con mucho material orgánico (10.32%) y bajo óxido de silicio (39.454%), que es un componente importante para su comportamiento puzolánico.
- El buen comportamiento puzolánico de la ceniza volante va a depender de su alto contenido de óxido de silicio (SiO_2). En nuestro caso, según los resultados de Fluorescencia de Rayos X aplicado a las cenizas de hojas de caña de azúcar, el porcentaje de óxido de silicio fue del 39.454%, el cual no es un indicador favorable, ya que comparado con los resultados de la investigación de Martirena, Betancourt, Middendorf, Rubio, Martínez, Machado, y González

(2000), donde obtuvieron resultados exitosos realizando morteros utilizando cal-ceniza, el contenido de óxido de silicio de sus cenizas de hojas de caña de azúcar fue del 81.00%. Esta diferencia se debe principalmente a que estos últimos utilizaron una ceniza producto de una incineración controlada.

- Una investigación similar a la nuestra presentaron los investigadores Ankit, Deepak y Farukh (2017), estabilizando un suelo arenoso mezclándolo con cal y ceniza volante, obteniendo los mejores resultados con una dosificación de 8% de cal y 15% de ceniza; donde al igual que nuestro estudio, lograron mejorar las propiedades mecánicas de máxima densidad seca (16.94 a 18.39 KN/m³) y ángulo de fricción (34° a 39.8°). Un resultado distinto al nuestro fue la variación de la cohesión, debido a que, en su caso, éste mejoró de 0 a 13.4 KPa, mientras que, en nuestro estudio, la cohesión aumentaba y disminuía ligeramente sin tener una tendencia clara que lograra deducir su comportamiento. Creemos que la causa de esto es principalmente la falta de plasticidad de nuestros aditivos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Las arenas en combinación con cal y cenizas de hojas de caña de azúcar, en porcentajes de 6 y 15% respectivamente, muestran buenos resultados mejorando el ángulo de fricción en un 5.41% y la capacidad portante en un 14.31%, pero reduciendo la máxima densidad seca en un 12.83%.
- Las muestras de arena a estabilizar fueron del tipo SP-SM: arena mal graduada limosa, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
- La cal utilizada fue una cal débilmente hidráulica con un índice hidráulico de 0.108 y tuvo en su contenido un 50.826% de óxido de calcio en peso.
- Las cenizas de hoja de caña de azúcar presentaron entre sus principales componentes químicos: un contenido de óxido de silicio de 39.454%, óxido de hierro de 1.949%, óxido de aluminio de 1.388% y un contenido de materia orgánica del 10.32%, respecto a su peso.
- Las dosificaciones que presentaron un aumento en general de las propiedades geotécnicas fueron la de 6% cal – 0% ceniza y 6% cal – 15% ceniza.
- La mezcla conformada por un 6% de cal y 0% ceniza presentó, respecto al suelo natural, mejoría en las propiedades mecánicas del suelo. El ángulo de fricción se incrementó en un 15.04% y la máxima densidad seca en 5.76%. La capacidad portante también aumentó en un 106.36%.
- El uso de la dosificación 6% cal y 0% ceniza conlleva un ahorro de 38.00% respecto al costo total de la construcción cimentación sobre el suelo natural, mientras que el uso de una dosificación 6% cal y 15% ceniza, conlleva un ahorro poco significativo del 3.95%.

5.2. RECOMENDACIONES

- No es recomendable el uso de las cenizas utilizadas en esta investigación debido a que no se logra una mejoría total de las propiedades mecánicas del suelo, ni tampoco un ahorro significativo en la construcción de una cimentación superficial.
- Es recomendable el uso de la cal como estabilizador de suelos de fundación debido a las ventajas que presenta, como el mejoramiento de la capacidad portante y bajo coste de aplicación.
- Se recomienda extender los estudios de estabilización de suelos utilizando cal y cenizas, con fines de cimentación, para otros tipos de suelos.
- Se recomienda experimentar en futuras investigaciones la utilización de una cal del tipo hidráulica y cenizas volantes con mejor comportamiento puzolánico.
- Se recomienda, como alternativa de comparación de resultados, la realización de los ensayos de compresión triaxial y/o compresión no confinada, para la determinación de los parámetros de resistencia al corte (ángulo de fricción y cohesión).

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES

6.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES

- Aguirre, K, e Iparraguirre, A. (2016), *Determinación de los ángulos de fricción interna y cohesión correlacionando ensayos de corte directo y ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) en los suelos de Nuevo Chimbote*. (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote, Perú.
- Alva, J. (2011). *Mapa del Potencial de Licuación de Suelos en Chimbote mediante el Método Grado-3 del TC-4*. Recuperado de <https://guzlop-editoras.com/>
- Ankit, S., Deepak, R., Farukh A. (2017). *Study of Shear Strength Parameters of Yamuna Sand Mixed with Pond Ash and Lime [Estudio de los parámetros de fuerza cortante de los suelos de Yamuna mezclados con cenizas y cal]*. International Journal of Advance Engineering and Research Development, 4(7), 318-325.
- Ariel, N., Rojas, N., y Umbarila B. (2008) *Evaluación experimental de unidades sílico-calcáreas a partir de escoria de alto horno y cal hidráulica para mampostería*. Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Berry, P., y Reid, D. (2000). *Mecánica de suelos*. Salford, Inglaterra: McGraw-Hill.
- Braja, M. (2001). *Principios de ingeniería de cimentaciones*. California, Estados Unidos: International Thomson Editores.
- Cañar, E. (2017). *Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinadas con ceniza de carbón* (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.

- Carrera, J., Loyola, E., e Iglesias, S. (2010). Impacto Ambiental Ocasionado por la Quema de la Caña de Azúcar en Laredo – Trujillo. *Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográfica*, 13(26), 91-95.
- Chaves, M., Bermúdez, A. (2006). *Motivos y Razones para Quemar las Plantaciones de Caña de Azúcar en Costa Rica*. Congreso ATACA y XVI Congreso ATACORI, Heredia. Costa Rica.
- Chinen, K. (2002). *Factibilidad y estudio de las propiedades de concreto de baja resistencia adicionado con cal*. (Tesis de pregrado), Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. Perú.
- Crespo, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. Ciudad de México, México: Limusa.
- Crespo, S. (2009). *Materiales de construcción para edificación y obra civil*. Alicante, España: Editorial Club Universitario.
- Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (2009). *Manual del cañero*. Tucumán, Argentina: John Deere y Zafra S.A.
- Gonzalez, C., Gonzales, J., Rodríguez, M., y Salcedo, A. (2016). *Proceso de producción de la cal*. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad José Antonio Páez.
- Guzmán, A., Gutiérrez, C., Amigó, V., Mejía, R., y Delvasto, S. (2011). *Valoración puzolánica de la hoja de la caña de azúcar*. *Revista Materiales de construcción*, vol. 61, n° 302.
- Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) (1986). *La industria de los derivados de la caña de azúcar*. La Habana, Cuba: Editorial Científico-Técnica La Habana.

- Juárez, E. y Rico, A. (2005). *Mecánica de Suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. Ciudad de México, México: Limusa.
- León, T., Dopico, D., Triana, O., y Medina, M. (2013) *Paja de la caña de azúcar. Sus usos en la actualidad*. Planta Bioprocesos, Dpto. Química del Bagazo, Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, Quivicán, Mayabeque, Cuba.
- López, A. (1983). *Mejora geotécnica del suelo*. Conferencia pronunciada en el Colegio de Arquitectos, de Las Palmas.
- López, M. (2017). *Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de Pomasqui para cimentaciones superficiales y contrapisos, mediante el uso de cemento tipo MH*. (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Madriñan, C. (2002). *Compilación y análisis sobre contaminación del aire producida por la quema y la requema de la caña de azúcar; saccharum officinarum I, en el valle geografico del Rio Cauca*. (Tesis de postgrado), Universidad Nacional de Colombia, Palmira. Colombia
- Martirena, J., Betancourt, S., Middendorf, B., Rubio, A., Martínez, L., Machado, I., y González, R. (2000). *Propiedades puzolánicas de desechos de la industria azucarera (primera parte)*. Revista Materiales de construcción, vol. 50, n° 260.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos*. Lima, Perú.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima, Perú.

- Oizus., F. (1985). *Materiales de construcción*. Madrid-España: Editorial Dossat.
- Osorio, G. (2007). *Manual Técnico: Buenas Prácticas Agrícolas -BPA- y Buenas Prácticas de Manufactura -BPM-en la Producción de Caña y Panela*. Antioquía, Colombia: CTP Print Ltda.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (2012). *Suelos y Cimentaciones, Norma E-050*. Perú: Editorial Megabyte
- Rein, P. (2012). *Ingeniería de la caña de azúcar*. Berlín, Alemania: Verlag Dr. Albert Bartens KG.
- Rivera, H. (2010). *Geología General*. Lima, Perú: Editorial Megabyte.
- Rodríguez, P. (2008). *Sistemas de cosecha de la caña de azúcar: ventajas y desventajas*. Departamento de Ingeniería Agrícola, Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Barquisimeto, Venezuela.
- Rufino, J., Machado, Iván., y Dias, Y. (2013). Determinación de mezclas de suelo estabilizado a partir de recursos de biomasa locales para mejorar la calidad de las viviendas construidas por la población del territorio de Uige, Angola. *Revista Ingeniería de Construcción*, 28(1), 63-80.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

ANEXO 1
MEMORIA DE
CÁLCULO

ÍNDICE DE HIDRAULICIDAD DE LA CAL

$$I = \frac{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}{CaO + MgO}$$

Del análisis químico de la cal, utilizada en la investigación, se extrajeron los siguientes datos:

COMPUESTO	% EN PESO
Óxido de silicio, SiO ₂	3.355
Óxido de aluminio, Al ₂ O ₃	1.779
Óxido de hierro, Fe ₂ O ₃	0.375
Óxido de calcio, CaO	50.826
Óxido de magnesio, MgO	0.000

Aplicando la fórmula de índice de hidraulicidad:

$$I = \frac{3.355 + 1.779 + 0.375}{50.826 + 0.000}$$

$$I = 0.108$$

Debido al nulo contenido de óxido de magnesio y según la **Tabla 2.13**, para un índice de hidraulicidad de 0.108, podemos clasificar a la cal utilizada en la investigación, como una **CAL DÉBILMENTE HIDRÁULICA**.

METRADO DE CARGAS

Para fines aplicativos de la investigación realizada, se escogió y rediseñó una cimentación superficial (zapata) de una edificación construida cerca a nuestra zona de estudio. Esta edificación es el Bloque 03 de la más reciente infraestructura de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía de la Universidad Nacional del Santa. Este es un pabellón de 3 pisos que alberga a 6 laboratorios. La zapata a rediseñar es la que se encuentra entre los ejes C y 2, cuyas dimensiones en planta es de 2.80 x 3.00m.

RESUMEN DE CARGAS:

	C.M.	C.V.	
PISO 01	27.274	13.122	Tn
PISO 02	19.818	6.561	Tn
PISO 03	19.818	2.187	Tn
	66.910	21.870	Tn

CARGA COMBINADA:

P =	$1.5 \times \text{C.M.} + 1.8 \times \text{C.V.}$	Tn
P =	139.731	Tn

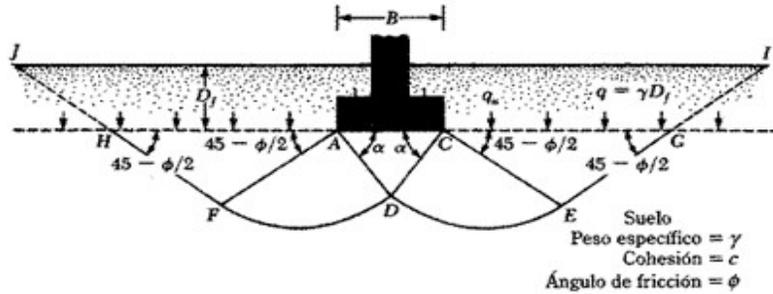
PISO 01							
CARGA MUERTA							
Elemento	Cantidad	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Peso/m2 (Tn/m2)	Peso unitario (Tn/m3)	Peso (Tn)
Columna	1	0.7	0.4	4.9	-	2.4	3.293
Viga principal	1	3.65	0.3	0.7	-	2.4	1.840
Viga secundaria	2	2.65	0.3	0.6	-	2.4	2.290
Columneta	2	0.25	0.15	1.55	-	2.4	0.279
	1	0.25	0.15	2.525	-	2.4	0.227
Vigueta	2	2.625	0.15	0.25	-	2.4	0.473
	1	3.625	0.15	0.25	-	2.4	0.326
Losa	1	4.05	2.75	-	0.3	-	3.341
	1	4.05	2.65	-	0.3	-	3.220
Piso terminado	1	4.05	2.75	-	0.1	-	1.114
	1	4.05	2.65	-	0.1	-	1.073
Muro	2	2.375	0.15	1.55	-	1.35	1.491
	1	3.375	0.15	2.525	-	1.35	1.726
Viga de cimentación	2	2.65	0.3	0.6	-	2.4	2.290
	1	3.65	0.3	0.6	-	2.4	1.577
Sobrecimiento	2	2.625	0.15	0.85	-	2.4	1.607
	1	3.625	0.15	0.85	-	2.4	1.109
Total							27.274
CARGA VIVA							
Elemento	Cantidad	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Peso/m2 (Tn/m2)	Peso unitario (Tn/m3)	Peso (Tn)
Piso 1er nivel	1	4.05	2.75	-	0.3	-	3.341
	1	4.05	2.65	-	0.3	-	3.220
Piso 2do nivel	1	4.05	2.75	-	0.3	-	3.341
	1	4.05	2.65	-	0.3	-	3.220
Total							13.122

PISO 02							
CARGA MUERTA							
Elemento	Cantidad	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Peso/m2 (Tn/m2)	Peso unitario (Tn/m3)	Peso (Tn)
Columna	1	0.7	0.4	3.6	-	2.4	2.419
Viga principal	1	3.65	0.3	0.7	-	2.4	1.840
Viga secundaria	2	2.65	0.3	0.6	-	2.4	2.290
Columneta	2	0.25	0.15	1.55	-	2.4	0.279
	1	0.25	0.15	2.525	-	2.4	0.227
Vigueta	2	2.625	0.15	0.25	-	2.4	0.473
	1	3.625	0.15	0.25	-	2.4	0.326
Losa	1	4.05	2.75	-	0.3	-	3.341
	1	4.05	2.65	-	0.3	-	3.220
Piso terminado	1	4.05	2.75	-	0.1	-	1.114
	1	4.05	2.65	-	0.1	-	1.073
Muro	2	2.375	0.15	1.55	-	1.35	1.491
	1	3.375	0.15	2.525	-	1.35	1.726
Total							19.818
CARGA VIVA							
Elemento	Cantidad	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Peso/m2 (Tn/m2)	Peso unitario (Tn/m3)	Peso (Tn)
Piso 3er nivel	1	4.05	2.75	-	0.3	-	3.341
	1	4.05	2.65	-	0.3	-	3.220
Total							6.561

PISO 03							
CARGA MUERTA							
Elemento	Cantidad	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Peso/m2 (Tn/m2)	Peso unitario (Tn/m3)	Peso (Tn)
Columna	1	0.7	0.4	3.6	-	2.4	2.419
Viga principal	1	3.65	0.3	0.7	-	2.4	1.840
Viga secundaria	2	2.65	0.3	0.6	-	2.4	2.290
Columneta	2	0.25	0.15	1.55	-	2.4	0.279
	1	0.25	0.15	2.525	-	2.4	0.227
Vigueta	2	2.625	0.15	0.25	-	2.4	0.473
	1	3.625	0.15	0.25	-	2.4	0.326
Losa	1	4.05	2.75	-	0.3	-	3.341
	1	4.05	2.65	-	0.3	-	3.220
Piso terminado	1	4.05	2.75	-	0.1	-	1.114
	1	4.05	2.65	-	0.1	-	1.073
Muro	2	2.375	0.15	1.55	-	1.35	1.491
	1	3.375	0.15	2.525	-	1.35	1.726
Total							19.818
CARGA VIVA							
Elemento	Cantidad	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Peso/m2 (Tn/m2)	Peso unitario (Tn/m3)	Peso (Tn)
Techo	1	4.05	2.75	-	0.1	-	1.114
	1	4.05	2.65	-	0.1	-	1.073
Total							2.187

CAPACIDAD PORTANTE DE SUELOS

TEORÍA DE LA CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA SEGÚN TERZAGUI



La ecuación de la capacidad de carga última es la siguiente:

$$q_u = cN_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma \quad \text{..... Ecuación 2.32}$$

$$q_{adm} = \frac{q_u}{FS} \quad \text{..... Ecuación 2.42}$$

Para determinar el dimensionamiento del lado de una zapata cuadrada:

$$q_{adm} = \frac{P_u}{\text{Área}} = \frac{P_u}{B^2}$$

CALICATA C-01

SUELO NATURAL

Ángulo de fricción (ϕ) = <u>33.83</u> °	Nc = <u>51.86</u>
Cohesión (C) = <u>0</u> kg/cm ²	Nq = <u>35.77</u>
Peso específico (γ) = <u>1.476</u> gr/cm ³	Ny = <u>37.00</u>
Prof. Cimentación (Df) = <u>1.50</u> m	
Carga puntual (Pu) = <u>139.731</u> Tn	

Aplicando la ecuación 2.32:

Capacidad última de carga (q_u) (kg/cm ²) =	12.07
---	-------

Aplicando la ecuación 2.42 y un factor de seguridad (F.S.) igual a 3:

Capacidad admisible de carga (q_{adm}) (kg/cm ²) =	4.02
--	------

Ahora, considerando una zapata cuadrada:

Dimensión calculada de la zapata (B) (m) =	1.90
--	------

CALICATA C-01**SUELO + 6%CAL + 0%CEN**

$$\begin{array}{ll} \text{Ángulo de fricción } (\phi) = \underline{38.96}^\circ & N_c = \underline{85.63} \\ \text{Cohesión } (C) = \underline{0} \text{ kg/cm}^2 & N_q = \underline{70.25} \\ \text{Peso específico } (Y) = \underline{1.615} \text{ gr/cm}^3 & N_y = \underline{94.37} \\ \text{Prof. Cimentación } (D_f) = \underline{1.50} \text{ m} & \\ \text{Carga puntual } (P_u) = \underline{139.731} \text{ Tn} & \end{array}$$

Aplicando la ecuación 2.32:

Capacidad última de carga (q_u) (kg/cm ²) =	24.94
---	-------

Aplicando la ecuación 2.42 y un factor de seguridad (F.S.) igual a 3:

Capacidad admisible de carga (q_{adm}) (kg/cm ²) =	8.31
--	------

Ahora, considerando una zapata cuadrada:

Dimensión calculada de la zapata (B) (m) =	1.30
--	------

SUELO + 6%CAL + 15%CEN

$$\begin{array}{ll} \text{Ángulo de fricción } (\phi) = \underline{35.54}^\circ & N_c = \underline{60.87} \\ \text{Cohesión } (C) = \underline{0} \text{ kg/cm}^2 & N_q = \underline{44.53} \\ \text{Peso específico } (Y) = \underline{1.378} \text{ gr/cm}^3 & N_y = \underline{50.24} \\ \text{Prof. Cimentación } (D_f) = \underline{1.50} \text{ m} & \\ \text{Carga puntual } (P_u) = \underline{139.731} \text{ Tn} & \end{array}$$

Aplicando la ecuación 2.32:

Capacidad última de carga (q_u) (kg/cm ²) =	14.05
---	-------

Aplicando la ecuación 2.42 y un factor de seguridad (F.S.) igual a 3:

Capacidad admisible de carga (q_{adm}) (kg/cm ²) =	4.68
--	------

Ahora, considerando una zapata cuadrada:

Dimensión calculada de la zapata (B) (m) =	1.75
--	------

CALICATA C-02**SUELO NATURAL**

Ángulo de fricción (ϕ) =	<u>34.31</u> °	N_c =	<u>54.22</u>
Cohesión (C) =	<u>0</u> kg/cm ²	N_q =	<u>38.03</u>
Peso específico (γ) =	<u>1.572</u> gr/cm ³	N_y =	<u>40.32</u>
Prof. Cimentación (Df) =	<u>1.50</u> m		
Carga puntual (Pu) =	<u>139.731</u> Tn		

Aplicando la ecuación 2.32:

Capacidad última de carga (q_u) (kg/cm ²) =	<u>13.53</u>
---	--------------

Aplicando la ecuación 2.42 y un factor de seguridad (F.S.) igual a 3:

Capacidad admisible de carga (q_{adm}) (kg/cm ²) =	<u>4.51</u>
--	-------------

Ahora, considerando una zapata cuadrada:

Dimensión calculada de la zapata (B) (m) =	<u>1.80</u>
--	-------------

SUELO + 6%CAL + 0%CEN

Ángulo de fricción (ϕ) =	<u>39.43</u> °	N_c =	<u>90.14</u>
Cohesión (C) =	<u>0</u> kg/cm ²	N_q =	<u>75.19</u>
Peso específico (γ) =	<u>1.693</u> gr/cm ³	N_y =	<u>103.75</u>
Prof. Cimentación (Df) =	<u>1.50</u> m		
Carga puntual (Pu) =	<u>139.731</u> Tn		

Aplicando la ecuación 2.32:

Capacidad última de carga (q_u) (kg/cm ²) =	<u>27.88</u>
---	--------------

Aplicando la ecuación 2.42 y un factor de seguridad (F.S.) igual a 3:

Capacidad admisible de carga (q_{adm}) (kg/cm ²) =	<u>9.29</u>
--	-------------

Ahora, considerando una zapata cuadrada:

Dimensión calculada de la zapata (B) (m) =	<u>1.25</u>
--	-------------

SUELO + 6%CAL + 15%CEN

Ángulo de fricción (ϕ) =	<u>36.29</u> °	N_c =	<u>65.41</u>
Cohesión (C) =	<u>0</u> kg/cm ²	N_q =	<u>49.09</u>
Peso específico (γ) =	<u>1.346</u> gr/cm ³	N_y =	<u>57.52</u>
Prof. Cimentación (Df) =	<u>1.50</u> m		
Carga puntual (Pu) =	<u>139.731</u> Tn		

Aplicando la ecuación 2.32:

Capacidad última de carga (q_u) (kg/cm ²) =	<u>15.18</u>
---	--------------

Aplicando la ecuación 2.42 y un factor de seguridad (F.S.) igual a 3:

Capacidad admisible de carga (q_{adm}) (kg/cm ²) =	<u>5.06</u>
--	-------------

Ahora, considerando una zapata cuadrada:

Dimensión calculada de la zapata (B) (m) =	<u>1.70</u>
--	-------------

CÁLCULO DE ESPESOR DE MEJORAMIENTO DE SUELOS

El esfuerzo vertical debajo del centro de un área rectangular se obtiene mediante la relación siguiente:

$$\Delta p = q_0 I_c$$

..... Ecuación 2.57

$$I = \frac{2}{\pi} \left[\frac{m_1 n_1}{\sqrt{1+m_1^2+n_1^2}} \cdot \frac{1+m_1^2+2n_1^2}{(1+n_1^2)(m_1^2+n_1^2)} \right] + \sin^{-1} \frac{m_1}{\sqrt{m_1^2+n_1^2} \sqrt{1+n_1^2}}$$

..... Ecuación 2.58

$$m_1 = \frac{L}{B}$$

..... Ecuación 2.59

$$n_1 = \frac{z}{\left(\frac{B}{2}\right)}$$

..... Ecuación 2.60

CALICATA C-01

SUELO + 6%CAL + 0%CEN

Datos del Mejoramiento:

Carga total a soportar	139731	Kg		m ₁	1.00
Capacidad Portante Mejorada	8.31	kg/cm ²		n ₁	1.54
Ancho de zapata (B)	1.30	m		l _c	0.470
Espesor del mejoramiento (Z)	1.00	m		q ₀	8.27 kg/cm ²

Datos del Terreno Natural:

Esfuerzo admisible 4.02 kg/cm²

Aplicando la ecuación 2.57:

Esfuerzo vertical a 1 m debajo de la zapata	3.89	kg/cm ²
---	------	--------------------

SUELO + 6%CAL + 15%CEN

Datos del Mejoramiento:

Carga total a soportar	139731	Kg		m ₁	1.00
Capacidad Portante Mejorada	4.68	kg/cm ²		n ₁	0.63
Ancho de zapata (B)	1.75	m		l _c	0.879
Espesor del mejoramiento (Z)	0.55	m		q ₀	4.56 kg/cm ²

Datos del Terreno Natural:

Esfuerzo admisible 4.02 kg/cm²

Aplicando la ecuación 2.57:

Esfuerzo vertical a 0.55 m debajo de la zapata	4.01	kg/cm ²
--	------	--------------------

CALICATA C-02**SUELO + 6%CAL + 0%CEN**

Datos del Mejoramiento:

Carga total a soportar	<u>139731</u> Kg	m_1	1.00
Capacidad Portante Mejorada	<u>9.29</u> kg/cm ²	n_1	1.52
Ancho de zapata (B)	<u>1.25</u> m	l_c	0.477
Espesor del mejoramiento (Z)	<u>0.95</u> m	q_0	8.94 kg/cm ²

Datos del Terreno Natural:

Esfuerzo admisible	<u>4.51</u> kg/cm ²
--------------------	--------------------------------

Aplicando la ecuación 2.57:

Esfuerzo vertical a 0.95 m debajo de la zapata	<u>4.27</u> kg/cm ²
--	--------------------------------

SUELO + 6%CAL + 15%CEN

Datos del Mejoramiento:

Carga total a soportar	<u>139731</u> Kg	m_1	1.00
Capacidad Portante Mejorada	<u>5.06</u> kg/cm ²	n_1	0.53
Ancho de zapata (B)	<u>1.70</u> m	l_c	0.919
Espesor del mejoramiento (Z)	<u>0.45</u> m	q_0	4.83 kg/cm ²

Datos del Terreno Natural:

Esfuerzo admisible	<u>4.51</u> kg/cm ²
--------------------	--------------------------------

Aplicando la ecuación 2.57:

Esfuerzo vertical a 0.45 m debajo de la zapata	<u>4.44</u> kg/cm ²
--	--------------------------------

EVALUACIÓN ECONÓMICA

CALICATA C-01

SUELO NATURAL (SIN MEJORAMIENTO)

Datos de cimentación:

Carga total a soportar	<u>139,731.00</u> Kg
Capacidad Portante Mejorada	<u>3.97</u> kg/cm ²
Ancho de zapata (B)	<u>1.90</u> m
Espesor de zapata (E)	<u>0.60</u> m
Profundidad de cimentación (Df)	<u>1.50</u> m
Espesor del mejoramiento (Z)	<u>0.00</u> m

DESCRIPCIÓN ACTIVIDAD	UND	METRADO	PRECIO UNITARIO	PRECIO PARCIAL	PRECIO TOTAL
TRAZO Y REPLANTEO	m ²	3.61	S/. 1.43	S/. 5.16	S/. 2,354.42
EXCAVACIÓN	m ³	5.78	S/. 14.58	S/. 84.21	
RELLENO	m ³	0.00	S/. 58.46	S/. 0.00	
SOLADO	m ³	0.36	S/. 336.49	S/. 121.47	
CONCRETO	m ³	2.17	S/. 501.17	S/. 1,085.53	
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m ²	4.56	S/. 103.38	S/. 471.41	
ACERO	kg	90.25	S/. 6.50	S/. 586.63	

SUELO + 6%CAL + 0%CEN

Datos de cimentación:

Carga total a soportar	<u>139,731.00</u> Kg
Capacidad Portante Mejorada	<u>7.79</u> kg/cm ²
Ancho de zapata (B)	<u>1.30</u> m
Espesor de zapata (E)	<u>0.60</u> m
Profundidad de cimentación (Df)	<u>1.50</u> m
Espesor del mejoramiento (Z)	<u>1.00</u> m

DESCRIPCIÓN ACTIVIDAD	UND	METRADO	PRECIO UNITARIO	PRECIO PARCIAL	PRECIO TOTAL
TRAZO Y REPLANTEO	m ²	1.69	S/. 1.43	S/. 2.42	S/. 1,526.82
EXCAVACIÓN	m ³	4.23	S/. 14.58	S/. 61.60	
RELLENO	m ³	1.69	S/. 80.36	S/. 135.81	
SOLADO	m ³	0.17	S/. 336.49	S/. 56.87	
CONCRETO	m ³	1.01	S/. 501.17	S/. 508.19	
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m ²	3.12	S/. 103.38	S/. 322.55	
ACERO	kg	67.60	S/. 6.50	S/. 439.40	

SUELO + 6%CAL + 15%CEN

Datos de cimentación:

Carga total a soportar	<u>139,731.00</u> Kg
Capacidad Portante Mejorada	<u>4.56</u> kg/cm ²
Ancho de zapata (B)	<u>1.75</u> m
Espesor de zapata (E)	<u>0.60</u> m
Profundidad de cimentación (Df)	<u>1.50</u> m
Espesor del mejoramiento (Z)	<u>0.55</u> m

DESCRIPCIÓN ACTIVIDAD	UND	METRADO	PRECIO UNITARIO	PRECIO PARCIAL	PRECIO TOTAL
TRAZO Y REPLANTEO	m ²	3.06	S/. 1.43	S/. 4.38	S/. 2,229.57
EXCAVACIÓN	m ³	6.28	S/. 14.58	S/. 91.54	
RELLENO	m ³	1.68	S/. 105.59	S/. 177.85	
SOLADO	m ³	0.31	S/. 336.49	S/. 103.05	
CONCRETO	m ³	1.84	S/. 501.17	S/. 920.90	
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m ²	4.20	S/. 103.38	S/. 434.20	
ACERO	kg	76.56	S/. 6.50	S/. 497.66	

EVALUACIÓN ECONÓMICA

CALICATA C-02

SUELO NATURAL (SIN MEJORAMIENTO)

Datos de cimentación:

Carga total a soportar	<u>139,731.00</u> Kg
Capacidad Portante Mejorada	<u>4.42</u> kg/cm ²
Ancho de zapata (B)	<u>1.80</u> m
Espesor de zapata (E)	<u>0.60</u> m
Profundidad de cimentación (Df)	<u>1.50</u> m
Espesor del mejoramiento (Z)	<u>0.00</u> m

DESCRIPCIÓN ACTIVIDAD	UND	METRADO	PRECIO UNITARIO	PRECIO PARCIAL	PRECIO TOTAL
TRAZO Y REPLANTEO	m ²	3.24	S/. 1.43	S/. 4.63	S/. 2,136.61
EXCAVACIÓN	m ³	5.18	S/. 14.58	S/. 75.58	
RELLENO	m ³	0.00	S/. 58.46	S/. 0.00	
SOLADO	m ³	0.32	S/. 336.49	S/. 109.02	
CONCRETO	m ³	1.94	S/. 501.17	S/. 974.27	
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m ²	4.32	S/. 103.38	S/. 446.60	
ACERO	kg	81.00	S/. 6.50	S/. 526.50	

SUELO + 6%CAL + 0%CEN

Datos de cimentación:

Carga total a soportar	<u>139,731.00</u> Kg
Capacidad Portante Mejorada	<u>8.60</u> kg/cm ²
Ancho de zapata (B)	<u>1.25</u> m
Espesor de zapata (E)	<u>0.60</u> m
Profundidad de cimentación (Df)	<u>1.50</u> m
Espesor del mejoramiento (Z)	<u>0.95</u> m

DESCRIPCIÓN ACTIVIDAD	UND	METRADO	PRECIO UNITARIO	PRECIO PARCIAL	PRECIO TOTAL
TRAZO Y REPLANTEO	m ²	1.56	S/. 1.43	S/. 2.23	S/. 1,263.80
EXCAVACIÓN	m ³	3.83	S/. 14.58	S/. 55.81	
RELLENO	m ³	1.48	S/. 80.36	S/. 119.28	
SOLADO	m ³	0.16	S/. 336.49	S/. 52.58	
CONCRETO	m ³	0.94	S/. 501.17	S/. 469.85	
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m ²	3.00	S/. 103.38	S/. 310.14	
ACERO	kg	39.06	S/. 6.50	S/. 253.91	

SUELO + 6%CAL + 15%CEN

Datos de cimentación:

Carga total a soportar	<u>139,731.00</u> Kg
Capacidad Portante Mejorada	<u>4.88</u> kg/cm ²
Ancho de zapata (B)	<u>1.70</u> m
Espesor de zapata (E)	<u>0.60</u> m
Profundidad de cimentación (Df)	<u>1.50</u> m
Espesor del mejoramiento (Z)	<u>0.45</u> m

DESCRIPCIÓN ACTIVIDAD	UND	METRADO	PRECIO UNITARIO	PRECIO PARCIAL	PRECIO TOTAL
TRAZO Y REPLANTEO	m ²	2.89	S/. 1.43	S/. 4.13	S/. 2,081.31
EXCAVACIÓN	m ³	5.64	S/. 14.58	S/. 82.17	
RELLENO	m ³	1.30	S/. 105.59	S/. 137.32	
SOLADO	m ³	0.29	S/. 336.49	S/. 97.25	
CONCRETO	m ³	1.73	S/. 501.17	S/. 869.03	
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m ²	4.08	S/. 103.38	S/. 421.79	
ACERO	kg	72.25	S/. 6.50	S/. 469.63	

ANEXO 2
ENSAYOS DE
LABORATORIO



INFORME TÉCNICO N° 0643 – 18 – LABICER

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : JOSÉ VICTOR ALFREDO BALLARTE MORENO
PAULO SERGIO CAPCHA HERNÁNDEZ
 - 1.2 DNI : 70321827
72913354
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 17 / 04 / 2018
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 04 / 05 / 2018
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 08 / 05 / 2018
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE MUESTRA DE CAL
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE**
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE CAL
 - 4.2 TESIS : "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE ARENAS CON FINES DE CIMENTACIÓN SUPERFICIAL UTILIZANDO CAL Y CENIZAS DE HOJAS DE CAÑA DE AZÚCAR"
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 25.0 °C; Humedad relativa: 64%
7. **EQUIPOS UTILIZADOS** : ANALIZADOR DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X. OLYMPUS, VANTA M. MUFLA. DAIHAN INSTRUMENTS.
8. **RESULTADOS**
 - 8.1 **ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL**



ANÁLISIS	RESULTADO (%)	MÉTODO DE REFERENCIA
Materia orgánica	4.800	MTC E118
Elementos livianos ⁽¹⁾	46.090	Fluorescencia de Rayos X
Calcio, Ca	43.299	
Silicio, Si	1.338	
Aluminio, Al	0.501	
Hierro, Fe	0.319	
Estroncio, Sr	0.223	
Azufre, S	0.150	
Titanio, Ti	0.128	
Fósforo, P	0.120	
Manganeso, Mn	0.022	
Vanadio, V	0.004	
Cobre, Cu	0.002	
Zinc, Zn	0.002	

⁽¹⁾ Elementos livianos (del hidrógeno al sodio).

8.2 ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA EXPRESADO EN ÓXIDOS

ANÁLISIS	RESULTADO (%)	MÉTODO DE REFERENCIA
Materia orgánica	4.800	MTC E118
Elementos livianos ⁽¹⁾	37.905	Fluorescencia de Rayos X
Óxido de calcio, CaO	50.826	
Óxido de silicio, SiO ₂	3.355	
Óxido de aluminio, Al ₂ O ₃	1.779	
Óxido de hierro, Fe ₂ O ₃	0.375	
Óxido de estroncio, SrO	0.217	
Óxido de azufre, SO ₃	0.308	
Óxido de titanio, TiO ₂	0.176	
Óxido de fósforo, P ₂ O ₅	0.226	
Óxido de manganeso, MnO	0.023	
Óxido de vanadio, V ₂ O ₅	0.006	
Óxido de cobre, CuO	0.002	
Óxido de zinc, ZnO	0.002	

⁽¹⁾ Elementos livianos (del hidrógeno al sodio).

⁽²⁾ Balance de resultados de óxidos calculados del análisis elemental.

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO

Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.


Bach. Nadia Rodríguez
Analista
LABICER –UNI




M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
Responsable de Análisis
Jefa de Laboratorio
CQP 202

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



INFORME TÉCNICO N° 0642 – 18 – LABICER

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : JOSÉ VICTOR ALFREDO BALLARTÉ MORENO
PAULO SERGIO CAPCHA HERNÁNDEZ
 - 1.2 DNI : 70321827
72913354
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 17 / 04 / 2018
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 04 / 05 / 2018
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 05 / 05 / 2018
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE MUESTRA DE CENIZAS DE HOJA DE CAÑA DE AZÚCAR
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE**
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE CENIZAS DE HOJA DE CAÑA DE AZÚCAR
 - 4.2 TESIS : "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE ARENAS CON FINES DE CIMENTACIÓN SUPERFICIAL UTILIZANDO CAL Y CENIZAS DE HOJAS DE CAÑA DE AZÚCAR"
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 25.0 °C; Humedad relativa: 64%
7. **EQUIPOS UTILIZADOS** : ANALIZADOR DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X.
OLYMPUS, VANTA M.
MUFLA. DAIHAN INSTRUMENTS.
8. **RESULTADOS**
 - 8.1 **ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL**

ANÁLISIS	RESULTADO (%)	MÉTODO DE REFERENCIA
Materia orgánica	10.320	MTC E118
Elementos livianos ⁽¹⁾	42.237	Fluorescencia de Rayos X
Silicio, Si	21.750	
Potasio, K	6.386	
Calcio, Ca	5.946	
Hierro, Fe	1.913	
Azufre, S	1.058	
Aluminio, Al	1.030	
Fósforo, P	0.611	
Titanio, Ti	0.184	
Manganeso, Mn	0.068	
Estroncio, Sr	0.025	
Zinc, Zn	0.011	
Cobre, Cu	0.009	

⁽¹⁾ Elementos livianos (del hidrógeno al sodio).



8.2 ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA EXPRESADO EN ÓXIDOS

ANÁLISIS	RESULTADO (%)	MÉTODO DE REFERENCIA
Materia orgánica	10.3200	MTC E118
Elementos livianos ⁽¹⁾	30.106	Fluorescencia de Rayos X
Óxido de silicio, SiO ₂	39.454	
Óxido de potasio, K ₂ O	6.522	
Óxido de calcio, CaO	7.054	
Óxido de hierro, Fe ₂ O ₃	1.949	
Óxido de azufre, SO ₃	1.886	
Óxido de aluminio, Al ₂ O ₃	1.388	
Óxido de fósforo, P ₂ O ₅	0.998	
Óxido de titanio, TiO ₂	0.219	
Óxido de manganeso, MnO	0.063	
Óxido de estroncio, SrO	0.021	
Óxido de zinc, ZnO	0.010	
Óxido de cobre, CuO	0.008	

⁽¹⁾ Elementos livianos (del hidrógeno al sodio).

⁽²⁾ Balance de resultados de óxidos calculados del análisis elemental.

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO

Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.


 Bach. Nadia Rodríguez
 Analista
 LABICER - UNI

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.




 M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
 Responsable de Análisis
 Jefa de Laboratorio
 CQP 202



ENSAYO GRANULOMÉTRICO

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar. Fecha: 10/01/2018
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01. Responsable: Tesistas
Calicata: C-01

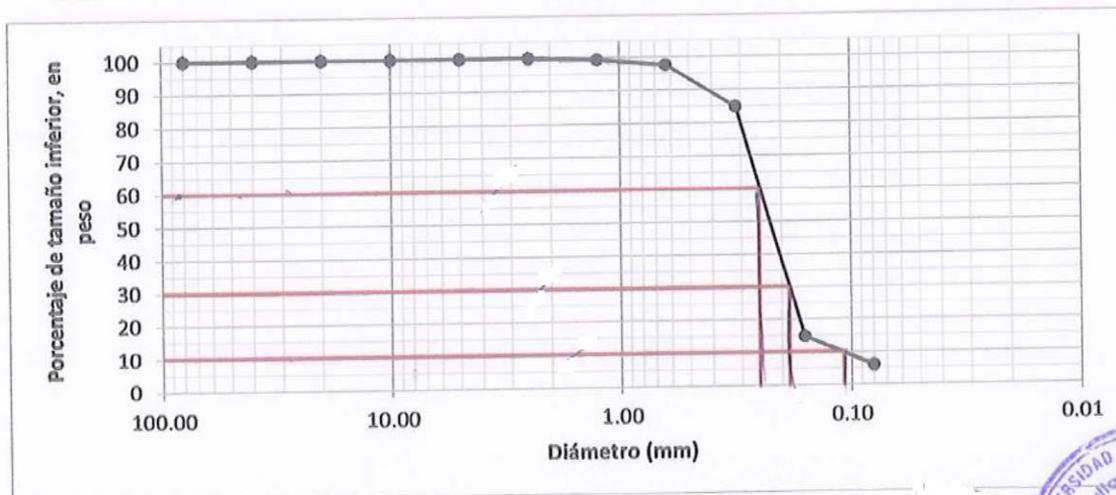
Peso Total de la Muestra (g): 1000.00 Humedad: 0.45%
Fracción gruesa (g): 939.00
Fracción fina (g): 61.00

	ABERTURA DE TAMIZ ASTM	ABERTURA DE TAMIZ mm	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PASANTE (%)
GRAVA	3"	80.000	0.00	0.00	0.00	100.00
	1 1/2"	40.000	0.00	0.00	0.00	100.00
	3/4"	20.000	0.00	0.00	0.00	100.00
	3/8"	10.000	0.00	0.00	0.00	100.00
	N° 4	5.000	0.00	0.00	0.00	100.00
ARENA	N° 8	2.500	0.59	0.59	0.06	99.94
	N° 16	1.250	5.90	6.49	0.65	99.35
	N° 30	0.630	18.69	25.18	2.52	97.48
	N° 50	0.315	127.95	153.13	15.31	84.69
	N° 100	0.160	696.53	849.66	84.97	15.03
	N° 200	0.080	89.34	939.00	93.90	6.10
PLATO			61.00	1000.00	100.00	0.00
TOTAL			1000.00			

L.P. = No presenta
L.L. = No presenta

Tipo de suelo (SUCS): SP-SM

Cu = 2.31
Cc = 1.28





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

DC-01

DENSIDAD DE CAMPO

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01.

Fecha: 10/01/2018
Responsable: Tesistas
Calicata: C-01

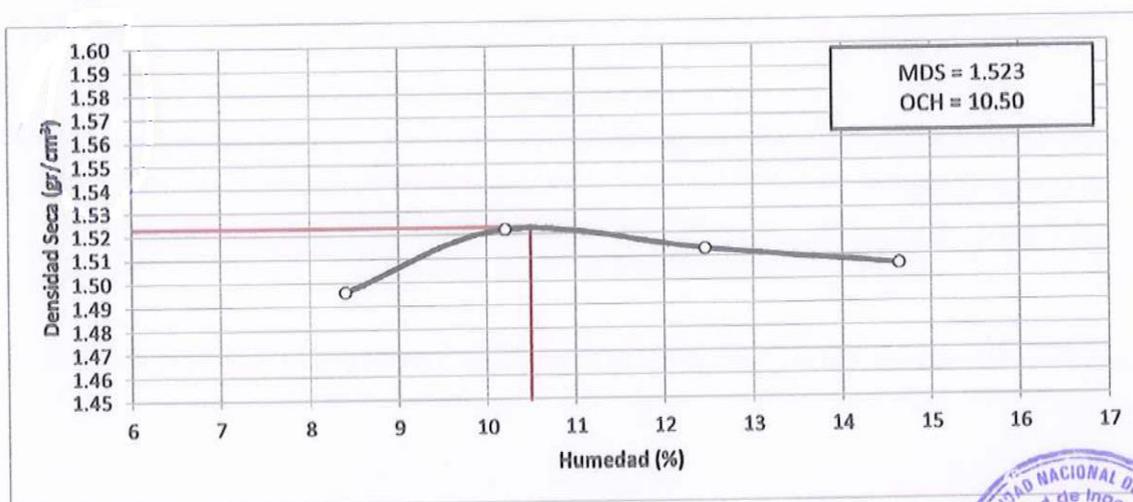
Profundidad	m	1.00	1.50			
PESO ESPECÍFICO						
Peso arena + cono inicial	gr	5420.00	5977.00			
Peso arena + cono final	gr	2750.00	2968.00			
Peso de cono de corrección	gr	1450.00	1450.00			
Peso de arena en hoyo	gr	1220.00	1559.00			
Densidad arena	gr/cm ³	1.318	1.32			
Volumen de hoyo	cm ³	925.64	1182.85			
Peso recipiente	gr	181.00	181.00			
Peso suelo húm. + grava húm. + recipiente	gr	1458.00	1937.00			
Peso grava húm. (retenido 3/4")	gr	0.00	0.00			
Peso suelo húmedo	gr	1277.00	1756.00			
Densidad de Grava	gr/cm ³	0.000	0.00			
Volumen de Grava	cm ³	0.00	0.00			
Volumen Corregido de Hoyo	cm ³	925.64	1182.85			
Densidad suelo húmedo	gr/cm ³	1.380	1.485			
CONTENIDO DE HUMEDAD						
Tara	N°	1	2			
Peso de muestra húmeda + tara	gr	166.20	123.69			
Peso muestra seca + tara	gr	165.65	123.14			
Peso del agua	gr	0.55	0.55			
Peso de tara	gr	27.02	28.27			
Peso de la muestra seca	gr	138.63	94.87			
Contenido de humedad	%	0.40	0.58			
PESO ESPECÍFICO SECO						
Densidad seca	gr/cm ³	1.375	1.476			



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar. **Fecha:** 11/01/2018
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01. **Responsable:** Tesistas
Estado de muestra: Húmeda compacta. **Calicata:** C-01
Dosificación: 0%Cal - 0%Ceniza

Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5724.00	5777.00	5800.00	5825.00				
Peso del molde	gr	4156.00	4156.00	4156.00	4156.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1568.00	1621.00	1644.00	1669.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.622	1.677	1.701	1.727				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	108.308	113.134	138.863	119.807	115.808	129.089	127.444	124.983
Peso muestra seca + tara	gr	102.264	106.185	128.206	111.476	106.444	117.352	115.434	111.774
Peso del agua	gr	6.044	6.949	10.657	8.331	9.364	11.737	12.010	13.209
Peso de tara	gr	27.189	26.849	27.056	27.209	27.206	27.772	26.792	27.828
Peso de la muestra seca	gr	75.075	79.336	101.150	84.267	79.238	89.580	88.642	83.946
Contenido de humedad	%	8.40		10.21		12.46		14.64	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.496		1.522		1.513		1.506	



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.

Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01.

Estado de muestra: Húmeda compacta.

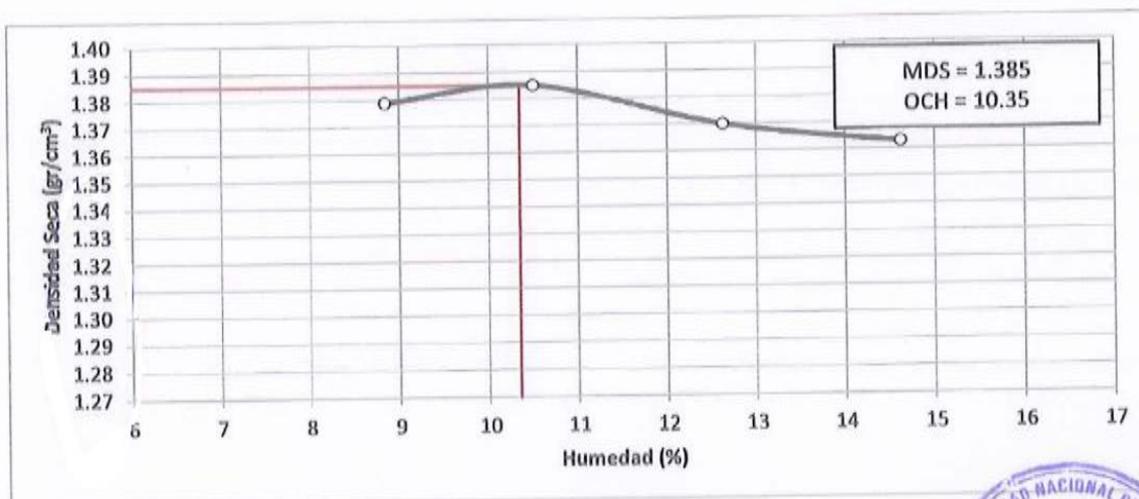
Fecha: 11/01/2018

Responsable: Testistas

Calicata: C-01

Dosificación: 0%Cal - 5%Ceniza

Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5607.00	5635.00	5647.00	5666.00				
Peso del molde	gr	4156.00	4156.00	4156.00	4156.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1451.00	1479.00	1491.00	1510.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.501	1.530	1.543	1.562				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	113.664	122.663	107.594	124.086	112.661	117.141	138.288	138.378
Peso muestra seca + tara	gr	106.768	114.790	100.255	114.080	103.341	107.018	124.718	123.774
Peso del agua	gr	6.896	7.873	7.339	10.006	9.320	10.123	13.570	14.604
Peso de tara	gr	26.761	27.877	28.420	21.307	27.557	28.878	27.358	28.352
Peso de la muestra seca	gr	80.007	86.913	71.835	92.773	75.784	78.140	97.360	95.422
Contenido de humedad	%	8.84		10.50		12.63		14.62	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.379		1.385		1.370		1.363	





PROCTOR ESTÁNDAR

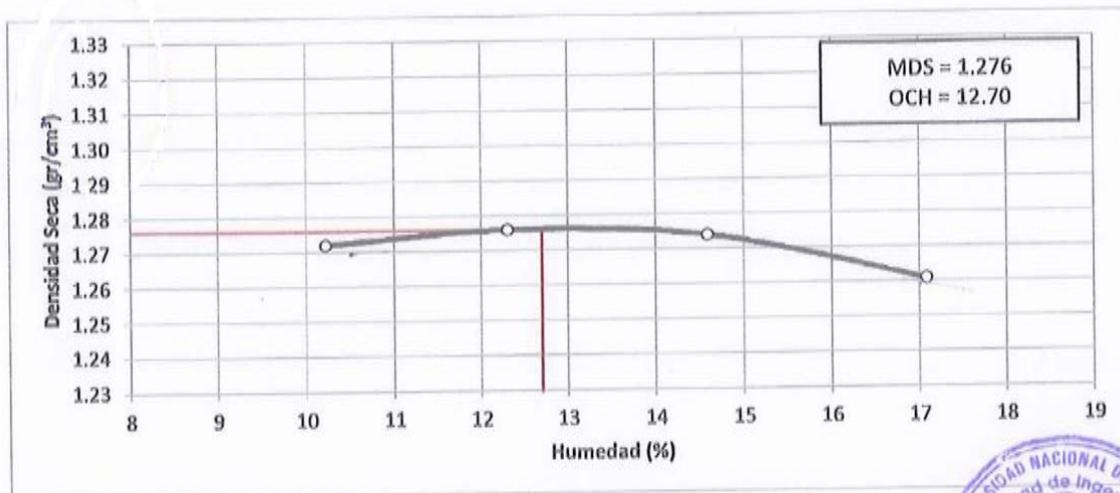
Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar. **Fecha:** 12/01/2018

Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01. **Responsable:** Tesistas

Estado de muestra: Húmeda compacta. **Calicata:** C-01

Dosificación: 0%Cal - 10%Ceniza

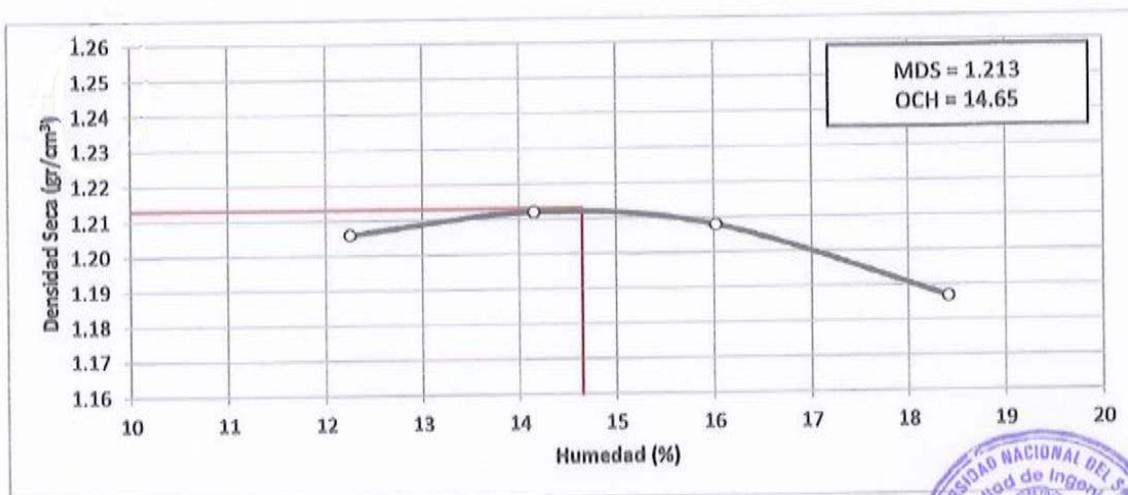
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5511.00	5541.00	5567.00	5583.00				
Peso del molde	gr	4156.00	4156.00	4156.00	4156.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1355.00	1385.00	1411.00	1427.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.402	1.433	1.460	1.476				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	83.231	99.735	96.306	111.426	102.631	96.580	97.657	98.106
Peso muestra seca + tara	gr	77.541	93.629	88.827	102.072	93.007	87.834	87.624	87.552
Peso del agua	gr	5.690	6.106	7.479	9.354	9.624	8.746	10.033	10.554
Peso de tara	gr	27.189	26.849	27.056	27.209	27.206	27.772	26.792	27.828
Peso de la muestra seca	gr	50.352	66.780	61.771	74.863	65.801	60.062	60.832	59.724
Contenido de humedad	%	10.22		12.30		14.59		17.08	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.272		1.276		1.274		1.261	



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	12/01/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01.	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	0%Cal - 15% Ceniza

Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5465.00	5493.00	5510.00	5515.00				
Peso del molde	gr	4156.00	4156.00	4156.00	4156.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1309.00	1337.00	1354.00	1359.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.354	1.383	1.401	1.406				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	84.108	94.562	84.049	95.878	109.658	93.828	104.969	98.174
Peso muestra seca + tara	gr	78.071	87.034	77.653	85.980	98.514	84.712	92.320	87.854
Peso del agua	gr	6.037	7.528	6.396	9.898	11.144	9.116	12.649	10.320
Peso de tara	gr	26.761	27.877	28.420	21.307	27.557	28.878	27.358	28.352
Peso de la muestra seca	gr	51.310	59.157	49.233	64.673	70.957	55.834	64.962	59.502
Contenido de humedad	%	12.25		14.15		16.02		18.41	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.206	1.212	1.208	1.187				

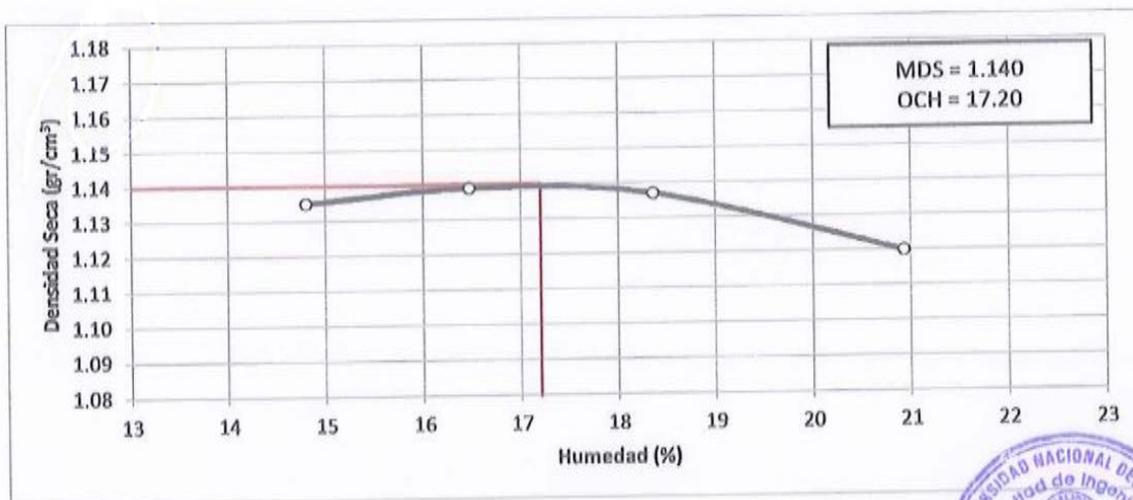




PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar. **Fecha:** 15/01/2018
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01. **Responsable:** Tesistas
Estado de muestra: Húmeda compacta. **Calicata:** C-01
Dosificación: 0%Cal - 20% Ceniza

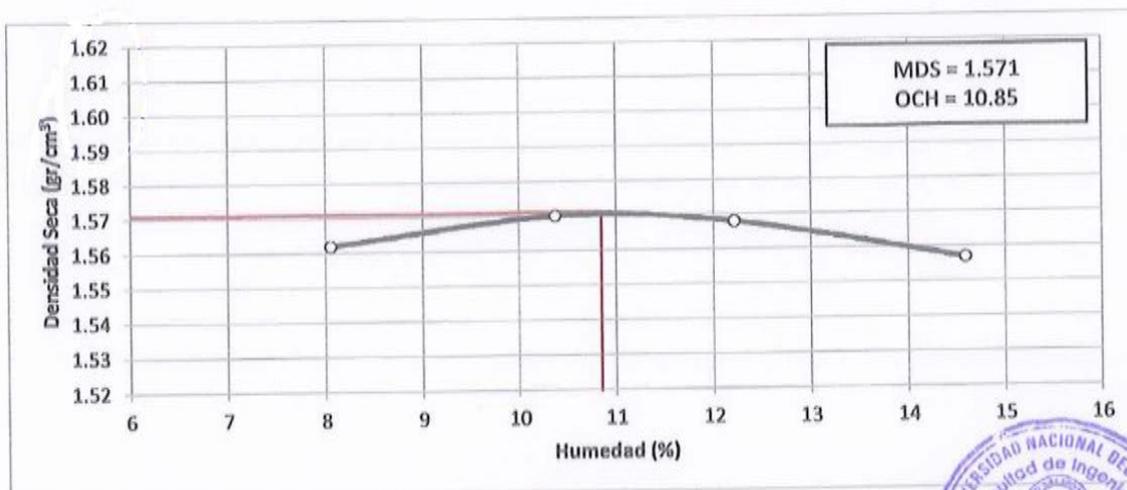
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5415.00	5439.00	5457.00	5465.00				
Peso del molde	gr	4156.00	4156.00	4156.00	4156.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1259.00	1283.00	1301.00	1309.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.303	1.327	1.346	1.354				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	86.655	85.359	102.487	96.078	113.833	93.831	108.355	102.540
Peso muestra seca + tara	gr	78.565	78.240	91.491	86.648	99.854	84.002	94.095	89.744
Peso del agua	gr	8.090	7.119	10.996	9.430	13.979	9.829	14.260	12.796
Peso de tara	gr	27.189	26.849	27.056	27.209	27.206	27.772	26.792	27.828
Peso de la muestra seca	gr	51.376	51.391	64.435	59.439	72.648	56.230	67.303	61.916
Contenido de humedad	%	14.80	16.47	16.47	16.47	18.36	18.36	20.93	20.93
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.135	1.139	1.139	1.139	1.137	1.137	1.120	1.120



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar. **Fecha:** 15/01/2018
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01. **Responsable:** Testistas
Estado de muestra: Húmeda compacta. **Calicata:** C-01
Dosificación: 2%Cal - 0%Ceniza

Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5524.00	5567.00	5593.00	5616.00				
Peso del molde	gr	3892.00	3892.00	3892.00	3892.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1632.00	1675.00	1701.00	1724.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.688	1.733	1.760	1.784				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	128.743	111.046	109.275	111.253	113.427	122.695	60.562	63.483
Peso muestra seca + tara	gr	121.419	104.693	101.150	102.960	103.464	112.181	55.176	57.681
Peso del agua	gr	7.324	6.353	8.125	8.293	9.963	10.514	5.386	5.802
Peso de tara	gr	27.215	28.320	22.216	23.523	24.109	23.525	18.379	17.758
Peso de la muestra seca	gr	94.204	76.373	78.934	79.437	79.355	88.656	36.797	39.923
Contenido de humedad	%	8.05		10.37		12.21		14.59	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.562		1.570		1.568		1.557	



PROCTOR ESTÁNDAR

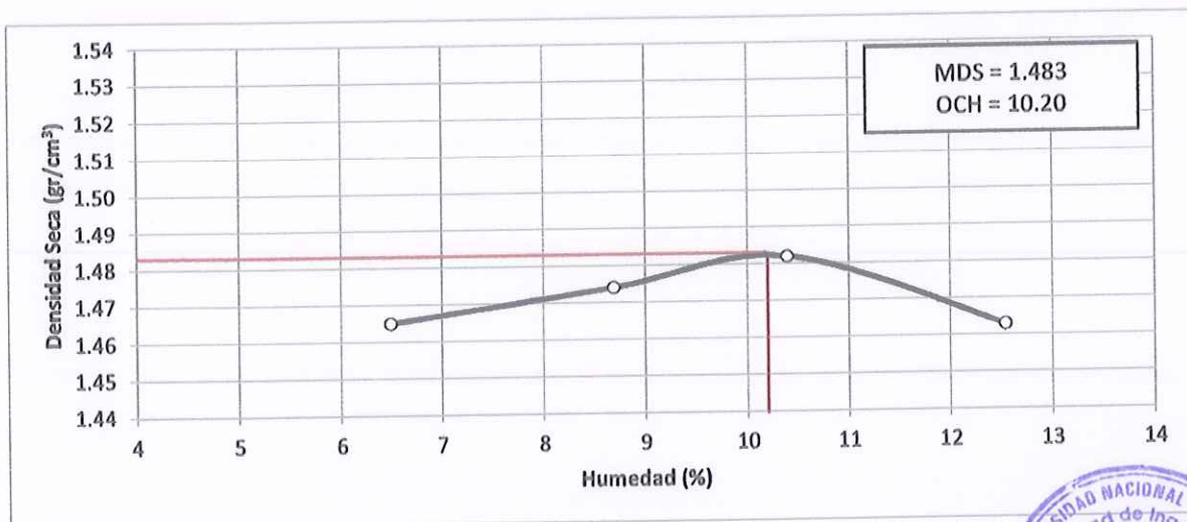
Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar. **Fecha:** 16/01/2018

Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01. **Responsable:** Tesistas

Estado de muestra: Húmeda compacta. **Calicata:** C-01

Dosificación: 2%Cal - 5%Ceniza

Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5664.00	5704.00	5737.00	5747.00				
Peso del molde	gr	4156.00	4156.00	4156.00	4156.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1508.00	1548.00	1581.00	1591.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.560	1.602	1.636	1.646				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	107.008	107.242	93.535	92.324	105.308	86.416	104.578	110.253
Peso muestra seca + tara	gr	102.459	101.560	88.181	86.010	97.267	80.091	96.526	100.134
Peso del agua	gr	4.549	5.682	5.354	6.314	8.041	6.325	8.052	10.119
Peso de tara	gr	26.945	19.769	20.605	19.218	22.300	17.208	30.266	21.838
Peso de la muestra seca	gr	75.514	81.791	67.576	66.792	74.967	62.883	66.260	78.296
Contenido de humedad	%	6.49		8.69		10.39		12.54	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.465	1.474	1.482	1.463				



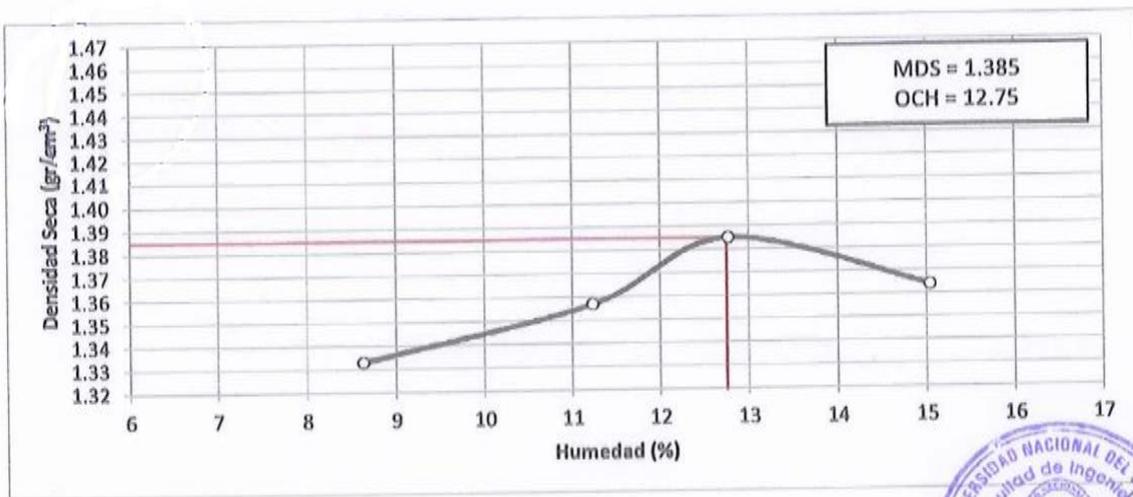
PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar. **Fecha:** 16/01/2018

Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01. **Responsable:** Tesistas

Estado de muestra: Húmeda compacta. **Calicata:** C-01 **Dosificación:** 2%Cal - 10%Ceniza

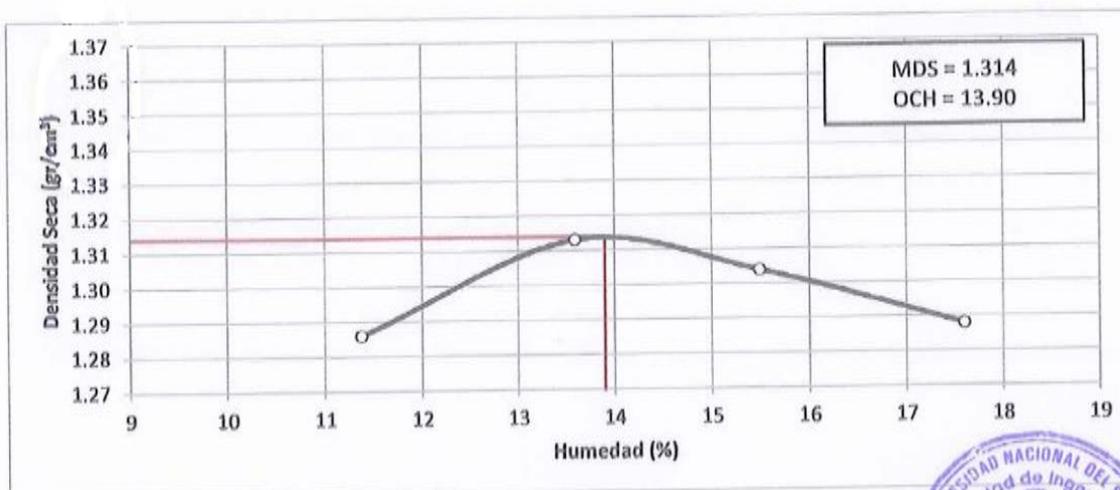
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5556.00	5615.00	5666.00	5673.00				
Peso del molde	gr	4156.00	4156.00	4156.00	4156.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1400.00	1459.00	1510.00	1517.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.448	1.509	1.562	1.569				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	108.385	114.617	119.992	112.958	125.078	127.179	105.766	133.355
Peso muestra seca + tara	gr	101.736	108.009	110.754	104.247	113.456	115.772	94.762	119.655
Peso del agua	gr	6.649	6.608	9.238	8.711	11.622	11.407	11.004	13.700
Peso de tara	gr	28.896	26.652	27.515	27.585	21.503	27.317	20.245	30.211
Peso de la muestra seca	gr	72.840	81.357	83.239	76.662	91.953	88.455	74.517	89.444
Contenido de humedad	%	8.63		11.23		12.77		15.04	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.333	1.357	1.385	1.364				



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar. **Fecha:** 17/01/2018
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01. **Responsable:** Tesisistas
Estado de muestra: Húmeda compacta. **Calicata:** C-01
Dosificación: 2%Cal - 15%Ceniza

Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5540.00	5598.00	5612.00	5620.00				
Peso del molde	gr	4156.00	4156.00	4156.00	4156.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1384.00	1442.00	1456.00	1464.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.432	1.492	1.506	1.515				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	132.804	124.979	100.035	123.248	138.670	129.349	164.315	136.365
Peso muestra seca + tara	gr	121.668	115.338	91.107	112.270	123.682	115.767	142.900	120.078
Peso del agua	gr	11.136	9.641	8.928	10.978	14.988	13.582	21.415	16.287
Peso de tara	gr	27.881	26.652	28.896	26.662	27.515	27.585	21.503	27.317
Peso de la muestra seca	gr	93.787	88.686	62.211	85.608	96.167	88.182	121.397	92.761
Contenido de humedad	%	11.37		13.59		15.49		17.60	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.286		1.313		1.304		1.288	

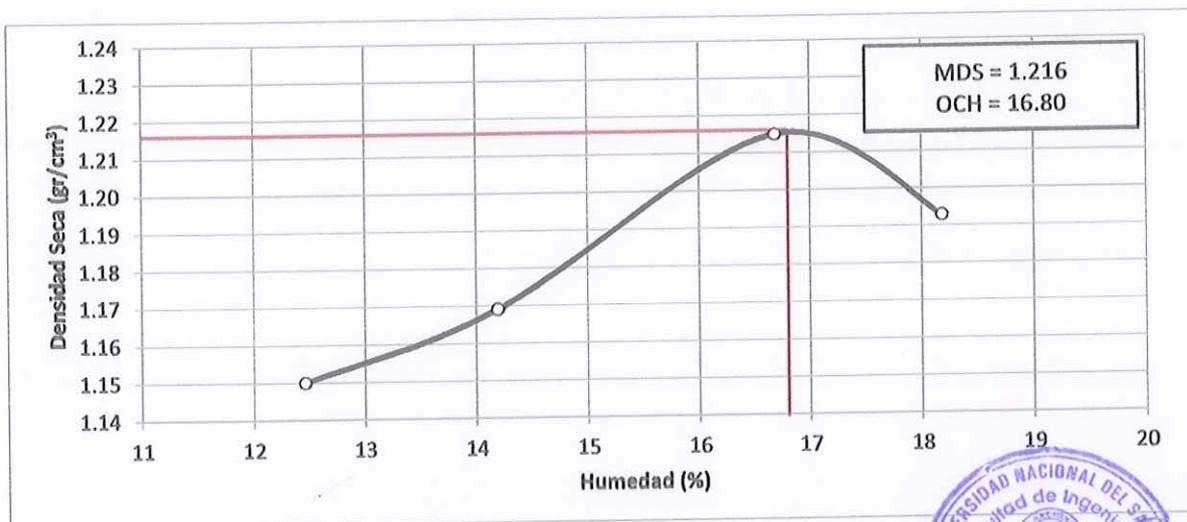




PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	17/01/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01.	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	2%Cal - 20%Ceniza

Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5406.00	5446.00	5527.00	5519.00				
Peso del molde	gr	4156.00	4156.00	4156.00	4156.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1250.00	1290.00	1371.00	1363.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.293	1.335	1.418	1.410				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	91.660	102.740	74.350	96.011	117.335	103.372	115.465	121.863
Peso muestra seca + tara	gr	83.035	94.570	67.227	86.515	105.042	90.467	101.022	107.612
Peso del agua	gr	8.625	8.170	7.123	9.496	12.293	12.905	14.443	14.251
Peso de tara	gr	21.371	19.846	17.243	19.316	22.334	20.703	23.445	27.317
Peso de la muestra seca	gr	61.664	74.724	49.984	67.199	82.708	69.764	77.577	80.295
Contenido de humedad	%	12.46		14.19		16.68		18.18	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.150	1.169	1.215	1.193				



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.

Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01.

Estado de muestra: Húmeda compacta.

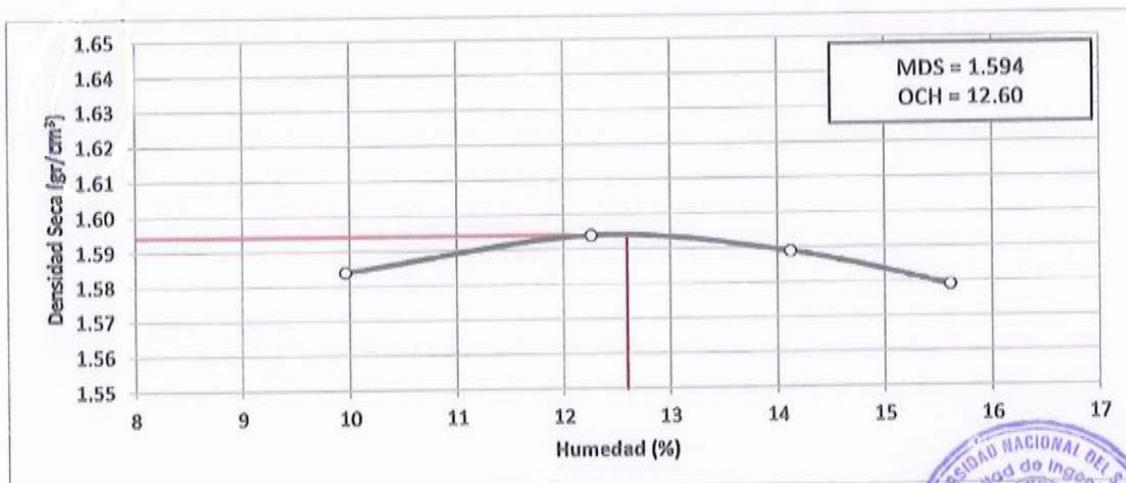
Fecha: 18/01/2018

Responsable: Tesistas

Calicata: C-01

Dosificación: 4%Cal - 0% Ceniza

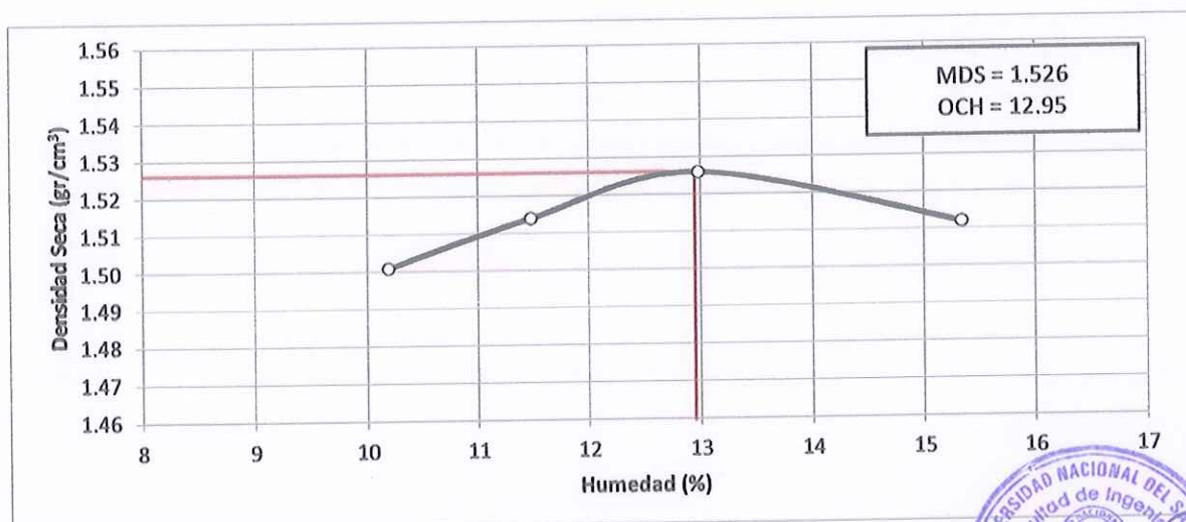
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5840.00	5885.00	5908.00	5921.00				
Peso del molde	gr	4156.00	4156.00	4156.00	4156.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1684.00	1729.00	1752.00	1765.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.742	1.789	1.813	1.826				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	138.676	130.951	149.671	97.924	149.639	120.383	115.575	120.897
Peso muestra seca + tara	gr	129.084	120.873	136.801	89.206	134.728	107.533	103.475	106.478
Peso del agua	gr	9.592	10.078	12.870	8.718	14.911	12.850	12.100	14.419
Peso de tara	gr	30.286	22.185	29.800	19.400	22.595	21.492	19.849	20.441
Peso de la muestra seca	gr	98.798	98.688	107.001	69.806	112.133	86.041	83.626	86.037
Contenido de humedad	%	9.96		12.26		14.12		15.61	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.584		1.594		1.589		1.579	



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar. **Fecha:** 18/01/2018
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01. **Responsable:** Tesistas
Estado de muestra: Húmeda compacta. **Calicata:** C-01
Dosificación: 4%Cal - 5%Ceniza

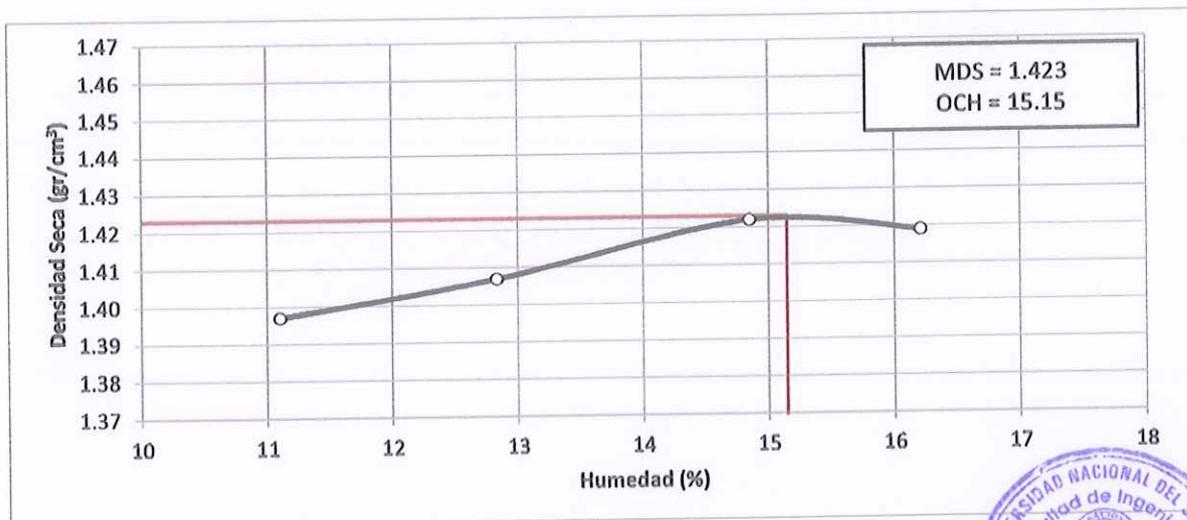
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5755.00	5788.00	5822.00	5842.00				
Peso del molde	gr	4156.00	4156.00	4156.00	4156.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1599.00	1632.00	1666.00	1686.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.654	1.688	1.724	1.744				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	125.394	134.510	139.908	127.323	148.576	157.073	147.671	141.723
Peso muestra seca + tara	gr	116.021	125.050	128.497	116.903	133.857	142.290	131.459	127.033
Peso del agua	gr	9.373	9.460	11.411	10.420	14.719	14.783	16.212	14.690
Peso de tara	gr	28.896	26.662	27.515	27.585	21.503	27.317	30.284	26.745
Peso de la muestra seca	gr	87.125	98.388	100.982	89.318	112.354	114.973	101.175	100.288
Contenido de humedad	%	10.19		11.48		12.98		15.34	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.501	1.514	1.526	1.512				



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	19/01/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01.	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	4%Cal - 10%Ceniza

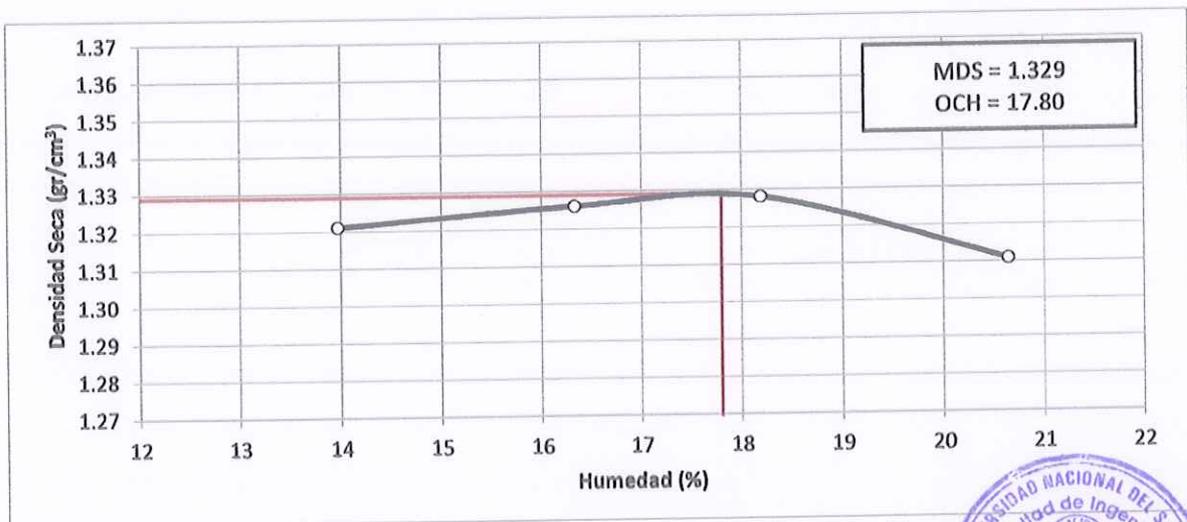
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5656.00	5691.00	5734.00	5750.00				
Peso del molde	gr	4156.00	4156.00	4156.00	4156.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1500.00	1535.00	1578.00	1594.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.552	1.588	1.633	1.649				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	100.202	111.469	103.989	106.292	120.045	122.798	141.128	131.312
Peso muestra seca + tara	gr	92.972	103.099	95.103	97.640	108.151	110.406	125.111	117.019
Peso del agua	gr	7.230	8.370	8.886	8.652	11.894	12.392	16.017	14.293
Peso de tara	gr	28.321	27.174	26.870	29.167	27.850	27.140	28.130	27.125
Peso de la muestra seca	gr	64.651	75.925	68.233	68.473	80.301	83.266	96.981	89.894
Contenido de humedad	%	11.10		12.83		14.85		16.21	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.397		1.407		1.422		1.419	



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	19/01/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01.	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	4%Cal - 15%Ceniza

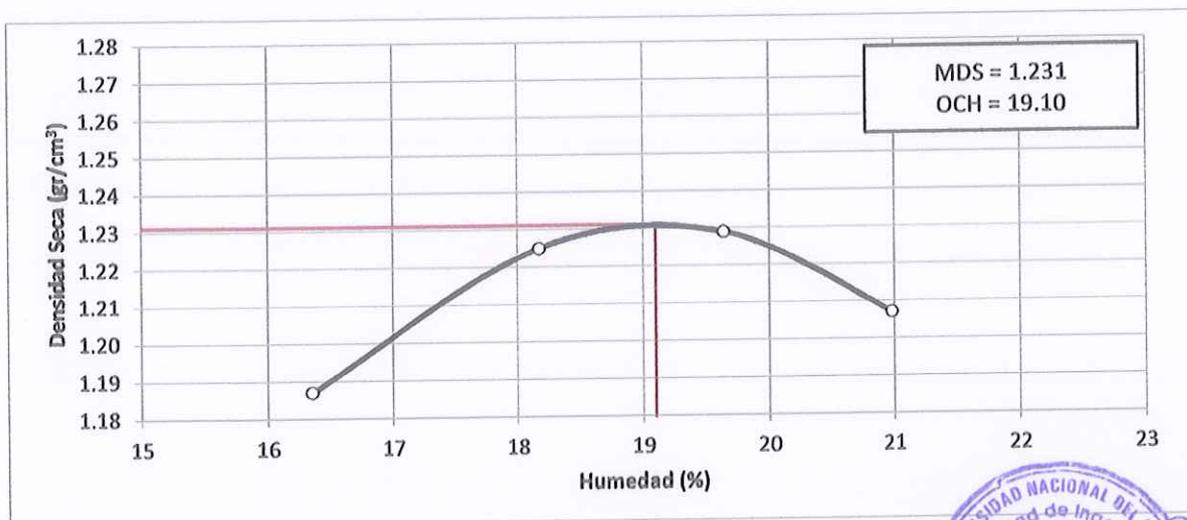
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5612.00	5646.00	5673.00	5684.00				
Peso del molde	gr	4156.00	4156.00	4156.00	4156.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1456.00	1490.00	1517.00	1528.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.506	1.542	1.569	1.581				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	105.360	110.387	103.513	94.370	106.548	110.579	109.588	114.976
Peso muestra seca + tara	gr	95.175	101.020	92.701	85.107	94.516	97.692	95.547	99.931
Peso del agua	gr	10.185	9.367	10.812	9.263	12.032	12.887	14.041	15.045
Peso de tara	gr	26.870	29.167	27.850	27.140	28.130	27.125	27.881	26.652
Peso de la muestra seca	gr	68.305	71.853	64.851	57.967	66.386	70.567	67.666	73.279
Contenido de humedad	%	13.97		16.33		18.19		20.64	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.321		1.326		1.328		1.311	



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	22/01/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01.	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	4%Cal - 20%Ceniza

Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5491.00	5555.00	5577.00	5567.00				
Peso del molde	gr	4156.00	4156.00	4156.00	4156.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1335.00	1399.00	1421.00	1411.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.381	1.447	1.470	1.460				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	102.856	106.611	106.720	102.867	108.794	99.589	111.589	100.085
Peso muestra seca + tara	gr	92.691	94.987	94.763	91.047	95.563	86.664	98.287	86.509
Peso del agua	gr	10.165	11.624	11.957	11.820	13.231	12.925	13.302	13.576
Peso de tara	gr	27.775	26.783	27.391	27.457	27.608	21.394	28.998	26.865
Peso de la muestra seca	gr	64.916	68.204	67.372	63.590	67.955	65.270	69.289	59.644
Contenido de humedad	%	16.35		18.17		19.64		20.98	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.187		1.225		1.229		1.207	

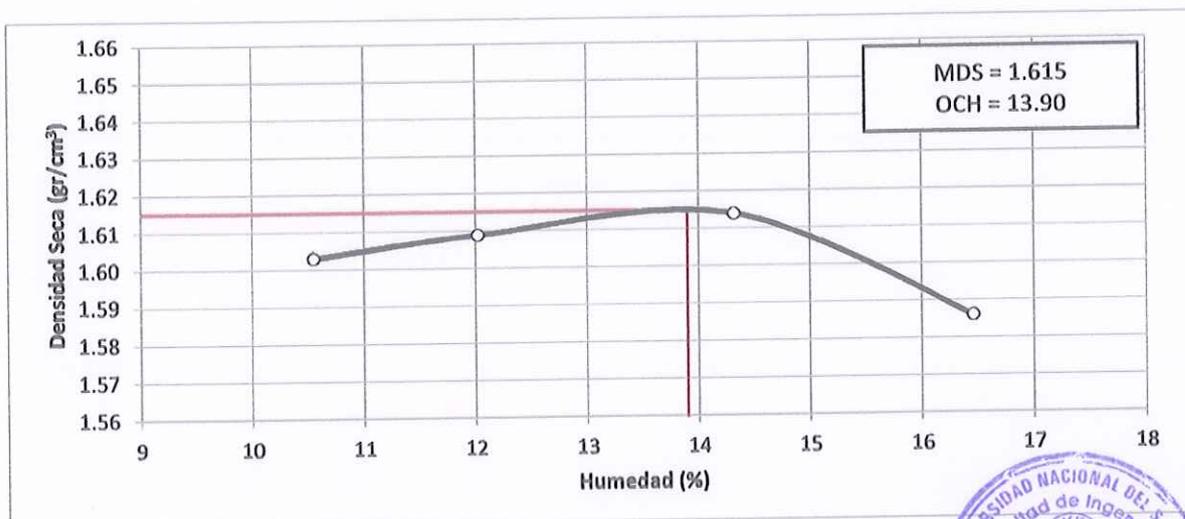




PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	22/01/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01.	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	6%Cal - 0%Ceniza

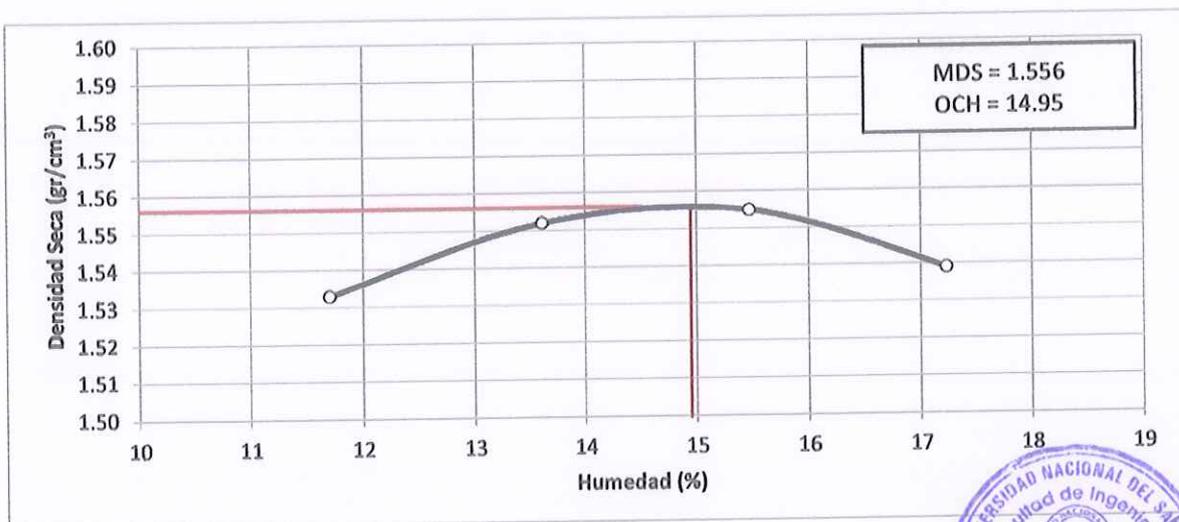
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5605.00	5634.00	5675.00	5677.00				
Peso del molde	gr	3892.00	3892.00	3892.00	3892.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1713.00	1742.00	1783.00	1785.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.772	1.802	1.845	1.847				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	113.239	96.509	103.362	107.080	107.608	125.088	127.195	99.204
Peso muestra seca + tara	gr	106.705	89.472	95.295	98.685	97.661	112.839	112.438	89.771
Peso del agua	gr	6.534	7.037	8.067	8.395	9.947	12.249	14.757	9.433
Peso de tara	gr	39.905	27.299	27.977	29.022	26.703	29.049	28.328	28.382
Peso de la muestra seca	gr	66.800	62.173	67.318	69.663	70.958	83.790	84.110	61.389
Contenido de humedad	%	10.55		12.02		14.32		16.46	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.603	1.609	1.614	1.586				



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	23/01/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01.	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	6%Cal - 5%Ceniza

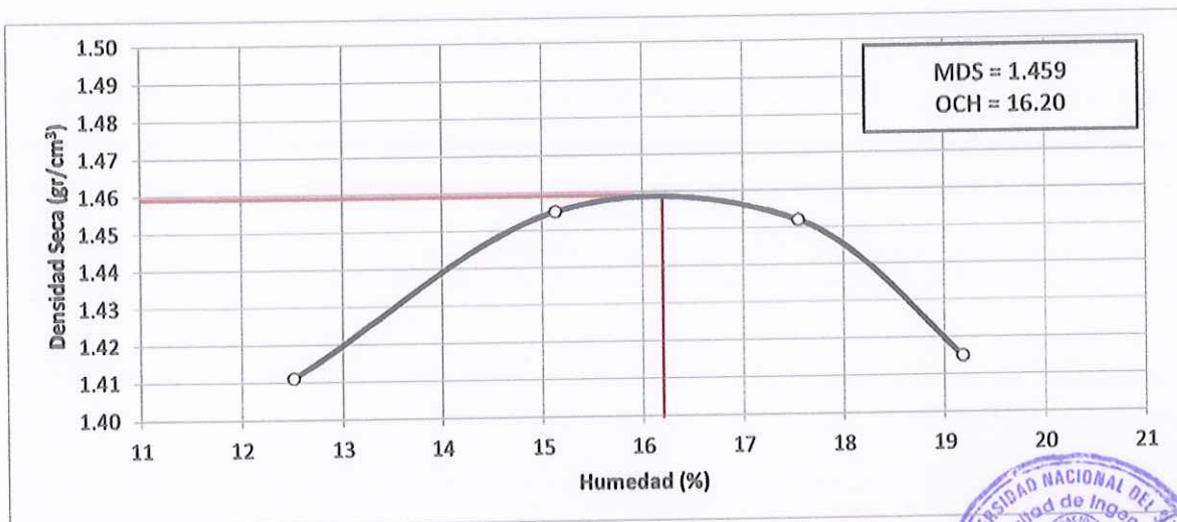
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5811.00	5860.00	5891.00	5900.00				
Peso del molde	gr	4156.00	4156.00	4156.00	4156.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1655.00	1704.00	1735.00	1744.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.712	1.763	1.795	1.804				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	129.436	144.728	146.238	128.883	134.583	151.376	129.951	134.360
Peso muestra seca + tara	gr	118.406	132.895	132.296	116.609	120.347	134.632	115.627	118.262
Peso del agua	gr	11.030	11.833	13.942	12.274	14.236	16.744	14.324	16.098
Peso de tara	gr	27.646	27.681	28.417	27.608	27.835	26.923	30.145	27.310
Peso de la muestra seca	gr	90.760	105.214	103.879	89.001	92.512	107.709	85.482	90.952
Contenido de humedad	%	11.70		13.61		15.47		17.23	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.533	1.552	1.555	1.539				



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	23/01/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01.	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	6%Cal - 10%Ceniza

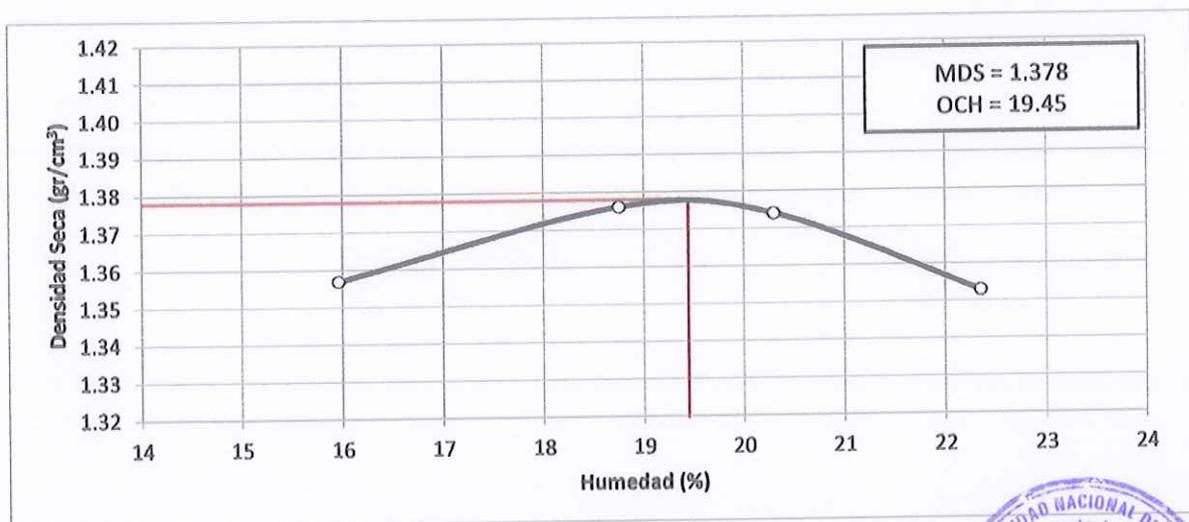
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5690.00	5775.00	5806.00	5786.00				
Peso del molde	gr	4156.00	4156.00	4156.00	4156.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1534.00	1619.00	1650.00	1630.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.587	1.675	1.707	1.686				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	118.656	108.797	116.221	129.434	114.402	112.871	117.731	125.471
Peso muestra seca + tara	gr	108.653	99.607	104.535	115.833	101.477	100.124	103.671	109.375
Peso del agua	gr	10.003	9.190	11.686	13.601	12.925	12.747	14.060	16.096
Peso de tara	gr	27.835	26.923	26.162	27.272	27.646	27.681	28.417	27.608
Peso de la muestra seca	gr	80.818	72.684	78.373	88.561	73.831	72.443	75.254	81.767
Contenido de humedad	%	12.51		15.13		17.55		19.18	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.411	1.455	1.452	1.415				



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	24/01/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01.	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	6%Cal - 15%Ceniza

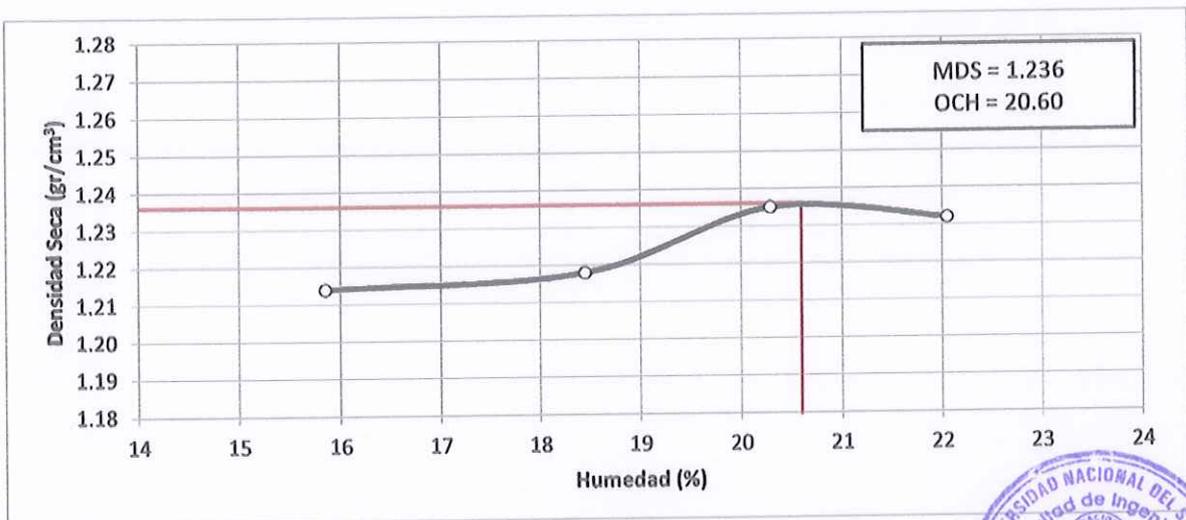
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5413.00	5471.00	5490.00	5493.00				
Peso del molde	gr	3892.00	3892.00	3892.00	3892.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1521.00	1579.00	1598.00	1601.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.574	1.634	1.653	1.656				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	82.441	75.397	75.300	75.558	82.238	106.275	99.648	85.391
Peso muestra seca + tara	gr	74.752	68.854	67.730	67.971	73.178	91.702	86.286	75.082
Peso del agua	gr	7.689	6.543	7.570	7.587	9.060	14.573	13.362	10.309
Peso de tara	gr	27.775	26.783	27.391	27.457	27.608	21.394	28.998	26.856
Peso de la muestra seca	gr	46.977	42.071	40.339	40.514	45.570	70.308	57.288	48.226
Contenido de humedad	%	15.96		18.75		20.30		22.35	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.357		1.376		1.374		1.353	



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	24/01/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01.	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	6%Cal - 20%Ceniza

Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5515.00	5551.00	5592.00	5610.00				
Peso del molde	gr	4156.00	4156.00	4156.00	4156.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1359.00	1395.00	1436.00	1454.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.406	1.443	1.486	1.504				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	84.783	96.669	95.936	107.922	109.554	98.359	112.238	98.382
Peso muestra seca + tara	gr	77.211	86.973	85.261	95.566	95.666	86.435	97.128	85.432
Peso del agua	gr	7.572	9.696	10.675	12.356	13.888	11.924	15.110	12.950
Peso de tara	gr	28.321	27.174	26.870	29.167	27.850	27.140	28.130	27.125
Peso de la muestra seca	gr	48.890	59.799	58.391	66.399	67.816	59.295	68.998	58.307
Contenido de humedad	%	15.85		18.45		20.29		22.05	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.214	1.218	1.235	1.232				





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CD-A

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	29/01/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	Suelo Natural

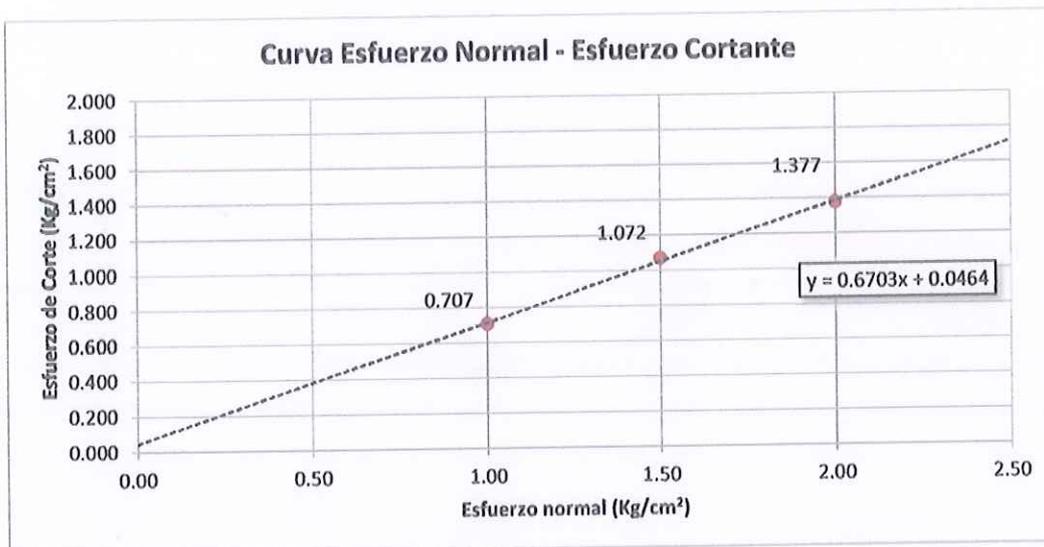
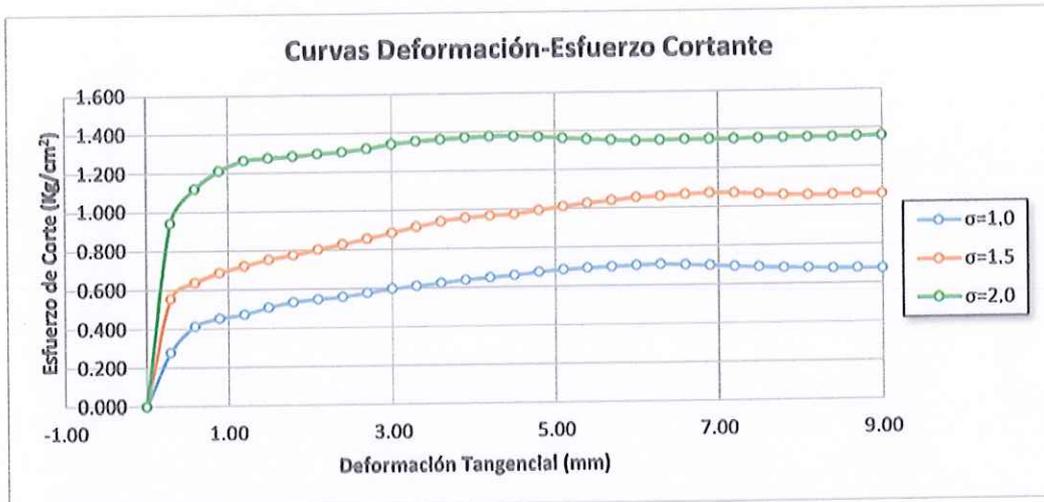
DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.476		1.476		1.476	
HUMEDAD (%)	0.58		0.58		0.58	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.30	27.82	0.279	55.31	0.555	93.91	0.942
0.60	41.16	0.414	63.39	0.638	111.29	1.120
0.90	45.00	0.454	68.24	0.689	120.19	1.213
1.20	46.82	0.474	71.48	0.723	125.04	1.266
1.50	50.05	0.508	74.31	0.754	125.85	1.278
1.80	52.48	0.534	76.33	0.777	126.25	1.286
2.10	53.61	0.548	78.75	0.804	127.06	1.298
2.40	54.50	0.558	80.98	0.830	127.46	1.306
2.70	56.12	0.577	83.40	0.857	128.59	1.322
3.00	57.93	0.597	85.83	0.885	130.29	1.343
3.30	58.95	0.610	88.45	0.915	131.10	1.356
3.60	60.16	0.624	90.68	0.941	131.51	1.364
3.90	61.37	0.639	92.09	0.958	131.91	1.373
4.20	62.18	0.649	92.70	0.968	131.91	1.377
4.50	62.99	0.660	93.10	0.975	131.51	1.377
4.80	64.20	0.674	94.52	0.993	130.70	1.373
5.10	65.01	0.685	95.93	1.011	129.48	1.364
5.40	65.41	0.691	96.98	1.025	128.47	1.358
5.70	65.82	0.698	97.95	1.039	127.46	1.352
6.00	66.02	0.702	98.88	1.052	126.65	1.347
6.30	66.22	0.707	99.17	1.058	126.45	1.350
6.60	65.62	0.703	99.57	1.066	126.25	1.352
6.90	65.01	0.698	99.77	1.072	125.85	1.352
7.20	64.20	0.692	99.37	1.071	125.44	1.352
7.50	63.59	0.688	98.36	1.063	125.24	1.354
7.80	62.99	0.683	97.55	1.058	125.04	1.356
8.10	62.58	0.681	96.94	1.055	124.63	1.356
8.40	62.10	0.678	96.78	1.057	124.23	1.356
8.70	61.78	0.677	96.54	1.057	124.03	1.358
9.00	61.37	0.674	96.34	1.059	123.82	1.361



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01
Estado de muestra: Remoldeada en laboratorio.

Fecha: 29/01/2018
Responsable: Testistas
Calicata: C-01
Dosificación: Suelo Natural



$C = 0.0464 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 33.83^\circ$

$\tau = 0.0464 + \sigma \tan 33.83^\circ$





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CD-01

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

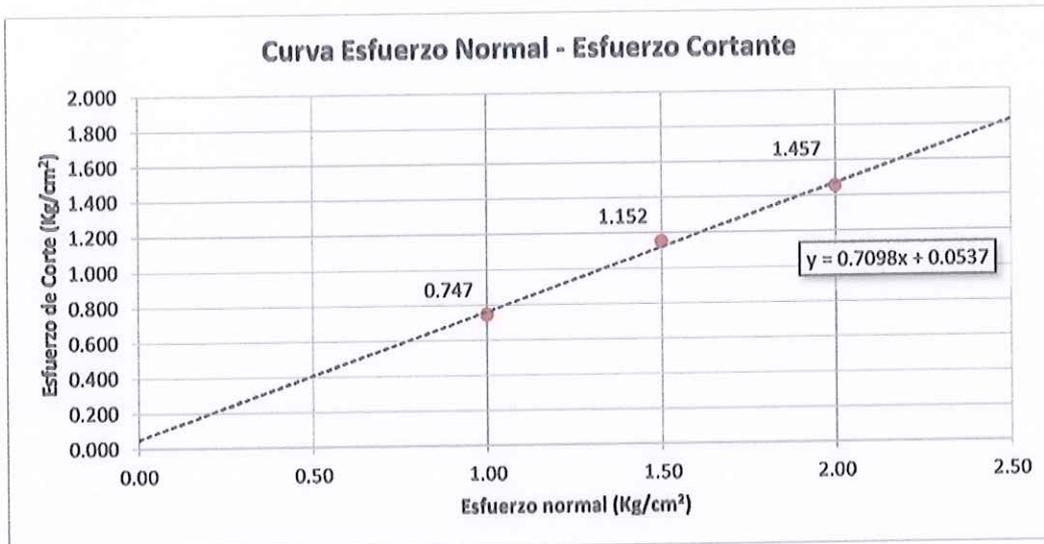
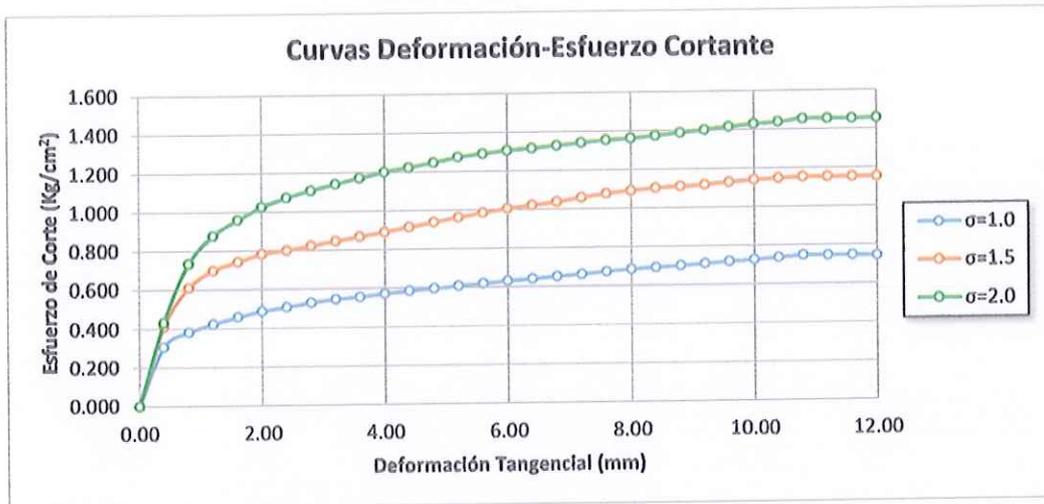
Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	29/01/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Testistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	0% Cal - 0% Ceniza

DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80	
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.523		1.523		1.523	
HUMEDAD (%)	10.50		10.50		10.50	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	30.65	0.308	40.76	0.409	43.18	0.434
0.80	37.93	0.382	60.56	0.611	72.69	0.733
1.20	41.97	0.425	69.05	0.699	86.84	0.879
1.60	45.20	0.459	73.09	0.743	94.52	0.961
2.00	47.83	0.488	76.65	0.782	100.58	1.026
2.40	49.65	0.509	78.15	0.801	104.83	1.074
2.80	51.47	0.529	79.97	0.823	107.86	1.110
3.20	52.88	0.546	81.91	0.846	110.49	1.141
3.60	53.69	0.557	83.60	0.867	112.91	1.171
4.00	54.90	0.572	85.42	0.890	115.34	1.201
4.40	55.91	0.585	87.36	0.914	116.95	1.223
4.80	56.72	0.596	89.26	0.938	118.77	1.248
5.20	57.73	0.609	91.08	0.961	120.71	1.273
5.60	58.46	0.619	92.90	0.984	121.80	1.290
6.00	59.35	0.631	94.32	1.003	122.73	1.306
6.40	59.96	0.641	95.45	1.020	123.14	1.316
6.80	60.68	0.651	96.54	1.036	123.82	1.329
7.20	61.37	0.661	98.08	1.057	124.55	1.342
7.60	62.18	0.673	99.37	1.075	125.04	1.353
8.00	62.99	0.685	100.18	1.089	125.24	1.361
8.40	63.39	0.692	100.99	1.102	125.85	1.374
8.80	63.92	0.701	101.19	1.110	126.57	1.388
9.20	64.40	0.709	101.39	1.117	127.26	1.402
9.60	65.01	0.719	102.00	1.128	127.99	1.416
10.00	65.41	0.727	102.52	1.139	128.59	1.429
10.40	66.02	0.737	102.60	1.145	128.88	1.438
10.80	66.63	0.747	102.72	1.152	129.69	1.454
11.20	66.22	0.746	102.20	1.151	129.08	1.454
11.60	65.94	0.746	101.79	1.152	128.47	1.458
12.00	65.41	0.743	101.31	1.151	128.19	1.457



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	29/01/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Testistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	0% Cal - 0% Ceniza



$C = 0.0537 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 35.37^\circ$

$\tau = 0.0537 + \sigma \tan 35.37^\circ$





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CD-02

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

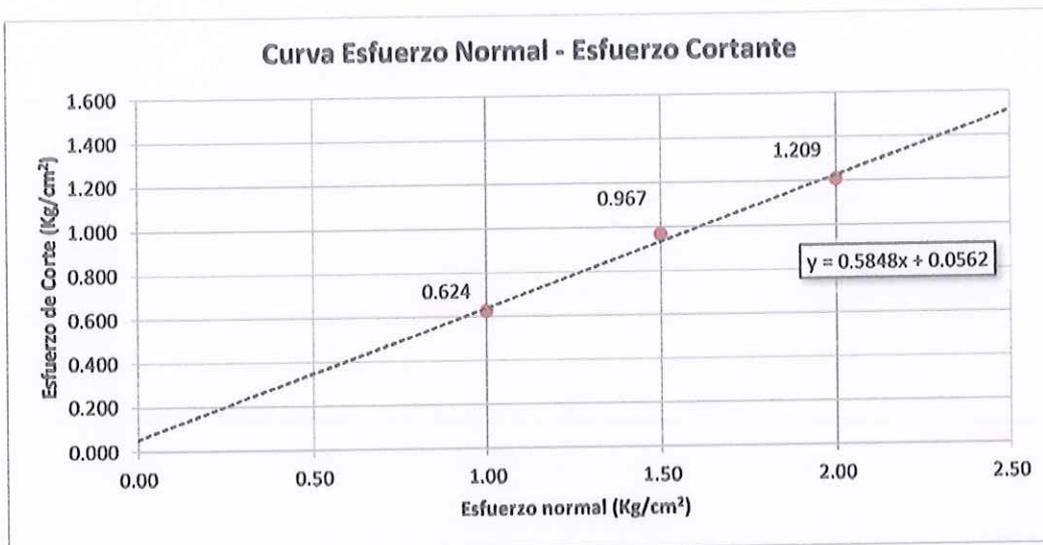
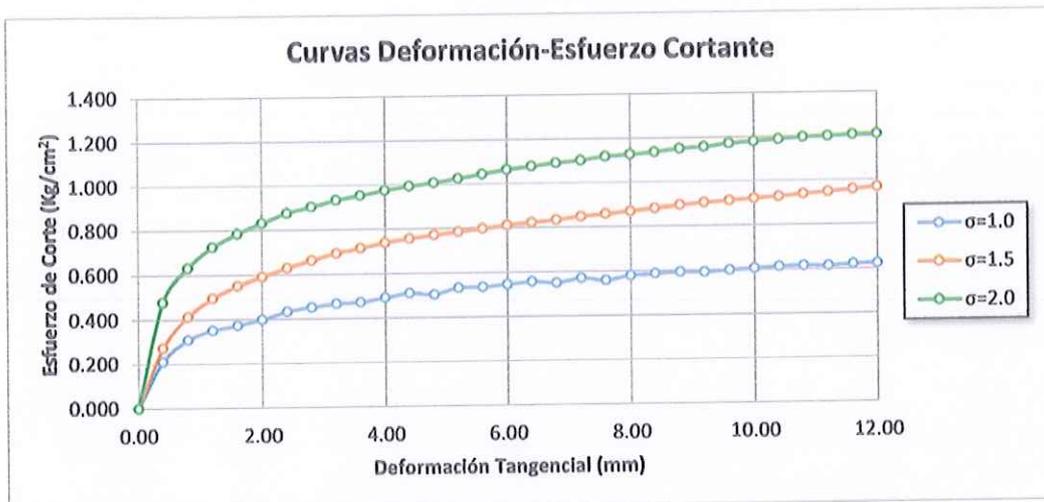
Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	29/01/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	0% Cal - 5% Ceniza

DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	DENSIDAD (gr/cm ³)	HUMEDAD (%)	ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	
	1.80	100.00	1.385	10.35	1.00	
	1.80	100.00	1.385	10.35	1.50	2.00
	1.80	100.00	1.385	10.35	2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	20.95	0.210	27.01	0.271	47.63	0.478
0.80	30.65	0.309	40.76	0.411	62.58	0.631
1.20	34.69	0.351	48.84	0.494	71.48	0.723
1.60	36.71	0.373	54.09	0.550	77.14	0.784
2.00	39.14	0.399	57.93	0.591	81.58	0.832
2.40	42.37	0.434	61.57	0.631	85.62	0.877
2.80	43.99	0.453	64.52	0.664	88.05	0.906
3.20	45.20	0.467	67.23	0.695	90.48	0.935
3.60	45.61	0.473	69.05	0.716	92.09	0.955
4.00	47.22	0.492	70.99	0.739	93.83	0.977
4.40	48.84	0.511	72.41	0.757	95.12	0.995
4.80	48.03	0.505	73.50	0.772	96.13	1.010
5.20	50.46	0.532	74.43	0.785	97.35	1.027
5.60	50.46	0.534	75.32	0.798	98.76	1.046
6.00	51.27	0.545	76.33	0.812	100.10	1.065
6.40	52.07	0.556	77.06	0.823	100.99	1.079
6.80	51.27	0.550	77.74	0.834	101.79	1.092
7.20	52.88	0.570	78.67	0.848	102.40	1.103
7.60	51.67	0.559	79.28	0.858	103.41	1.119
8.00	53.29	0.579	79.97	0.869	103.73	1.128
8.40	53.69	0.586	80.69	0.881	104.14	1.137
8.80	54.09	0.593	81.58	0.895	105.03	1.152
9.20	53.69	0.591	82.11	0.904	105.15	1.158
9.60	54.09	0.598	82.51	0.913	105.96	1.172
10.00	54.50	0.606	82.92	0.921	106.24	1.180
10.40	54.90	0.613	83.20	0.929	106.56	1.189
10.80	54.90	0.616	83.73	0.939	106.77	1.197
11.20	54.50	0.614	84.13	0.947	106.65	1.201
11.60	54.90	0.621	84.61	0.957	106.65	1.206
12.00	54.90	0.624	85.14	0.967	106.36	1.209



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	29/01/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	0% Cal - 5% Ceniza



$C = 0.0562 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 30.32^\circ$

$\tau = 0.0562 + \sigma \tan 30.32^\circ$





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CD-03

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	30/01/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Testistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	0% Cal - 10% Ceniza

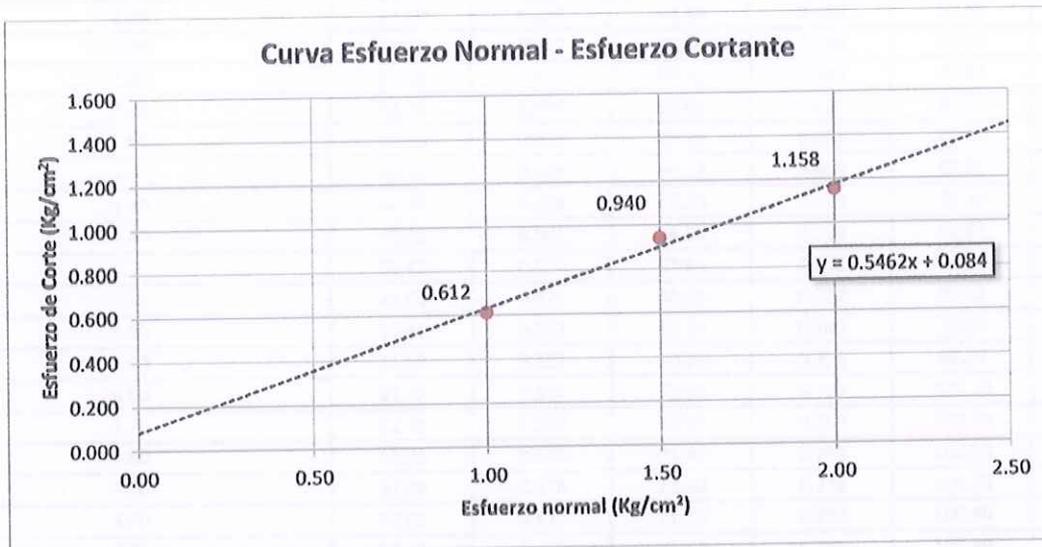
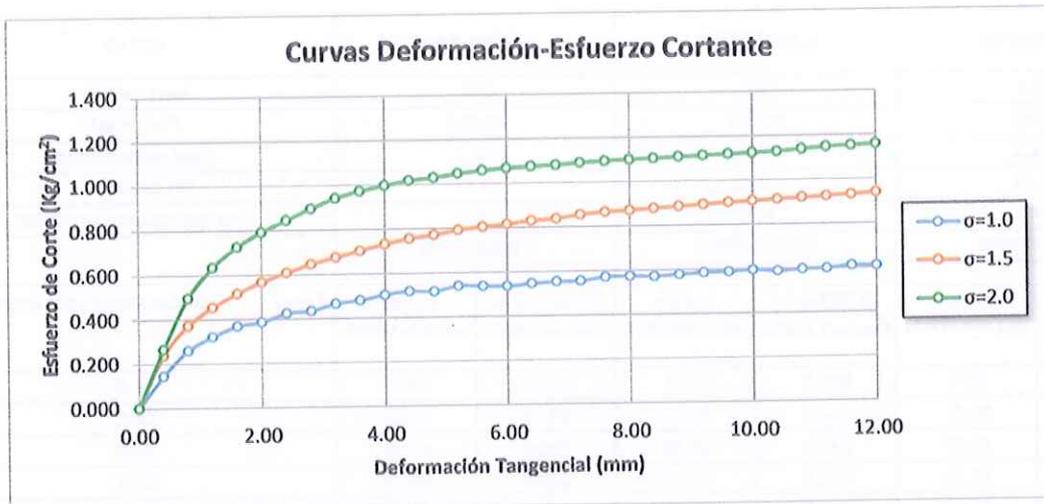
DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.276		1.276		1.276	
HUMEDAD (%)	12.70		12.70		12.70	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	14.48	0.145	23.78	0.239	26.61	0.267
0.80	25.80	0.260	36.71	0.370	49.24	0.496
1.20	31.86	0.322	44.80	0.453	62.58	0.633
1.60	36.31	0.369	50.66	0.515	71.48	0.726
2.00	37.93	0.387	55.51	0.566	77.54	0.791
2.40	41.56	0.426	59.35	0.608	82.39	0.844
2.80	42.37	0.436	62.79	0.646	87.04	0.895
3.20	45.20	0.467	65.41	0.676	91.08	0.941
3.60	46.41	0.481	67.84	0.704	93.71	0.972
4.00	48.44	0.505	70.26	0.732	95.53	0.995
4.40	49.65	0.519	72.29	0.756	97.15	1.016
4.80	49.24	0.517	73.50	0.772	97.95	1.029
5.20	51.27	0.541	75.11	0.792	99.17	1.046
5.60	50.86	0.539	76.04	0.806	99.98	1.059
6.00	50.46	0.537	76.73	0.816	100.38	1.068
6.40	51.27	0.548	77.74	0.831	100.58	1.075
6.80	51.67	0.554	78.15	0.838	100.58	1.079
7.20	51.67	0.557	79.36	0.855	100.99	1.088
7.60	52.88	0.572	79.97	0.865	101.19	1.095
8.00	52.88	0.575	80.17	0.871	101.19	1.100
8.40	52.48	0.573	80.57	0.880	101.19	1.105
8.80	52.88	0.580	80.90	0.887	101.19	1.110
9.20	53.29	0.587	81.18	0.894	101.19	1.114
9.60	53.29	0.589	81.50	0.902	101.19	1.119
10.00	53.69	0.597	81.70	0.908	101.19	1.124
10.40	52.88	0.590	81.91	0.914	101.19	1.129
10.80	53.29	0.597	82.11	0.920	101.51	1.138
11.20	53.29	0.600	82.19	0.926	101.92	1.148
11.60	54.09	0.612	82.39	0.932	101.92	1.152
12.00	53.69	0.610	82.71	0.940	101.92	1.158



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01
Estado de muestra: Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.

Fecha: 30/01/2018
Responsable: Tesistas
Calicata: C-01
Dosificación: 0% Cal - 10% Ceniza



$C = 0.084 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 28.64^\circ$

$\tau = 0.084 + \sigma \tan 28.64^\circ$





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CD-04

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

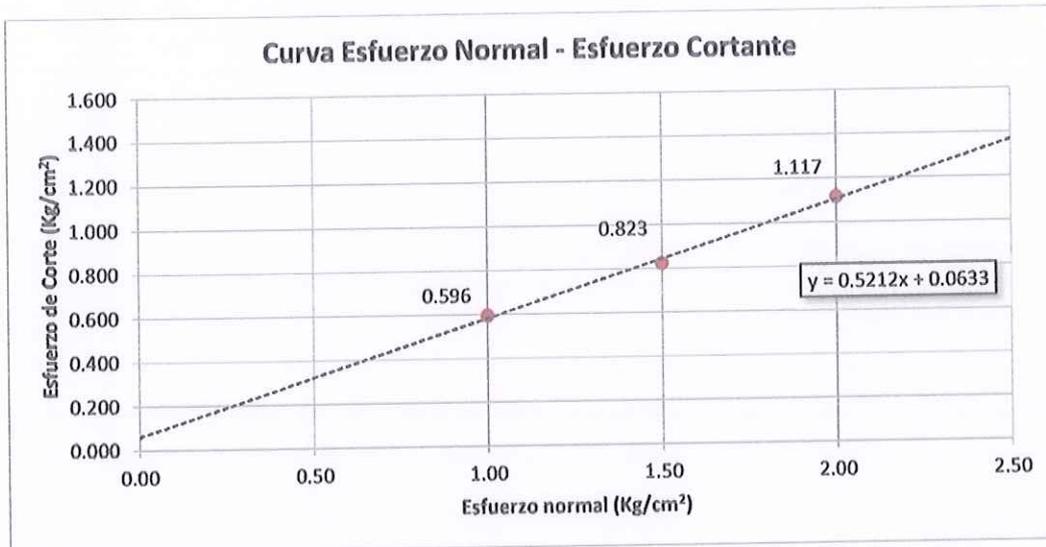
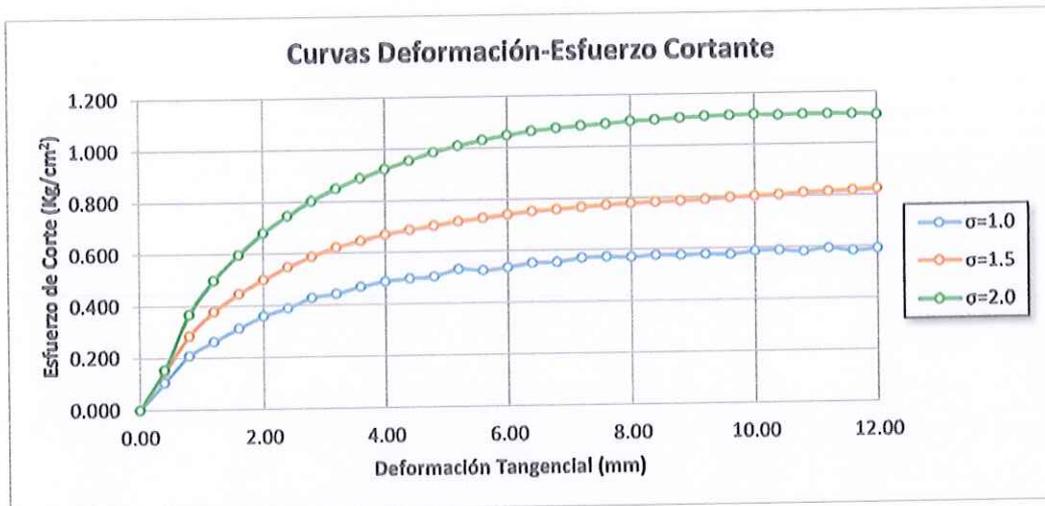
Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	30/01/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Testistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	0% Cal - 15% Ceniza

DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.213		1.213		1.213	
HUMEDAD (%)	14.65		14.65		14.65	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	10.44	0.105	14.68	0.147	15.29	0.153
0.80	20.54	0.207	28.22	0.285	36.31	0.366
1.20	25.80	0.261	37.32	0.378	49.24	0.498
1.60	30.65	0.311	43.79	0.445	58.74	0.597
2.00	35.10	0.358	48.84	0.498	66.63	0.680
2.40	37.93	0.389	53.29	0.546	72.69	0.745
2.80	41.56	0.428	56.92	0.586	77.94	0.802
3.20	42.78	0.442	60.08	0.621	82.19	0.849
3.60	45.20	0.469	62.18	0.645	85.62	0.888
4.00	46.82	0.488	64.12	0.668	88.66	0.924
4.40	47.63	0.498	65.53	0.686	91.28	0.955
4.80	48.03	0.505	66.63	0.700	93.83	0.986
5.20	50.46	0.532	67.84	0.716	95.73	1.010
5.60	49.65	0.526	68.65	0.727	97.35	1.031
6.00	50.46	0.537	69.58	0.740	98.56	1.049
6.40	51.67	0.552	70.26	0.751	99.57	1.064
6.80	51.67	0.554	70.59	0.757	100.10	1.074
7.20	52.88	0.570	70.99	0.765	100.38	1.082
7.60	52.88	0.572	71.40	0.773	100.58	1.089
8.00	52.48	0.570	71.60	0.778	100.90	1.097
8.40	52.88	0.577	71.60	0.782	100.90	1.102
8.80	52.48	0.575	71.60	0.785	100.99	1.107
9.20	52.48	0.578	71.68	0.789	100.99	1.112
9.60	52.07	0.576	71.88	0.795	100.70	1.114
10.00	52.88	0.588	72.00	0.800	100.50	1.117
10.40	52.88	0.590	72.00	0.804	99.77	1.114
10.80	52.07	0.584	72.29	0.810	99.49	1.115
11.20	52.88	0.596	72.29	0.814	99.09	1.116
11.60	51.67	0.584	72.29	0.818	98.56	1.115
12.00	52.07	0.592	72.41	0.823	97.75	1.111



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	30/01/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	0% Cal - 15% Ceniza



$C = 0.0633 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 27.53^\circ$

$\tau = 0.0633 + \sigma \tan 27.53^\circ$





ENSAYO DE CORTE DIRECTO

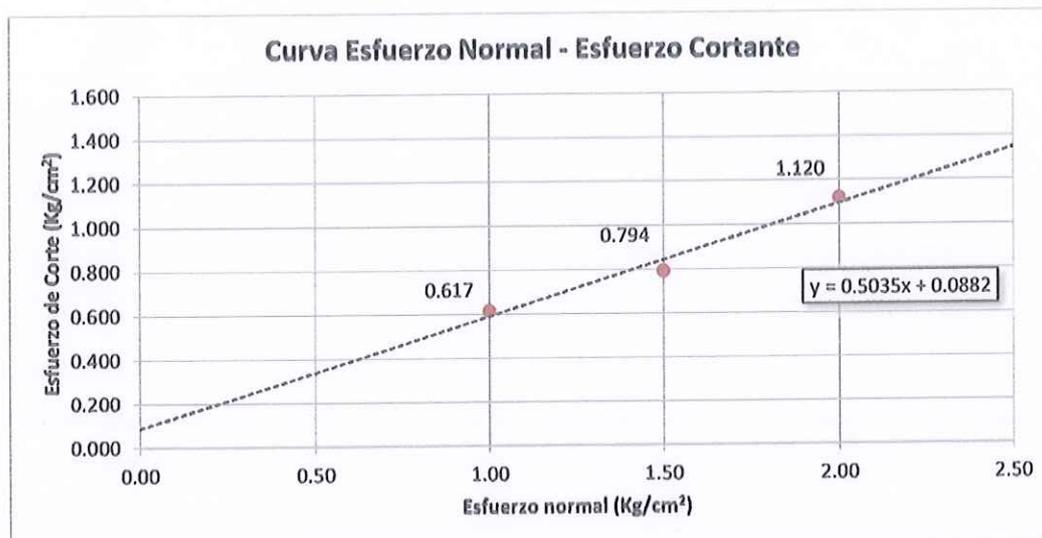
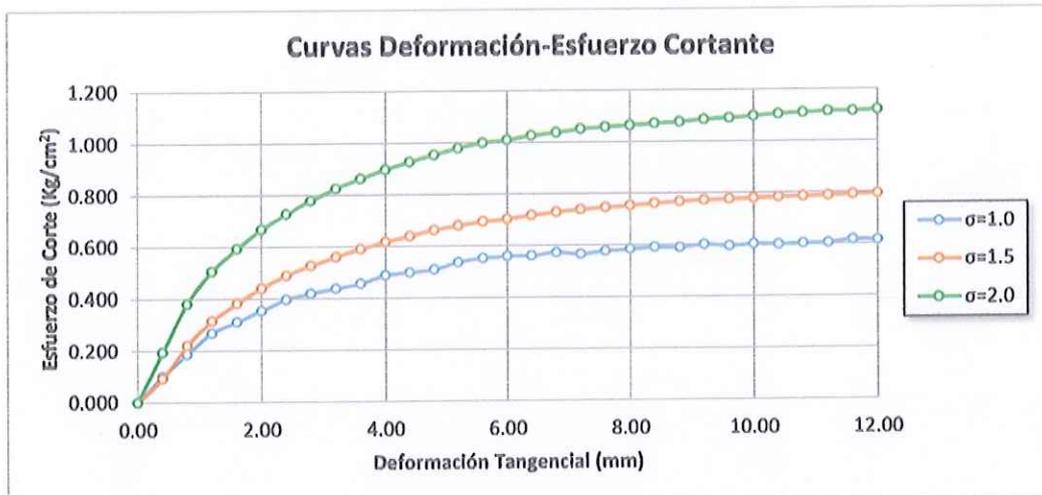
Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar. Fecha: 31/01/2018
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01 Responsable: Testistas
Estado de muestra: Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta. Calicata: C-01
Dosificación: 0% Cal - 20% Ceniza

DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.140		1.140		1.140	
HUMEDAD (%)	17.20		17.20		17.20	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	10.03	0.101	9.22	0.093	19.33	0.194
0.80	18.52	0.187	21.76	0.219	37.72	0.380
1.20	26.61	0.269	31.05	0.314	49.85	0.505
1.60	30.65	0.311	37.64	0.383	58.34	0.593
2.00	34.69	0.354	43.18	0.441	65.41	0.667
2.40	38.73	0.397	47.83	0.490	71.07	0.728
2.80	40.76	0.419	51.27	0.527	75.72	0.779
3.20	42.37	0.438	54.30	0.561	79.97	0.826
3.60	43.99	0.456	56.92	0.591	83.20	0.863
4.00	46.82	0.488	59.27	0.617	86.23	0.898
4.40	47.63	0.498	61.09	0.639	88.66	0.927
4.80	48.44	0.509	62.99	0.662	90.80	0.954
5.20	50.86	0.537	64.32	0.679	92.82	0.979
5.60	52.07	0.552	65.41	0.693	94.32	0.999
6.00	52.48	0.558	66.02	0.702	94.92	1.010
6.40	52.48	0.561	67.03	0.716	96.05	1.026
6.80	53.29	0.572	67.84	0.728	96.74	1.038
7.20	52.48	0.565	68.45	0.738	97.47	1.050
7.60	53.29	0.577	68.85	0.745	97.75	1.058
8.00	53.69	0.584	69.17	0.752	97.87	1.064
8.40	54.09	0.591	69.58	0.760	98.08	1.071
8.80	53.69	0.589	69.86	0.766	98.16	1.076
9.20	54.50	0.600	69.98	0.771	98.56	1.085
9.60	53.69	0.594	69.98	0.774	98.56	1.090
10.00	54.09	0.601	69.98	0.778	98.76	1.097
10.40	53.69	0.599	69.98	0.781	98.96	1.105
10.80	53.69	0.602	69.86	0.783	98.96	1.109
11.20	53.69	0.605	69.86	0.787	98.96	1.114
11.60	54.50	0.617	69.86	0.790	98.56	1.116
12.00	54.09	0.615	69.86	0.794	98.56	1.120



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	31/01/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	0% Cal - 20% Ceniza



$C = 0.0882 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 26.73^\circ$

$\tau = 0.0882 + \sigma \tan 26.73^\circ$





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CD-06

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

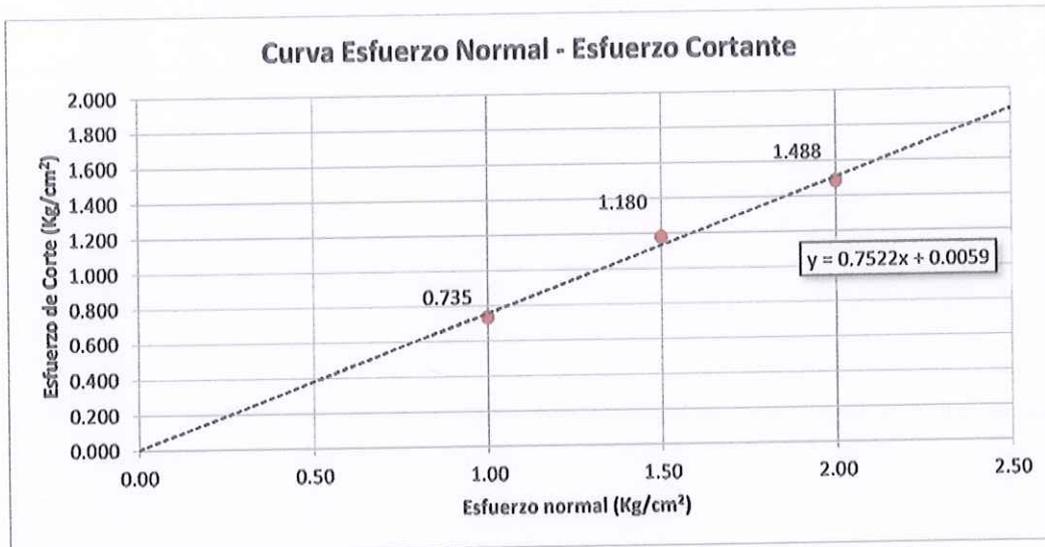
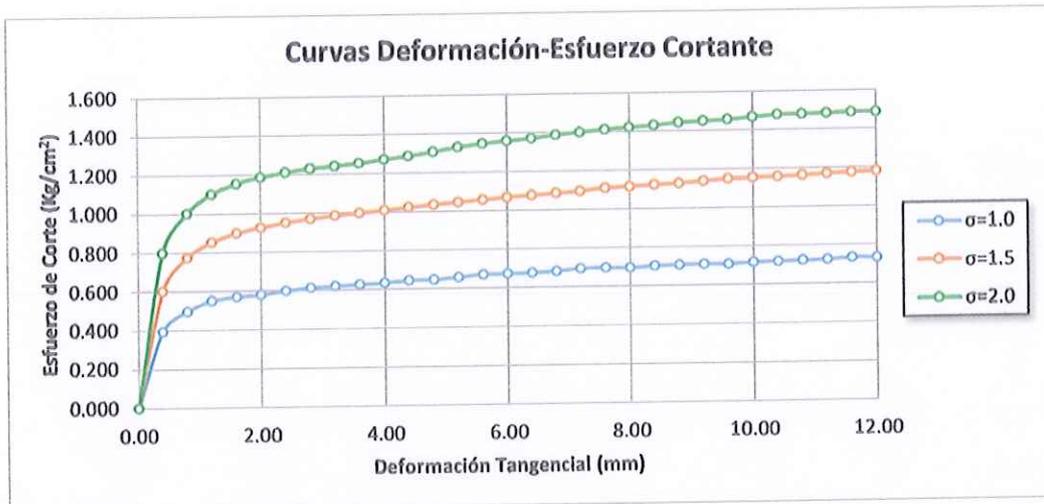
Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	31/01/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	2% Cal - 0% Ceniza

DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.571		1.571		1.571	
HUMEDAD (%)	10.85		10.85		10.85	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	39.14	0.393	59.75	0.600	79.56	0.799
0.80	49.24	0.496	76.73	0.774	99.17	1.000
1.20	54.50	0.552	84.21	0.852	108.67	1.100
1.60	56.12	0.570	88.45	0.899	113.52	1.154
2.00	56.92	0.581	90.88	0.927	116.27	1.186
2.40	58.54	0.600	92.90	0.952	118.17	1.211
2.80	59.75	0.615	94.32	0.970	119.50	1.229
3.20	60.16	0.621	95.33	0.985	120.19	1.242
3.60	60.56	0.628	96.13	0.997	121.00	1.255
4.00	60.97	0.635	96.94	1.010	122.21	1.273
4.40	61.78	0.646	97.75	1.023	123.22	1.289
4.80	61.78	0.649	98.56	1.035	124.63	1.309
5.20	62.58	0.660	99.17	1.046	126.25	1.332
5.60	63.39	0.672	99.77	1.057	127.26	1.348
6.00	63.39	0.674	100.38	1.068	127.87	1.360
6.40	63.39	0.677	100.78	1.077	128.47	1.373
6.80	63.80	0.685	101.19	1.086	129.40	1.388
7.20	64.60	0.696	101.59	1.095	129.89	1.400
7.60	64.60	0.699	102.52	1.110	130.62	1.414
8.00	64.20	0.698	102.60	1.115	130.90	1.423
8.40	64.60	0.705	102.80	1.122	131.22	1.433
8.80	64.60	0.708	102.93	1.129	131.71	1.444
9.20	64.60	0.712	103.41	1.139	131.71	1.451
9.60	64.20	0.710	103.82	1.148	131.71	1.457
10.00	64.60	0.718	103.82	1.154	132.11	1.468
10.40	64.60	0.721	103.61	1.156	132.52	1.479
10.80	64.60	0.724	103.61	1.162	132.11	1.481
11.20	64.60	0.728	103.82	1.169	131.71	1.483
11.60	65.01	0.735	103.82	1.174	131.51	1.488
12.00	64.60	0.734	103.82	1.180	130.90	1.487



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	31/01/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	2% Cal - 0% Ceniza



$C = 0.0059 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 36.95^\circ$

$\tau = 0.0059 + \sigma \tan 36.95^\circ$





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CD-07

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

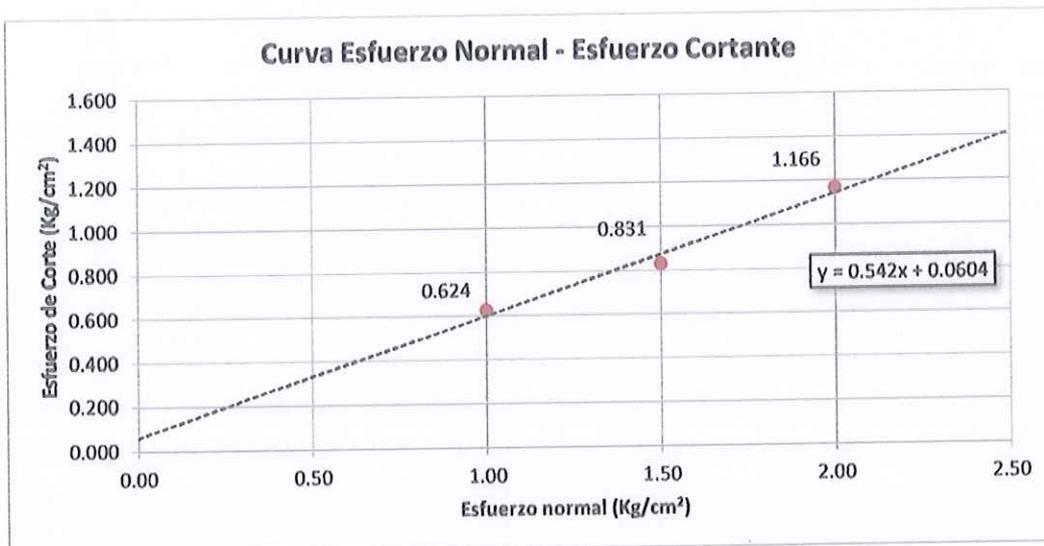
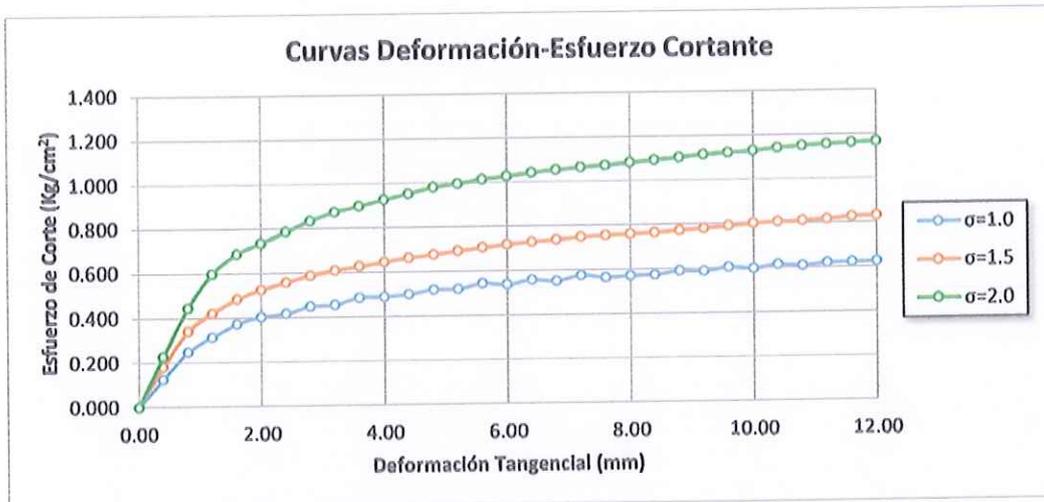
Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	01/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	2% Cal - 5% Ceniza

DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80	
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.483		1.483		1.483	
HUMEDAD (%)	10.20		10.20		10.20	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	12.46	0.125	17.92	0.180	22.56	0.227
0.80	24.59	0.248	33.68	0.340	43.99	0.443
1.20	31.05	0.314	41.56	0.421	58.95	0.597
1.60	36.71	0.373	47.63	0.484	67.43	0.685
2.00	39.54	0.403	51.47	0.525	71.88	0.733
2.40	40.76	0.418	54.50	0.558	76.73	0.786
2.80	43.58	0.448	57.13	0.588	81.18	0.835
3.20	43.99	0.454	59.07	0.610	84.61	0.874
3.60	46.82	0.486	60.56	0.628	86.76	0.900
4.00	46.82	0.488	61.98	0.646	89.06	0.928
4.40	47.63	0.498	63.39	0.663	91.08	0.953
4.80	49.24	0.517	64.40	0.676	93.43	0.981
5.20	49.24	0.519	65.62	0.692	94.52	0.997
5.60	51.27	0.543	66.63	0.706	95.73	1.014
6.00	50.46	0.537	67.43	0.717	96.54	1.027
6.40	52.07	0.556	68.16	0.728	97.55	1.042
6.80	51.27	0.550	68.65	0.737	98.16	1.053
7.20	53.29	0.574	69.46	0.748	98.76	1.064
7.60	52.07	0.564	69.66	0.754	98.96	1.071
8.00	52.48	0.570	69.86	0.759	99.57	1.082
8.40	52.48	0.573	69.98	0.764	100.10	1.093
8.80	53.69	0.589	70.47	0.773	100.58	1.103
9.20	53.29	0.587	70.87	0.781	101.19	1.114
9.60	54.50	0.603	71.48	0.791	101.39	1.122
10.00	53.69	0.597	72.00	0.800	101.59	1.129
10.40	54.90	0.613	72.20	0.806	102.20	1.141
10.80	54.09	0.606	72.29	0.810	102.52	1.149
11.20	54.90	0.618	72.49	0.816	102.60	1.155
11.60	54.90	0.621	73.09	0.827	102.60	1.161
12.00	54.90	0.624	73.09	0.831	102.60	1.166



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	01/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	2% Cal - 5% Ceniza



$C = 0.0604 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 28.46^\circ$

$\tau = 0.0604 + \sigma \tan 28.46^\circ$





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CD-08

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

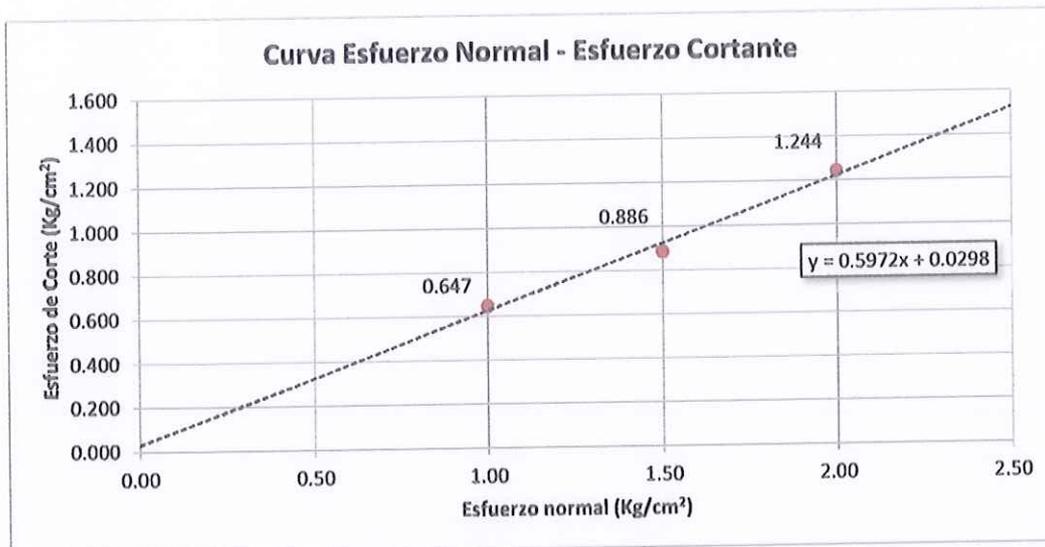
Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	01/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Testistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	2% Cal - 10% Ceniza

DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.385		1.385		1.385	
HUMEDAD (%)	12.75		12.75		12.75	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	17.71	0.178	27.82	0.279	30.25	0.304
0.80	25.80	0.260	39.95	0.403	45.40	0.458
1.20	31.46	0.318	48.03	0.486	56.52	0.572
1.60	35.50	0.361	53.08	0.539	64.60	0.657
2.00	39.95	0.408	56.92	0.581	71.48	0.729
2.40	42.37	0.434	59.75	0.612	75.92	0.778
2.80	44.39	0.457	62.50	0.643	81.58	0.839
3.20	46.01	0.475	64.60	0.667	85.42	0.882
3.60	47.63	0.494	66.55	0.690	89.06	0.924
4.00	48.84	0.509	68.24	0.711	92.50	0.964
4.40	50.86	0.532	69.98	0.732	94.72	0.991
4.80	52.07	0.547	71.48	0.751	96.74	1.016
5.20	52.88	0.558	72.49	0.765	98.36	1.038
5.60	53.69	0.569	73.42	0.778	99.98	1.059
6.00	54.09	0.575	74.51	0.793	101.19	1.076
6.40	54.50	0.582	75.52	0.807	102.60	1.096
6.80	54.50	0.585	76.25	0.818	103.61	1.112
7.20	54.50	0.587	76.93	0.829	104.22	1.123
7.60	54.90	0.594	77.34	0.837	105.03	1.137
8.00	55.31	0.601	77.54	0.843	105.84	1.150
8.40	56.12	0.613	77.86	0.850	106.65	1.164
8.80	56.12	0.615	77.94	0.855	106.85	1.172
9.20	56.12	0.618	78.55	0.865	107.17	1.180
9.60	56.92	0.630	78.67	0.870	107.66	1.191
10.00	57.33	0.637	78.35	0.871	108.26	1.203
10.40	57.33	0.640	78.35	0.874	108.59	1.212
10.80	57.33	0.643	78.35	0.878	108.59	1.217
11.20	56.92	0.641	78.27	0.881	109.19	1.230
11.60	56.92	0.644	78.07	0.883	109.47	1.238
12.00	56.92	0.647	77.94	0.886	109.47	1.244



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	01/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	2% Cal - 10% Ceniza



$C = 0.0298 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 30.85^\circ$

$\tau = 0.0298 + \sigma \tan 30.85^\circ$





ENSAYO DE CORTE DIRECTO

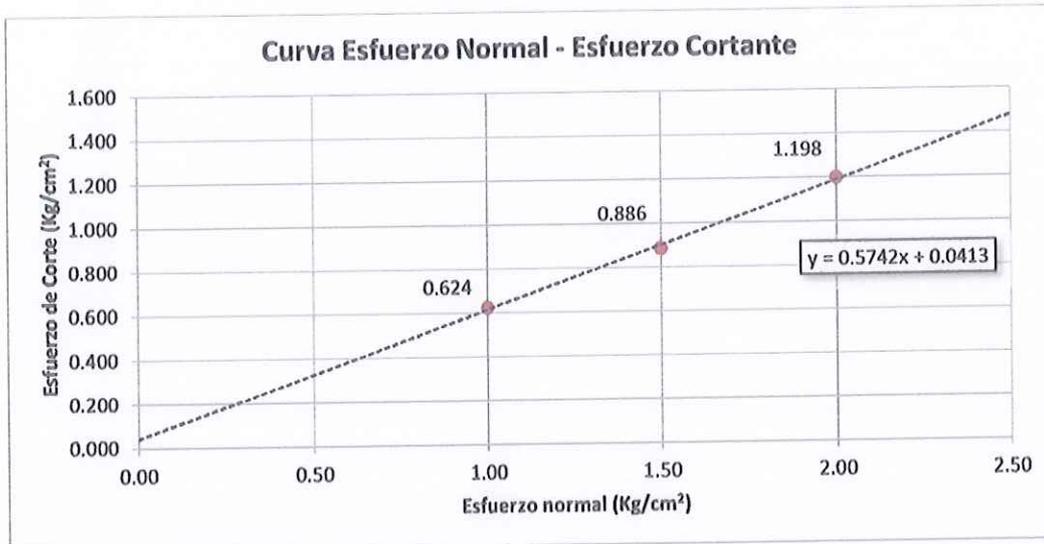
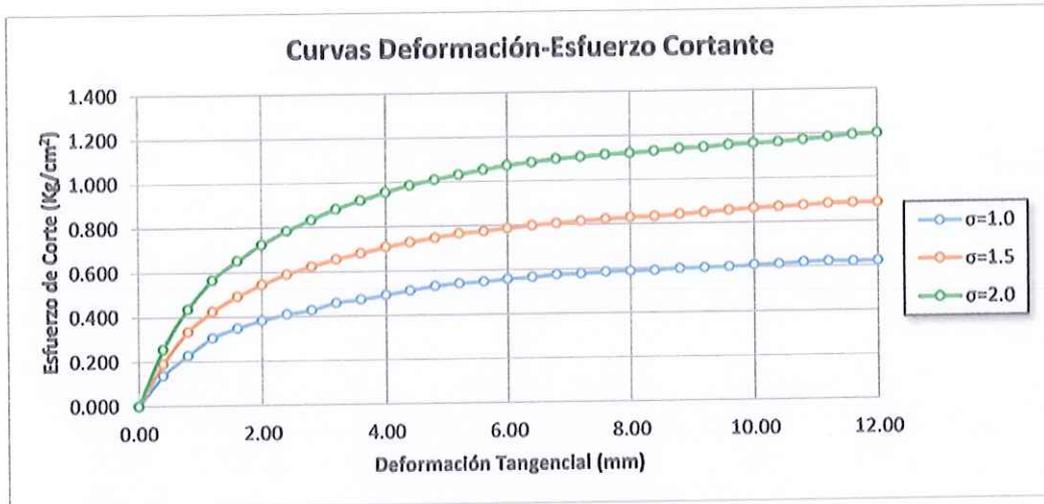
Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar. **Fecha:** 02/02/2018
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01 **Responsable:** Testistas
Estado de muestra: Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta. **Calicata:** C-01
Dosificación: 2% Cal - 15% Ceniza

DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80	
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.314		1.314		1.314	
HUMEDAD (%)	13.90		13.90		13.90	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	13.67	0.137	18.93	0.190	25.39	0.255
0.80	22.56	0.227	33.07	0.333	43.18	0.435
1.20	30.25	0.306	41.97	0.425	55.91	0.566
1.60	34.29	0.348	48.44	0.492	64.20	0.652
2.00	37.52	0.383	53.29	0.544	71.07	0.725
2.40	39.95	0.409	57.53	0.589	76.73	0.786
2.80	41.56	0.428	60.56	0.623	81.18	0.835
3.20	44.39	0.459	63.39	0.655	85.42	0.882
3.60	45.61	0.473	65.62	0.681	88.66	0.920
4.00	47.22	0.492	67.96	0.708	91.69	0.955
4.40	48.84	0.511	69.66	0.729	94.11	0.984
4.80	50.46	0.530	71.07	0.747	96.13	1.010
5.20	51.27	0.541	72.49	0.765	97.75	1.031
5.60	51.67	0.547	73.09	0.774	99.37	1.053
6.00	52.48	0.558	73.90	0.786	100.58	1.070
6.40	52.88	0.565	74.71	0.798	101.39	1.083
6.80	53.69	0.576	75.11	0.806	102.20	1.097
7.20	53.69	0.579	75.72	0.816	102.60	1.106
7.60	54.09	0.585	76.04	0.823	103.01	1.115
8.00	54.09	0.588	76.33	0.830	103.01	1.120
8.40	54.09	0.591	76.33	0.833	103.41	1.129
8.80	54.50	0.598	76.73	0.841	103.82	1.138
9.20	54.50	0.600	77.14	0.850	103.82	1.143
9.60	54.50	0.603	77.54	0.858	104.22	1.153
10.00	54.90	0.610	77.86	0.865	104.22	1.158
10.40	54.90	0.613	77.94	0.870	104.22	1.163
10.80	55.31	0.620	78.07	0.875	104.62	1.173
11.20	55.31	0.623	78.35	0.882	105.03	1.183
11.60	54.90	0.621	78.15	0.884	105.43	1.193
12.00	54.90	0.624	77.94	0.886	105.43	1.198



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	02/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Testistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	2% Cal - 15% Ceniza



C = 0.0413 kg/cm²

$\phi = 29.86^\circ$

$\tau = 0.0413 + \sigma \tan 29.86^\circ$





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CD-10

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	02/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	2% Cal - 20% Ceniza

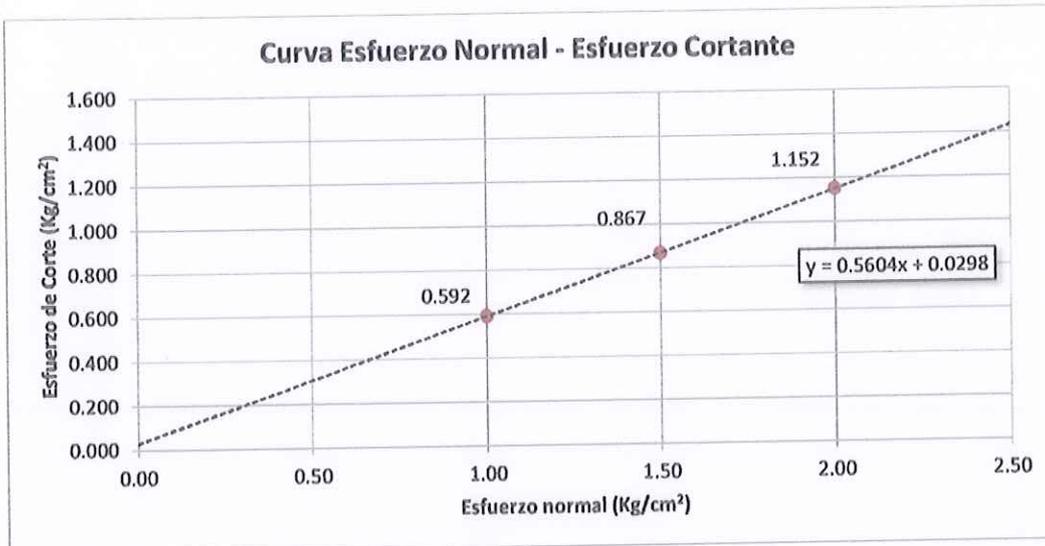
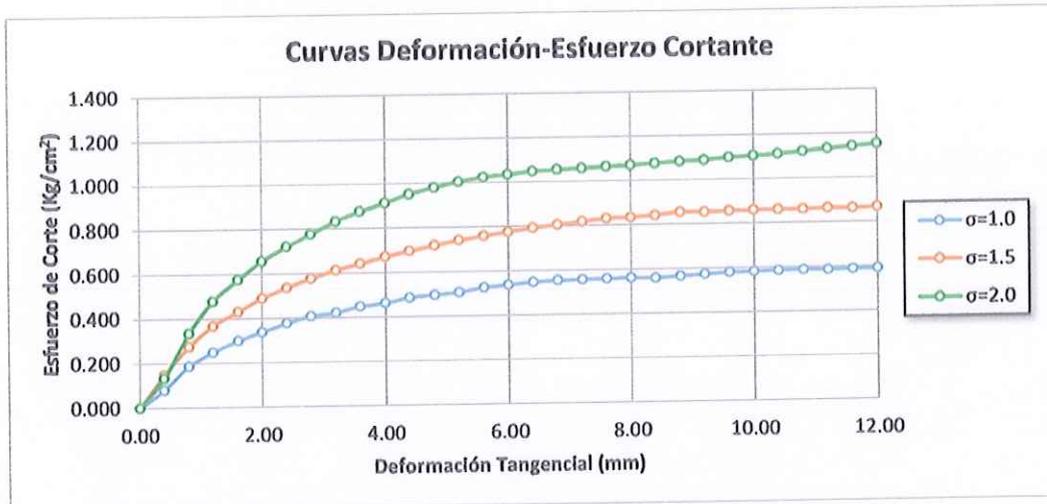
DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.216		1.216		1.216	
HUMEDAD (%)	16.80		16.80		16.80	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	8.01	0.080	14.68	0.147	13.27	0.133
0.80	18.52	0.187	27.21	0.274	33.07	0.333
1.20	24.59	0.249	36.31	0.367	47.22	0.478
1.60	29.44	0.299	42.37	0.431	56.52	0.574
2.00	33.07	0.337	47.95	0.489	64.40	0.657
2.40	36.71	0.376	52.28	0.536	70.47	0.722
2.80	39.54	0.407	56.12	0.577	75.52	0.777
3.20	40.76	0.421	59.35	0.613	80.57	0.832
3.60	43.18	0.448	61.78	0.641	84.41	0.876
4.00	44.39	0.462	64.40	0.671	87.65	0.913
4.40	46.41	0.486	66.42	0.695	90.88	0.951
4.80	47.22	0.496	68.45	0.719	93.22	0.979
5.20	48.03	0.507	70.26	0.741	95.12	1.003
5.60	49.65	0.526	71.68	0.759	96.54	1.023
6.00	50.46	0.537	72.89	0.775	97.15	1.033
6.40	51.27	0.548	74.10	0.792	97.95	1.047
6.80	51.67	0.554	75.03	0.805	98.16	1.053
7.20	51.67	0.557	75.92	0.818	98.16	1.058
7.60	51.67	0.559	76.73	0.830	98.28	1.064
8.00	51.67	0.562	76.73	0.834	98.36	1.069
8.40	51.27	0.560	77.14	0.842	98.56	1.076
8.80	51.67	0.567	77.94	0.855	98.76	1.083
9.20	52.07	0.573	77.54	0.854	98.76	1.088
9.60	52.48	0.581	77.54	0.858	99.29	1.098
10.00	52.48	0.583	77.34	0.859	99.37	1.104
10.40	52.48	0.586	77.14	0.861	99.57	1.111
10.80	52.48	0.588	76.73	0.860	100.10	1.122
11.20	52.07	0.586	76.73	0.864	100.58	1.133
11.60	52.07	0.589	76.33	0.863	100.99	1.142
12.00	52.07	0.592	76.33	0.867	101.39	1.152



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01
Estado de muestra: Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.

Fecha: 02/02/2018
Responsable: Testistas
Calicata: C-01
Dosificación: 2% Cal - 20% Ceniza



$C = 0.0298 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 29.27^\circ$

$\tau = 0.0298 + \sigma \tan 29.27^\circ$





ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	05/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Testistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	4% Cal - 0% Ceniza

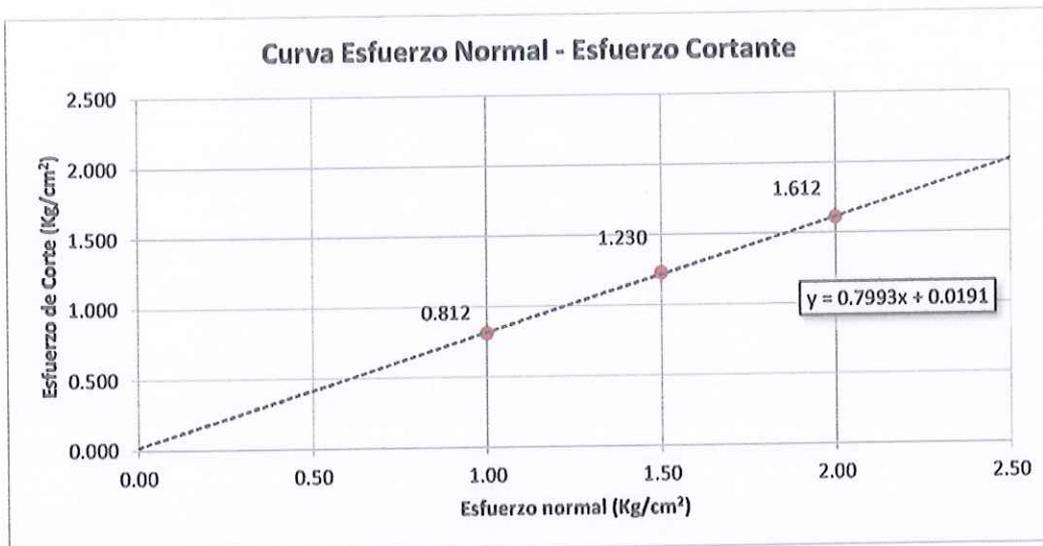
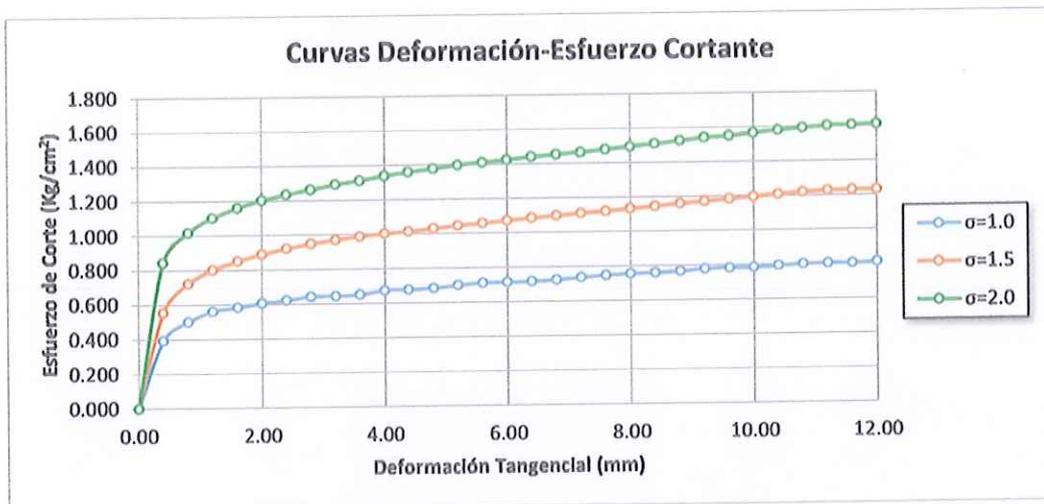
DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.594		1.594		1.594	
HUMEDAD (%)	12.60		12.60		12.60	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	39.14	0.393	55.31	0.555	84.01	0.843
0.80	49.65	0.500	71.68	0.723	100.99	1.018
1.20	55.31	0.560	79.16	0.801	109.07	1.104
1.60	57.33	0.583	83.81	0.852	114.33	1.162
2.00	59.35	0.606	87.24	0.890	117.96	1.204
2.40	60.56	0.621	89.87	0.921	120.59	1.236
2.80	62.18	0.640	92.09	0.947	122.81	1.264
3.20	62.18	0.642	93.71	0.968	125.04	1.292
3.60	62.58	0.649	95.12	0.987	126.45	1.312
4.00	64.60	0.673	96.13	1.001	128.47	1.338
4.40	64.60	0.676	96.74	1.012	129.69	1.357
4.80	65.01	0.683	97.95	1.029	131.02	1.376
5.20	66.22	0.699	98.96	1.044	132.31	1.396
5.60	67.03	0.710	99.77	1.057	133.04	1.409
6.00	67.03	0.713	100.58	1.070	133.73	1.423
6.40	67.03	0.716	101.39	1.083	134.66	1.439
6.80	67.43	0.724	102.12	1.096	135.35	1.452
7.20	68.24	0.735	102.80	1.108	135.75	1.463
7.60	69.05	0.747	103.41	1.119	136.56	1.478
8.00	69.46	0.755	104.14	1.132	137.37	1.493
8.40	69.46	0.758	104.83	1.144	138.18	1.508
8.80	69.86	0.766	105.63	1.158	138.98	1.524
9.20	70.67	0.778	106.24	1.170	139.99	1.542
9.60	70.67	0.782	106.97	1.183	140.20	1.551
10.00	70.67	0.785	107.45	1.194	140.92	1.566
10.40	71.07	0.793	108.18	1.207	141.61	1.580
10.80	71.48	0.801	108.67	1.218	142.02	1.592
11.20	71.48	0.805	108.87	1.226	142.42	1.604
11.60	71.07	0.804	108.67	1.229	142.02	1.607
12.00	71.48	0.812	108.26	1.230	141.81	1.612



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01
Estado de muestra: Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.

Fecha: 05/02/2018
Responsable: Tesistas
Calicata: C-01
Dosificación: 4% Cal - 0% Ceniza



$C = 0.0191 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 38.64^\circ$

$\tau = 0.0191 + \sigma \tan 38.64^\circ$





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CD-12

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

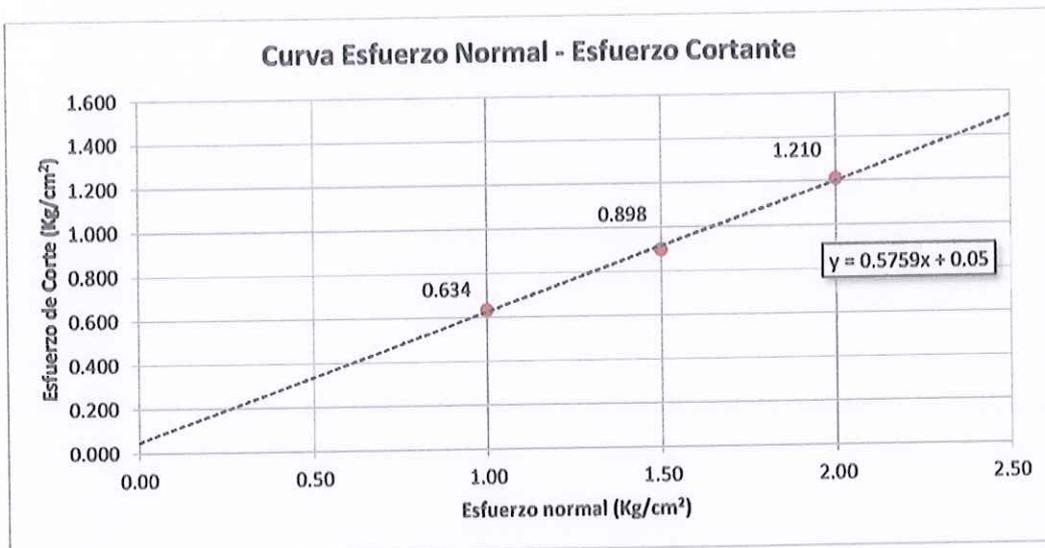
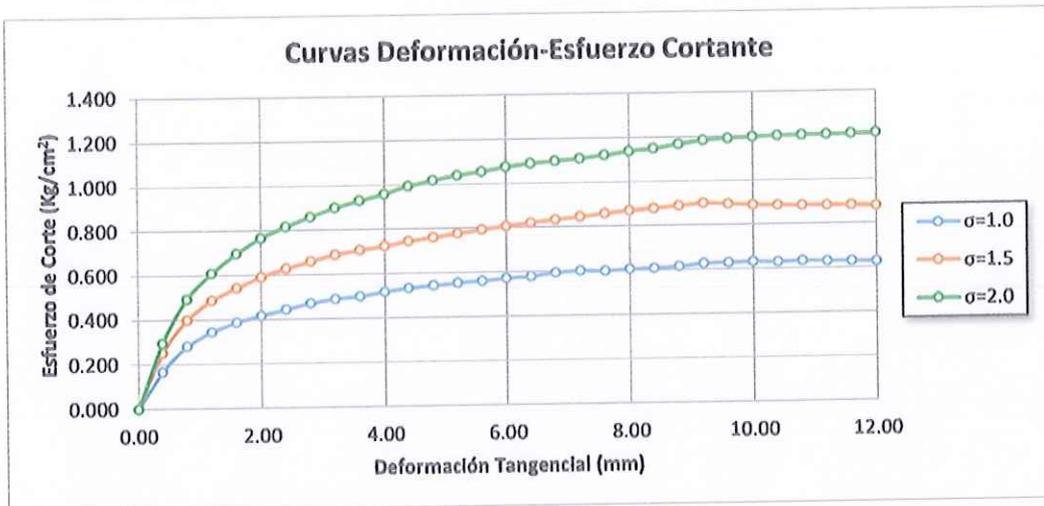
Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	06/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	4% Cal - 5% Ceniza

DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.526		1.526		1.526	
HUMEDAD (%)	12.95		12.95		12.95	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	16.50	0.166	24.99	0.251	29.23	0.294
0.80	27.82	0.280	39.54	0.399	48.84	0.492
1.20	33.88	0.343	48.03	0.486	60.16	0.609
1.60	37.93	0.385	53.29	0.542	68.65	0.698
2.00	40.76	0.416	57.73	0.589	75.11	0.766
2.40	43.18	0.442	61.17	0.627	79.76	0.817
2.80	45.61	0.469	63.92	0.658	83.60	0.860
3.20	47.22	0.488	66.42	0.686	87.04	0.899
3.60	48.03	0.498	68.04	0.706	89.67	0.930
4.00	49.65	0.517	69.37	0.723	92.09	0.959
4.40	50.86	0.532	71.07	0.743	94.92	0.993
4.80	51.67	0.543	72.29	0.759	96.86	1.017
5.20	52.48	0.554	73.50	0.775	98.56	1.040
5.60	52.88	0.560	74.71	0.791	99.57	1.055
6.00	53.69	0.571	75.72	0.806	100.99	1.074
6.40	54.09	0.578	76.73	0.820	101.92	1.089
6.80	55.31	0.593	77.54	0.832	102.32	1.098
7.20	55.71	0.600	78.35	0.844	102.80	1.108
7.60	55.31	0.599	79.16	0.857	103.61	1.121
8.00	55.71	0.606	79.97	0.869	104.62	1.137
8.40	55.71	0.608	80.37	0.877	105.23	1.149
8.80	56.12	0.615	80.98	0.888	106.44	1.167
9.20	56.92	0.627	81.58	0.898	107.45	1.183
9.60	56.92	0.630	80.77	0.894	107.66	1.191
10.00	56.92	0.632	79.97	0.889	107.66	1.196
10.40	56.52	0.631	79.36	0.886	107.45	1.199
10.80	56.52	0.634	78.75	0.883	107.25	1.202
11.20	56.12	0.632	78.35	0.882	106.85	1.203
11.60	55.71	0.630	77.94	0.882	106.56	1.205
12.00	55.31	0.628	77.34	0.879	106.44	1.210



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	06/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	4% Cal - 5% Ceniza



$C = 0.05 \quad \text{kg/cm}^2$

$\phi = 29.94^\circ$

$\tau = 0.05 + \sigma \tan 29.94^\circ$





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CD-13

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	07/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	4% Cal - 10% Ceniza

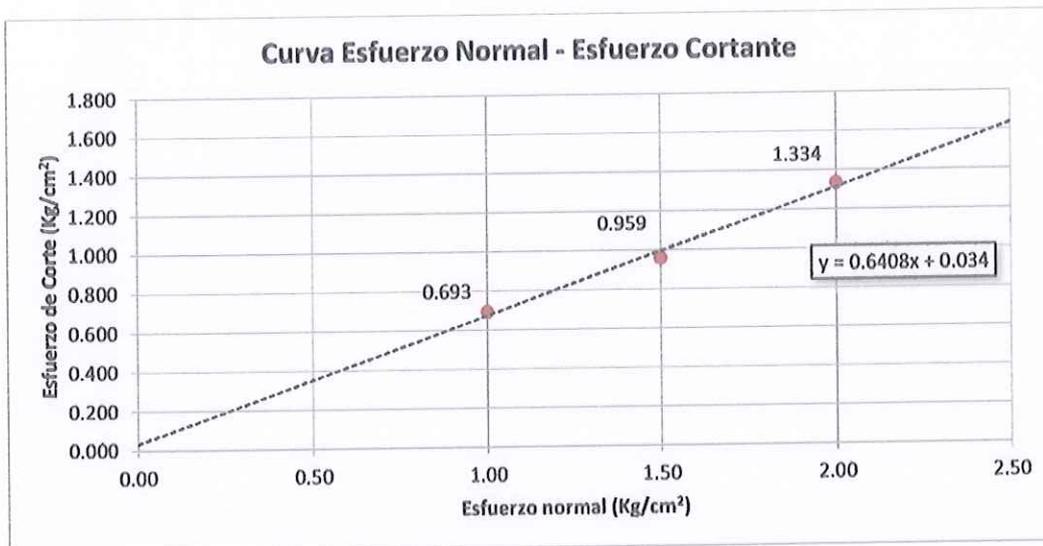
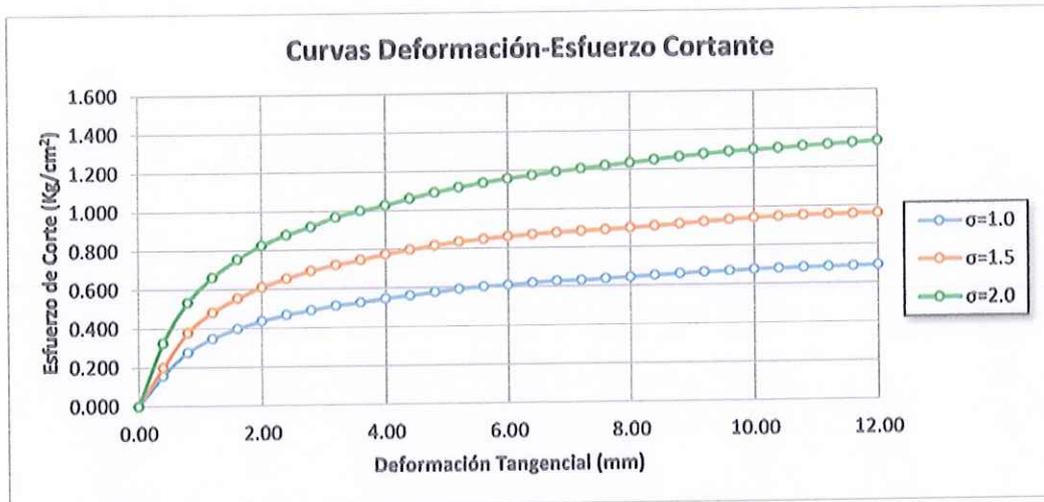
DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.423		1.423		1.423	
HUMEDAD (%)	15.15		15.15		15.15	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	15.69	0.158	19.73	0.198	32.27	0.324
0.80	27.42	0.276	37.52	0.378	52.88	0.533
1.20	34.29	0.347	47.63	0.482	65.41	0.662
1.60	39.14	0.398	54.50	0.554	74.31	0.755
2.00	42.78	0.436	59.75	0.610	80.98	0.826
2.40	45.61	0.467	63.80	0.654	85.83	0.879
2.80	47.63	0.490	67.23	0.692	89.47	0.920
3.20	49.65	0.513	69.86	0.722	93.71	0.968
3.60	50.86	0.528	71.88	0.746	96.34	0.999
4.00	52.48	0.547	74.31	0.774	98.56	1.027
4.40	53.69	0.562	76.04	0.795	101.39	1.061
4.80	54.90	0.577	77.74	0.817	103.82	1.090
5.20	56.12	0.592	79.16	0.835	105.84	1.116
5.60	56.92	0.603	79.97	0.847	107.45	1.138
6.00	57.33	0.610	80.77	0.859	108.87	1.158
6.40	58.14	0.621	81.38	0.869	109.88	1.174
6.80	58.54	0.628	81.78	0.878	111.01	1.191
7.20	58.54	0.631	81.99	0.883	111.90	1.206
7.60	58.95	0.638	82.19	0.889	112.71	1.220
8.00	59.35	0.645	82.51	0.897	113.52	1.234
8.40	59.75	0.652	83.00	0.906	114.33	1.248
8.80	60.16	0.660	83.40	0.914	115.13	1.262
9.20	60.56	0.667	83.93	0.924	115.74	1.275
9.60	60.56	0.670	84.41	0.934	116.27	1.286
10.00	60.97	0.677	84.74	0.942	116.47	1.294
10.40	60.97	0.680	84.82	0.947	116.55	1.301
10.80	60.97	0.683	85.02	0.953	116.87	1.310
11.20	60.97	0.687	84.82	0.955	116.95	1.317
11.60	60.97	0.690	84.61	0.957	117.16	1.325
12.00	60.97	0.693	84.41	0.959	117.36	1.334



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01
Estado de muestra: Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.

Fecha: 07/02/2018
Responsable: Tesisistas
Calicata: C-01
Dosificación: 4% Cal - 10% Ceniza



$C = 0.034 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 32.65^\circ$

$\tau = 0.034 + \sigma \tan 32.65^\circ$





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CD-14

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

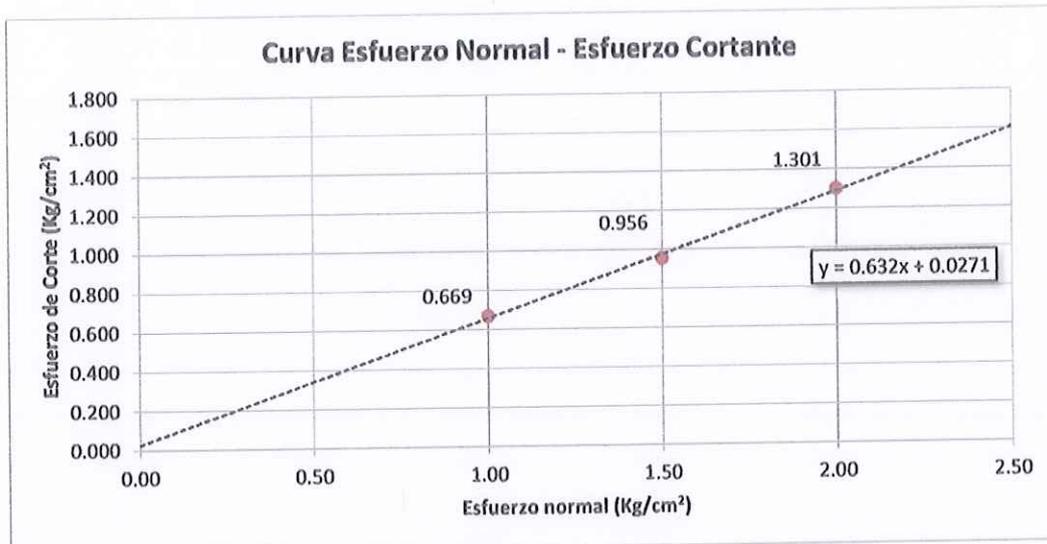
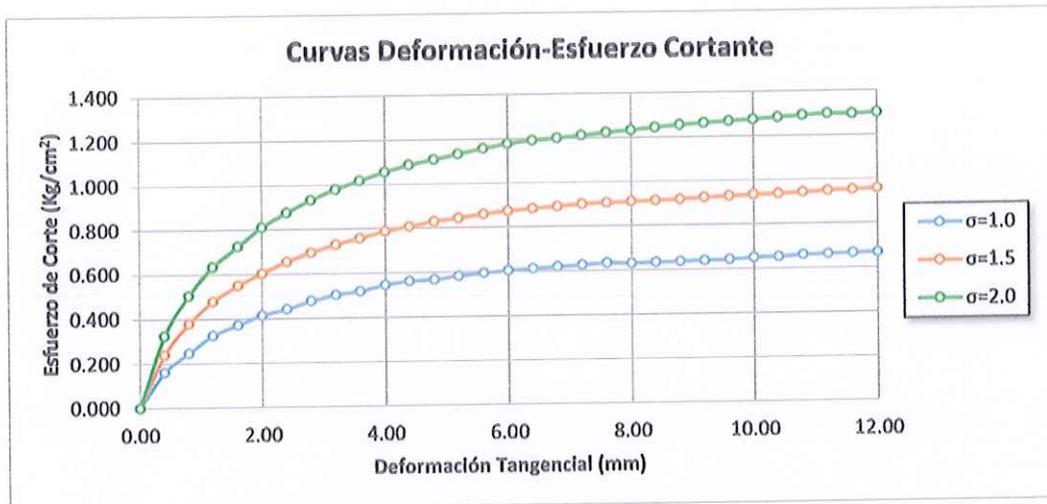
Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	07/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Testistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	4% Cal - 15% Ceniza

DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80	
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.329		1.329		1.329	
HUMEDAD (%)	17.80		17.80		17.80	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	15.98	0.160	23.78	0.239	32.27	0.324
0.80	24.47	0.247	37.52	0.378	49.85	0.503
1.20	32.15	0.325	47.22	0.478	62.58	0.633
1.60	36.60	0.372	54.09	0.550	71.48	0.726
2.00	40.64	0.415	59.15	0.604	79.56	0.812
2.40	43.07	0.441	64.00	0.656	85.62	0.877
2.80	46.30	0.476	67.64	0.696	90.68	0.933
3.20	48.73	0.503	70.67	0.730	94.92	0.981
3.60	49.94	0.518	73.01	0.757	98.16	1.018
4.00	52.36	0.545	75.52	0.787	101.39	1.056
4.40	53.58	0.560	77.14	0.807	103.82	1.086
4.80	53.98	0.567	78.96	0.829	105.63	1.110
5.20	55.19	0.582	79.97	0.844	107.45	1.133
5.60	56.00	0.593	81.18	0.860	109.27	1.158
6.00	56.81	0.604	81.99	0.872	110.69	1.178
6.40	57.22	0.611	82.59	0.882	111.50	1.191
6.80	57.62	0.618	83.00	0.891	111.90	1.201
7.20	58.02	0.625	83.52	0.900	112.43	1.211
7.60	58.43	0.632	83.60	0.905	113.03	1.223
8.00	58.02	0.631	83.60	0.909	113.44	1.233
8.40	58.02	0.633	83.60	0.913	113.92	1.244
8.80	58.02	0.636	83.60	0.917	114.33	1.254
9.20	58.02	0.639	83.81	0.923	114.53	1.261
9.60	58.02	0.642	83.93	0.928	114.65	1.268
10.00	58.43	0.649	83.93	0.933	114.73	1.275
10.40	58.43	0.652	83.93	0.937	114.93	1.283
10.80	58.83	0.660	84.01	0.942	115.13	1.291
11.20	58.83	0.663	84.21	0.948	115.13	1.297
11.60	58.83	0.666	84.13	0.952	114.53	1.296
12.00	58.83	0.669	84.13	0.956	114.45	1.301



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	07/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	4% Cal - 15% Ceniza



$C = 0.0271 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 32.29^\circ$

$\tau = 0.0271 + \sigma \tan 32.29^\circ$





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CD-15

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	08/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	4% Cal - 20% Ceniza

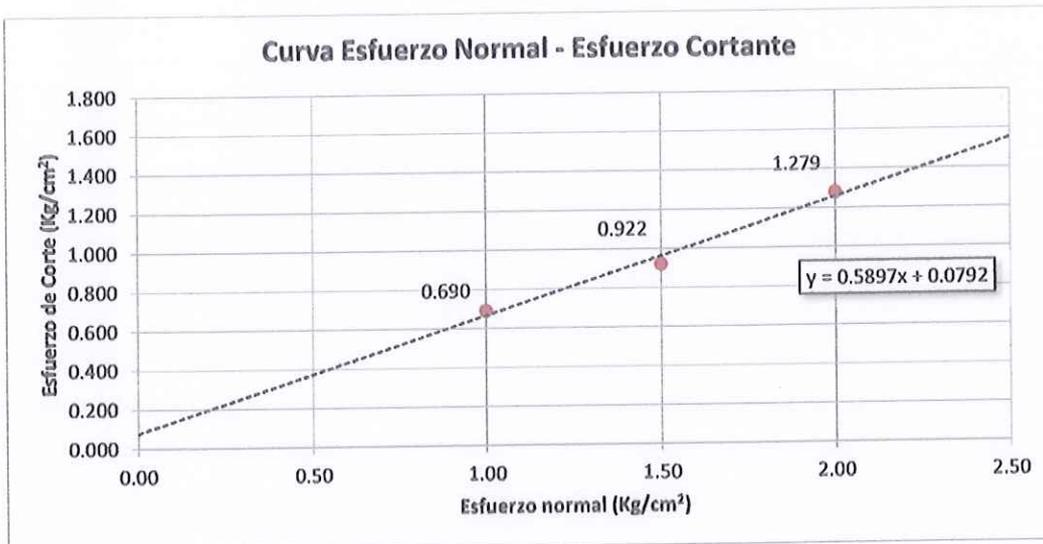
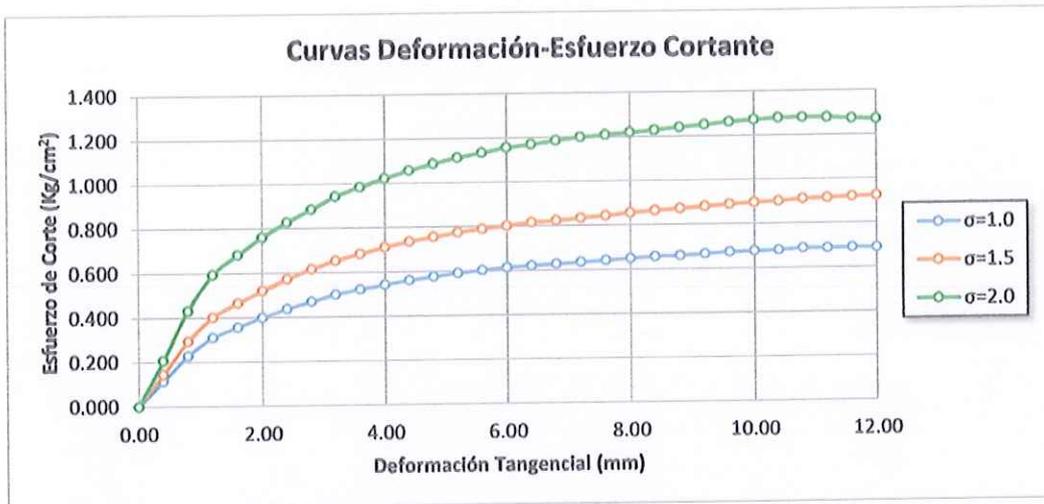
DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.231		1.231		1.231	
HUMEDAD (%)	19.10		19.10		19.10	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	11.25	0.113	14.48	0.145	20.54	0.206
0.80	22.56	0.227	29.03	0.293	42.78	0.431
1.20	30.65	0.310	39.54	0.400	58.54	0.593
1.60	35.10	0.357	45.61	0.463	67.03	0.681
2.00	39.14	0.399	50.86	0.519	74.51	0.760
2.40	42.78	0.438	55.71	0.571	80.77	0.828
2.80	45.61	0.469	59.75	0.615	86.03	0.885
3.20	48.44	0.500	63.19	0.653	91.28	0.943
3.60	50.46	0.523	65.82	0.683	94.92	0.985
4.00	52.07	0.542	68.24	0.711	98.16	1.022
4.40	53.69	0.562	70.26	0.735	100.99	1.056
4.80	54.90	0.577	71.88	0.755	103.41	1.086
5.20	56.12	0.592	73.42	0.774	105.43	1.112
5.60	56.92	0.603	74.43	0.788	107.05	1.134
6.00	57.73	0.614	75.32	0.801	108.67	1.156
6.40	58.14	0.621	76.33	0.815	109.39	1.169
6.80	58.54	0.628	76.73	0.823	110.49	1.185
7.20	58.95	0.635	77.34	0.833	111.29	1.199
7.60	59.35	0.642	77.86	0.843	111.70	1.209
8.00	59.75	0.650	78.67	0.855	112.10	1.219
8.40	60.16	0.657	79.16	0.864	112.51	1.228
8.80	60.16	0.660	79.56	0.872	113.11	1.240
9.20	60.56	0.667	79.97	0.881	113.52	1.250
9.60	60.97	0.674	80.37	0.889	114.12	1.262
10.00	60.97	0.677	80.69	0.897	114.33	1.270
10.40	60.97	0.680	80.77	0.901	114.45	1.277
10.80	61.37	0.688	81.18	0.910	114.12	1.279
11.20	60.97	0.687	81.18	0.914	113.52	1.278
11.60	60.97	0.690	81.18	0.918	112.51	1.273
12.00	60.56	0.688	81.18	0.922	111.70	1.269



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01
Estado de muestra: Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.

Fecha: 08/02/2018
Responsable: Tesistas
Calcata: C-01
Dosificación: 4% Cal - 20% Ceniza



$C = 0.0792 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 30.53^\circ$

$\tau = 0.0792 + \sigma \tan 30.53^\circ$





ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	08/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	6% Cal - 0% Ceniza

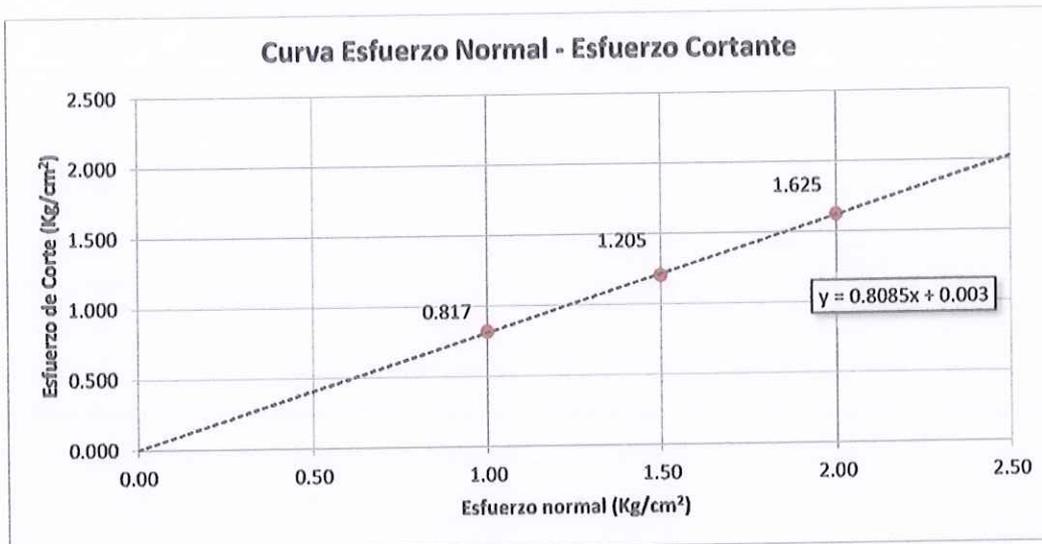
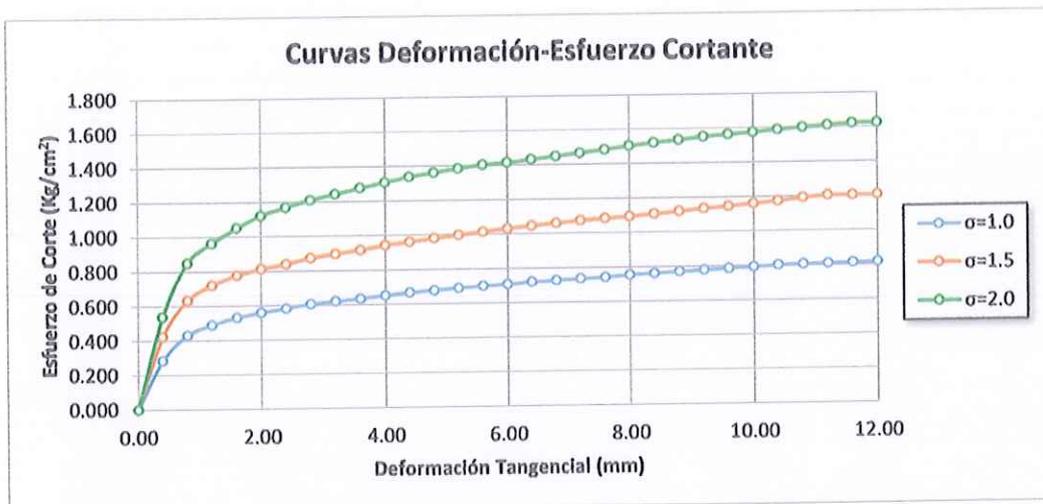
DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80	
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.615		1.615		1.615	
HUMEDAD (%)	13.90		13.90		13.90	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	28.22	0.283	41.97	0.421	53.69	0.539
0.80	42.78	0.431	62.58	0.631	84.01	0.847
1.20	48.44	0.490	71.07	0.719	94.92	0.961
1.60	52.48	0.533	76.33	0.776	103.41	1.051
2.00	54.90	0.560	79.56	0.812	109.80	1.120
2.40	56.92	0.583	81.99	0.840	114.12	1.169
2.80	58.95	0.606	84.82	0.873	117.56	1.209
3.20	60.16	0.621	86.76	0.896	120.39	1.244
3.60	61.37	0.637	88.45	0.918	123.22	1.278
4.00	62.58	0.652	90.48	0.942	125.64	1.309
4.40	63.80	0.667	91.81	0.960	128.07	1.340
4.80	64.60	0.679	93.31	0.980	129.69	1.362
5.20	65.41	0.690	94.52	0.997	131.30	1.385
5.60	66.22	0.702	95.73	1.014	132.52	1.404
6.00	66.63	0.709	96.94	1.031	133.12	1.416
6.40	67.43	0.720	97.95	1.047	134.13	1.433
6.80	67.84	0.728	98.76	1.060	135.14	1.450
7.20	68.24	0.735	99.57	1.073	136.15	1.467
7.60	68.65	0.743	100.10	1.083	137.16	1.484
8.00	69.46	0.755	100.58	1.093	138.38	1.504
8.40	69.86	0.763	101.39	1.107	139.39	1.522
8.80	70.26	0.770	102.12	1.120	140.20	1.537
9.20	70.67	0.778	103.01	1.134	141.00	1.553
9.60	71.07	0.786	103.61	1.146	141.53	1.566
10.00	71.48	0.794	104.42	1.160	141.81	1.576
10.40	71.88	0.802	105.15	1.174	142.42	1.590
10.80	71.88	0.806	106.24	1.191	142.82	1.601
11.20	71.88	0.809	106.85	1.203	143.15	1.612
11.60	71.88	0.813	106.36	1.203	143.43	1.623
12.00	71.88	0.817	106.04	1.205	143.03	1.623



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01
Estado de muestra: Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.

Fecha: 08/02/2018
Responsable: Tesisistas
Calicata: C-01
Dosificación: 6% Cal - 0% Ceniza



$C = 0.003 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 38.96^\circ$

$\tau = 0.003 + \sigma \tan 38.96^\circ$





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CD-17

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

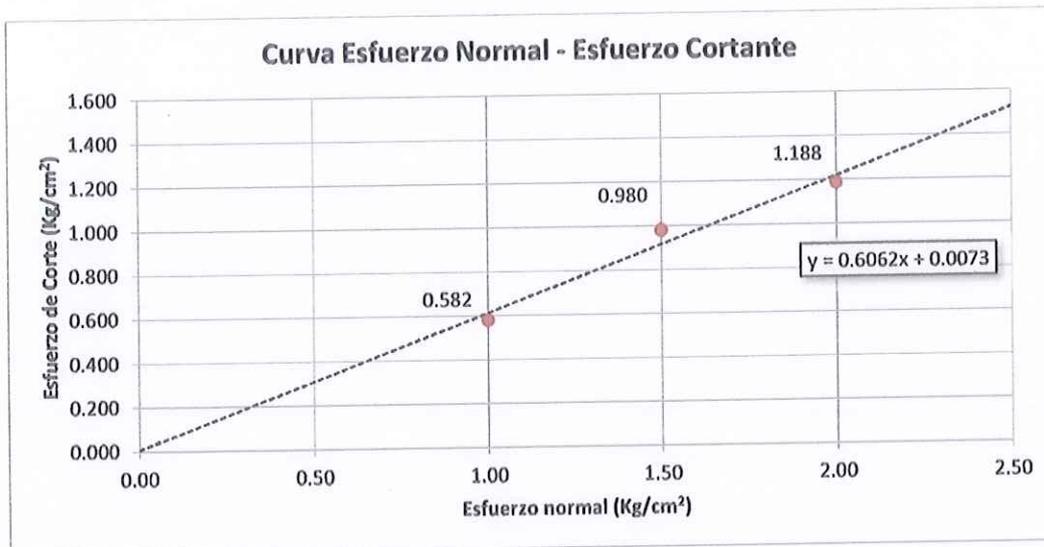
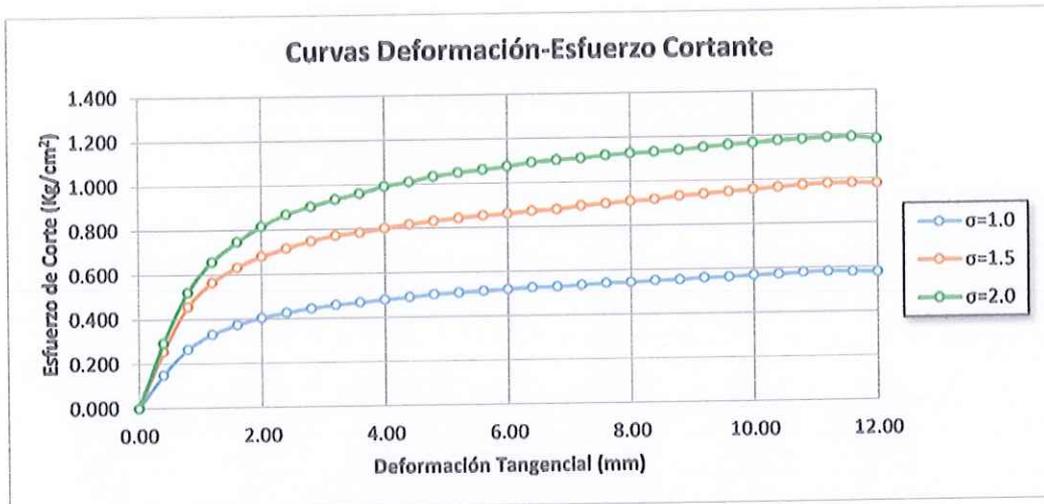
Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	09/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Testistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	6% Cal - 5% Ceniza

DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.556		1.556		1.556	
HUMEDAD (%)	14.95		14.95		14.95	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	14.88	0.149	25.39	0.255	29.03	0.291
0.80	26.20	0.264	45.20	0.456	51.67	0.521
1.20	32.67	0.331	55.71	0.564	65.01	0.658
1.60	36.71	0.373	62.18	0.632	73.50	0.747
2.00	39.54	0.403	66.63	0.680	79.97	0.816
2.40	41.56	0.426	69.86	0.716	84.82	0.869
2.80	43.18	0.444	72.69	0.748	87.85	0.904
3.20	44.39	0.459	74.63	0.771	90.48	0.935
3.60	45.20	0.469	75.52	0.783	92.50	0.960
4.00	46.01	0.479	76.93	0.801	95.12	0.991
4.40	46.82	0.490	78.15	0.817	96.54	1.010
4.80	47.63	0.500	79.16	0.831	98.36	1.033
5.20	48.03	0.507	79.97	0.844	99.37	1.048
5.60	48.44	0.513	80.57	0.854	100.18	1.061
6.00	48.84	0.520	80.90	0.861	100.99	1.074
6.40	49.24	0.526	81.58	0.872	102.12	1.091
6.80	49.24	0.528	81.78	0.878	102.60	1.101
7.20	49.65	0.535	82.80	0.892	102.80	1.108
7.60	50.05	0.542	83.20	0.900	103.41	1.119
8.00	50.05	0.544	83.73	0.910	103.61	1.126
8.40	50.46	0.551	84.01	0.917	103.73	1.132
8.80	50.46	0.553	84.94	0.931	103.94	1.140
9.20	50.86	0.560	85.22	0.939	104.42	1.150
9.60	50.86	0.563	85.62	0.947	104.83	1.160
10.00	51.27	0.570	86.03	0.956	105.03	1.167
10.40	51.27	0.572	86.43	0.965	105.35	1.176
10.80	51.67	0.579	86.84	0.974	105.35	1.181
11.20	51.67	0.582	86.96	0.979	105.43	1.187
11.60	51.27	0.580	86.64	0.980	105.03	1.188
12.00	50.86	0.578	86.03	0.978	103.61	1.178



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	09/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Testistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	6% Cal - 5% Ceniza



C = 0.0073 kg/cm²

φ = 31.22°

τ = 0.0073 + σtan31.22°





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CD-18

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	09/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Testistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	6% Cal - 10% Ceniza

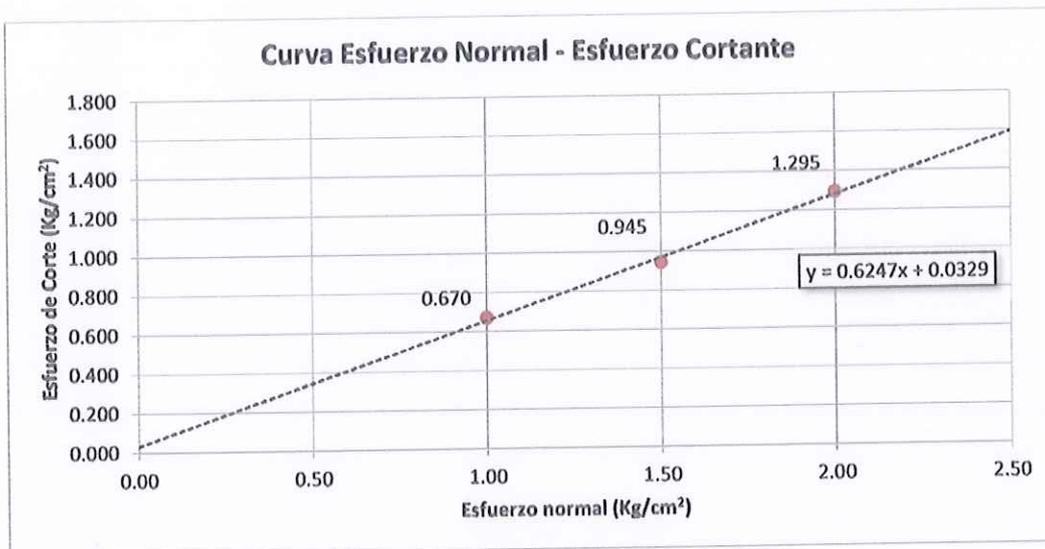
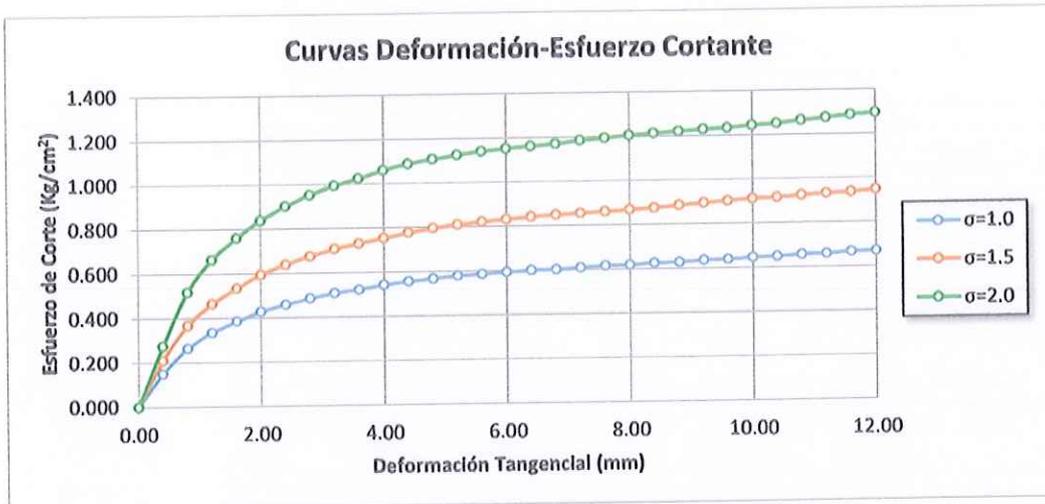
DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80	
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.459		1.459		1.459	
HUMEDAD (%)	16.20		16.20		16.20	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	14.88	0.149	20.95	0.210	27.42	0.275
0.80	26.20	0.264	36.31	0.366	51.27	0.517
1.20	33.07	0.335	45.81	0.464	65.41	0.662
1.60	37.93	0.385	52.48	0.533	74.71	0.759
2.00	41.97	0.428	58.14	0.593	82.19	0.839
2.40	44.80	0.459	62.38	0.639	88.05	0.902
2.80	47.22	0.486	65.62	0.675	92.50	0.952
3.20	49.24	0.509	68.45	0.707	96.13	0.993
3.60	50.46	0.523	70.39	0.730	98.76	1.025
4.00	52.07	0.542	72.29	0.753	101.79	1.060
4.40	53.29	0.557	74.23	0.776	104.02	1.088
4.80	54.09	0.568	75.72	0.795	105.43	1.107
5.20	54.90	0.579	76.73	0.809	106.65	1.125
5.60	55.31	0.586	77.54	0.821	107.66	1.140
6.00	55.71	0.593	78.15	0.831	108.26	1.152
6.40	56.12	0.600	78.75	0.841	108.67	1.161
6.80	56.12	0.602	79.08	0.848	109.07	1.170
7.20	56.52	0.609	79.36	0.855	109.88	1.184
7.60	56.92	0.616	79.56	0.861	110.28	1.194
8.00	56.92	0.619	79.88	0.868	110.81	1.204
8.40	57.33	0.626	80.17	0.875	111.09	1.213
8.80	57.33	0.629	80.77	0.886	111.29	1.220
9.20	57.73	0.636	81.18	0.894	111.50	1.228
9.60	57.73	0.639	81.58	0.902	111.50	1.233
10.00	58.14	0.646	81.99	0.911	111.90	1.243
10.40	58.14	0.649	81.99	0.915	112.10	1.251
10.80	58.54	0.656	82.39	0.924	112.71	1.264
11.20	58.54	0.659	82.59	0.930	113.11	1.274
11.60	58.95	0.667	82.80	0.937	113.72	1.286
12.00	58.95	0.670	83.20	0.945	113.92	1.295



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01
Estado de muestra: Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.

Fecha: 09/02/2018
Responsable: Tesistas
Calicata: C-01
Dosificación: 6% Cal - 10% Ceniza



$C = 0.0329 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 31.99^\circ$

$\tau = 0.0329 + \sigma \tan 31.99^\circ$





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CD-19

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

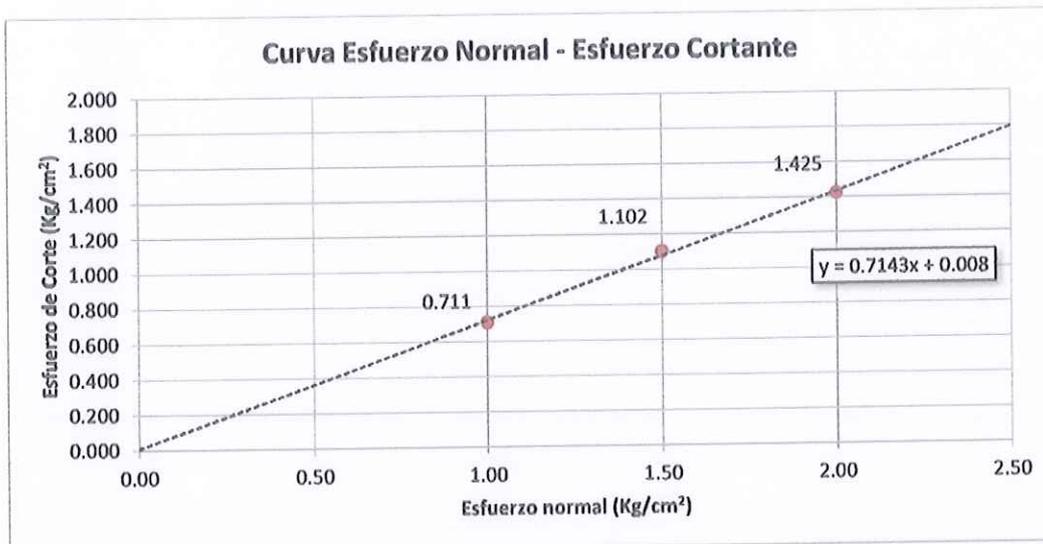
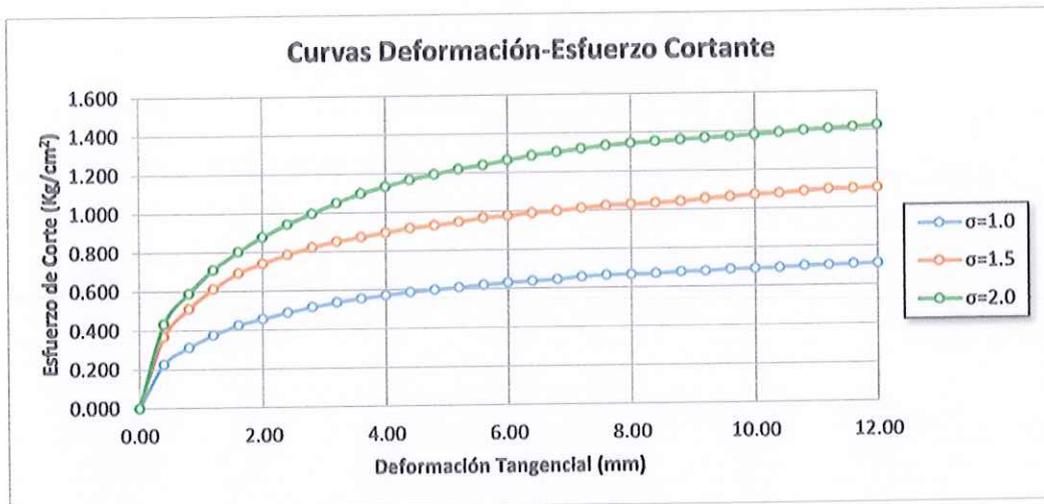
Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	12/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Testistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	6% Cal - 15% Ceniza

DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.378		1.378		1.378	
HUMEDAD (%)	19.45		19.45		19.45	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	22.56	0.227	36.71	0.369	43.18	0.434
0.80	31.05	0.313	50.66	0.511	58.54	0.590
1.20	37.12	0.376	60.56	0.613	70.26	0.711
1.60	41.97	0.427	68.24	0.694	79.16	0.804
2.00	44.80	0.457	72.69	0.742	86.03	0.878
2.40	47.63	0.488	76.73	0.786	92.09	0.944
2.80	50.05	0.515	79.97	0.823	96.94	0.997
3.20	52.07	0.538	82.39	0.851	101.79	1.052
3.60	53.69	0.557	84.21	0.874	105.84	1.098
4.00	54.90	0.572	85.95	0.895	108.67	1.132
4.40	56.12	0.587	87.65	0.917	111.50	1.166
4.80	56.92	0.598	88.45	0.929	113.52	1.192
5.20	57.73	0.609	89.67	0.946	115.54	1.219
5.60	58.54	0.620	91.20	0.966	116.95	1.239
6.00	59.35	0.631	91.69	0.975	118.69	1.263
6.40	59.75	0.638	92.50	0.988	120.31	1.285
6.80	60.16	0.645	92.90	0.997	121.32	1.302
7.20	60.97	0.657	93.83	1.011	122.41	1.319
7.60	61.37	0.664	94.52	1.023	123.22	1.334
8.00	61.37	0.667	94.64	1.029	123.62	1.344
8.40	61.37	0.670	94.64	1.033	123.82	1.352
8.80	61.78	0.677	94.92	1.041	124.03	1.360
9.20	61.78	0.680	95.65	1.053	124.23	1.368
9.60	62.18	0.688	96.05	1.063	124.23	1.374
10.00	62.18	0.691	96.46	1.072	124.43	1.383
10.40	62.18	0.694	96.54	1.077	124.63	1.391
10.80	62.58	0.702	96.94	1.087	125.04	1.402
11.20	62.58	0.705	97.35	1.096	125.16	1.409
11.60	62.58	0.708	96.94	1.097	125.24	1.417
12.00	62.58	0.711	96.94	1.102	125.44	1.425



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	12/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	6% Cal - 15% Ceniza



$C = 0.008 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 35.54^\circ$

$\tau = 0.008 + \sigma \tan 35.54^\circ$





ENSAYO DE CORTE DIRECTO

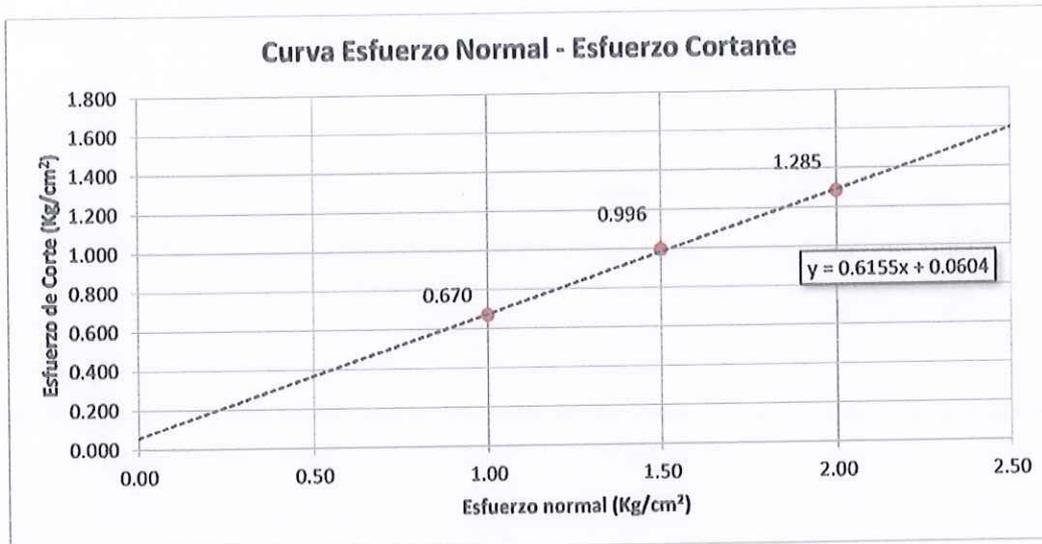
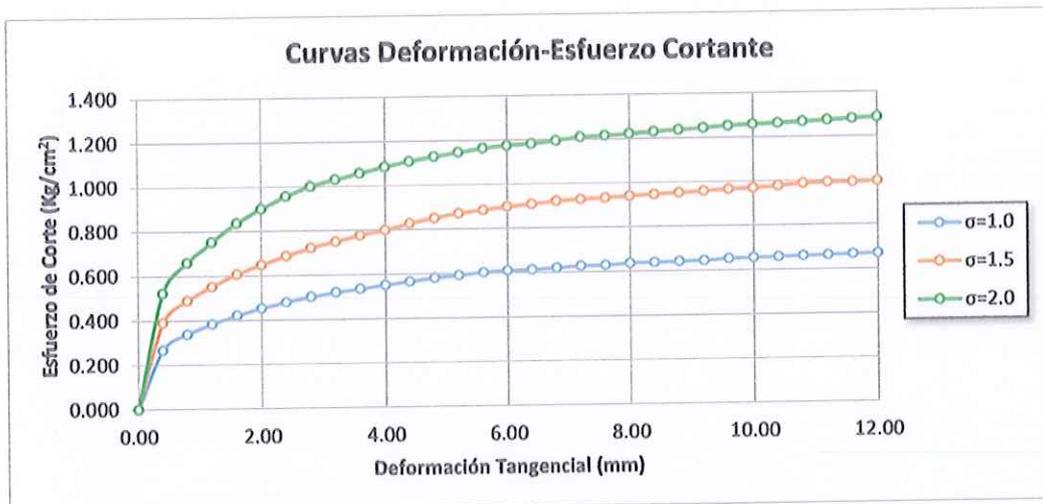
Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	12/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	6% Cal - 20% Ceniza

DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80	
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.236		1.236		1.236	
HUMEDAD (%)	20.60		20.60		20.60	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	26.61	0.267	38.73	0.389	52.07	0.523
0.80	33.48	0.337	48.44	0.488	65.41	0.659
1.20	37.93	0.384	54.50	0.552	74.31	0.752
1.60	41.56	0.422	59.75	0.607	82.39	0.837
2.00	44.39	0.453	63.51	0.648	88.25	0.901
2.40	46.82	0.480	67.03	0.687	93.31	0.956
2.80	48.84	0.502	70.18	0.722	97.27	1.001
3.20	50.46	0.521	72.61	0.750	99.77	1.031
3.60	51.67	0.536	74.91	0.777	102.00	1.058
4.00	52.88	0.551	76.73	0.799	104.22	1.086
4.40	54.09	0.566	79.16	0.828	106.04	1.109
4.80	55.31	0.581	80.98	0.851	107.45	1.129
5.20	56.12	0.592	82.51	0.870	108.67	1.146
5.60	56.92	0.603	83.52	0.885	109.88	1.164
6.00	57.33	0.610	84.41	0.898	110.49	1.175
6.40	57.33	0.612	85.02	0.908	110.69	1.183
6.80	57.73	0.619	85.83	0.921	111.41	1.195
7.20	58.14	0.626	86.03	0.927	112.22	1.209
7.60	58.14	0.629	86.23	0.933	112.30	1.215
8.00	58.54	0.636	86.43	0.939	112.43	1.222
8.40	58.54	0.639	86.64	0.946	112.71	1.230
8.80	58.54	0.642	86.84	0.952	112.83	1.237
9.20	58.54	0.645	86.96	0.958	113.03	1.245
9.60	58.95	0.652	87.24	0.965	113.31	1.253
10.00	58.95	0.655	87.24	0.969	113.31	1.259
10.40	58.95	0.658	87.65	0.978	113.11	1.262
10.80	58.95	0.661	88.05	0.987	113.11	1.268
11.20	58.95	0.664	88.05	0.992	113.11	1.274
11.60	58.95	0.667	87.65	0.991	113.11	1.280
12.00	58.95	0.670	87.65	0.996	113.11	1.285



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	12/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Testistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	6% Cal - 20% Ceniza



$C = 0.0604 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 31.61^\circ$

$\tau = 0.0604 + \sigma \tan 31.61^\circ$





ENSAYO GRANULOMÉTRICO

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar. **Fecha:** 19/02/2018
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01. **Responsable:** Tesisistas
Calicata: C-02

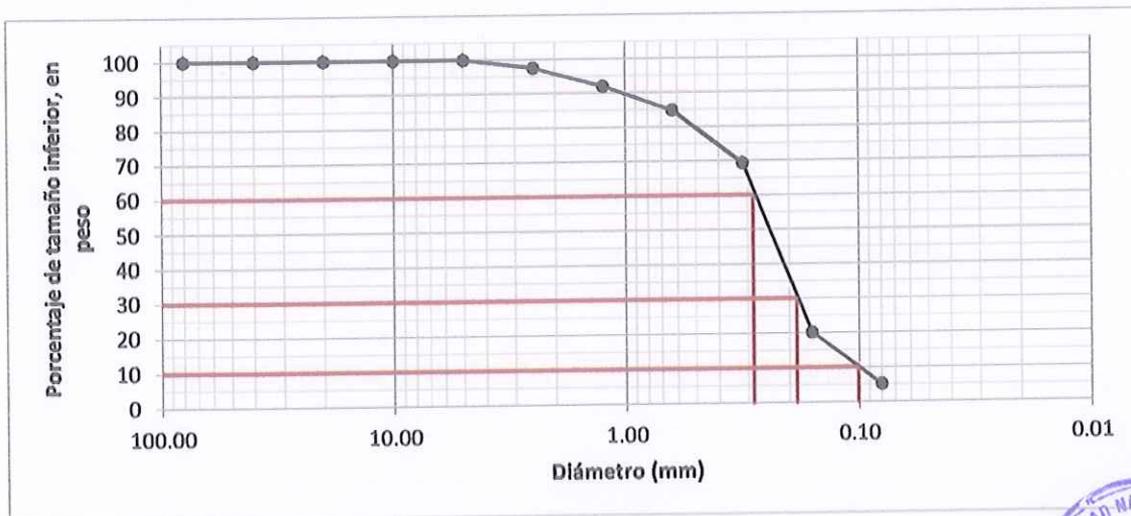
Peso Total de la Muestra (g): 1000.00 **Humedad:** 0.35%
Fracción gruesa (g): 948.00
Fracción fina (g): 52.00

	ABERTURA DE TAMIZ ASTM	ABERTURA DE TAMIZ mm	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PASANTE (%)
GRAVA	3"	80.000	0.00	0.00	0.00	100.00
	1 1/2"	40.000	0.00	0.00	0.00	100.00
	3/4"	20.000	0.00	0.00	0.00	100.00
	3/8"	10.000	0.00	0.00	0.00	100.00
	N° 4	5.000	0.00	0.00	0.00	100.00
ARENA	N° 8	2.500	24.07	24.07	2.41	97.59
	N° 16	1.250	54.94	79.01	7.90	92.10
	N° 30	0.630	71.16	150.17	15.02	84.98
	N° 50	0.315	158.19	308.37	30.84	69.16
	N° 100	0.160	490.92	799.28	79.93	20.07
	N° 200	0.080	148.72	948.00	94.80	5.20
	PLATO		52.00	1000.00	100.00	0.00
	TOTAL		1000.00			

L.P. = No presenta
L.L. = No presenta

Tipo de suelo (SUCS): SP-SM

Cu = 2.82
Cc = 1.20





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

DC-02

DENSIDAD DE CAMPO

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01.

Fecha: 19/02/2018
Responsable: Tesistas
Calicata: C-02

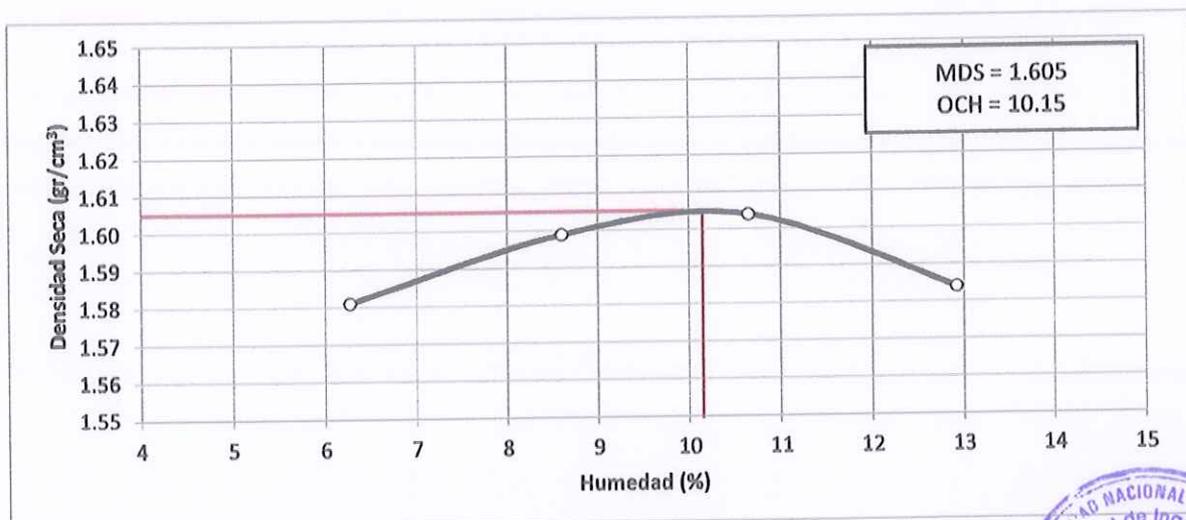
Profundidad	m	1.00	1.50			
PESO ESPECÍFICO						
Peso arena + cono inicial	gr	5057.00	5402.00			
Peso arena + cono final	gr	2501.00	2989.00			
Peso de cono de corrección	gr	1450.00	1450.00			
Peso de arena en hoyo	gr	1106.00	963.00			
Densidad arena	gr/cm ³	1.318	1.318			
Volumen de hoyo	cm ³	839.15	730.65			
Peso recipiente	gr	0.00	0.00			
Peso suelo húm. + grava húm. + recipiente	gr	1200.00	1152.00			
Peso grava húm. (retenido 3/4")	gr	0.00	0.00			
Peso suelo húmedo	gr	1200.00	1152.00			
Densidad de Grava	gr/cm ³	0.000	0.00			
Volumen de Grava	cm ³	0.00	0.00			
Volumen Corregido de Hoyo	cm ³	839.15	730.65			
Densidad suelo húmedo	gr/cm ³	1.430	1.577			
CONTENIDO DE HUMEDAD						
Tara	N°	1	2			
Peso de muestra húmeda + tara	gr	112.60	133.10			
Peso muestra seca + tara	gr	112.43	132.76			
Peso del agua	gr	0.17	0.34			
Peso de tara	gr	28.02	27.45			
Peso de la muestra seca	gr	84.41	105.32			
Contenido de humedad	%	0.21	0.32			
PESO ESPECÍFICO SECO						
Densidad seca	gr/cm ³	1.427	1.572			



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar. **Fecha:** 20/02/2018
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01. **Responsable:** Tesistas
Estado de muestra: Húmeda compacta. **Calicata:** C-01
Dosificación: 0%Cal - 0%Ceniza

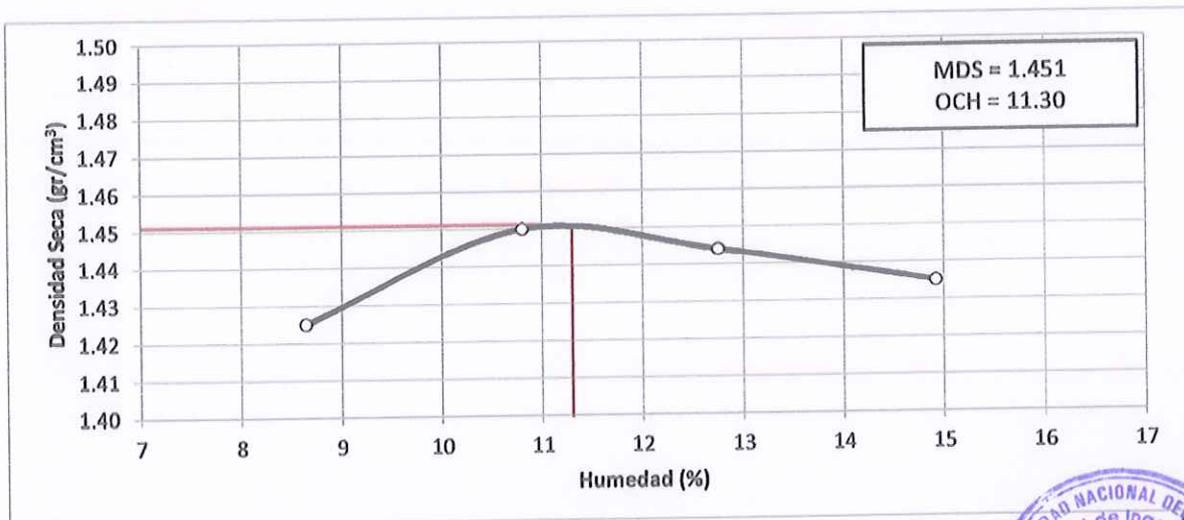
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5825.00	5880.00	5917.00	5930.00				
Peso del molde	gr	4201.00	4201.00	4201.00	4201.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1624.00	1679.00	1716.00	1729.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.680	1.737	1.775	1.789				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	121.022	114.120	119.546	109.688	124.564	114.387	126.941	136.823
Peso muestra seca + tara	gr	115.498	109.046	112.631	103.105	115.136	106.268	116.386	123.587
Peso del agua	gr	5.524	5.074	6.915	6.583	9.428	8.119	10.555	13.236
Peso de tara	gr	27.500	28.147	27.873	30.295	28.534	28.355	29.427	26.928
Peso de la muestra seca	gr	87.998	80.899	84.758	72.810	86.602	77.913	86.959	96.659
Contenido de humedad	%	6.27		8.60		10.65		12.92	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.581	1.599	1.604	1.584				



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar. **Fecha:** 20/02/2018
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01. **Responsable:** Tesistas
Estado de muestra: Húmeda compacta. **Calicata:** C-01
Dosificación: 0%Cal - 5%Ceniza

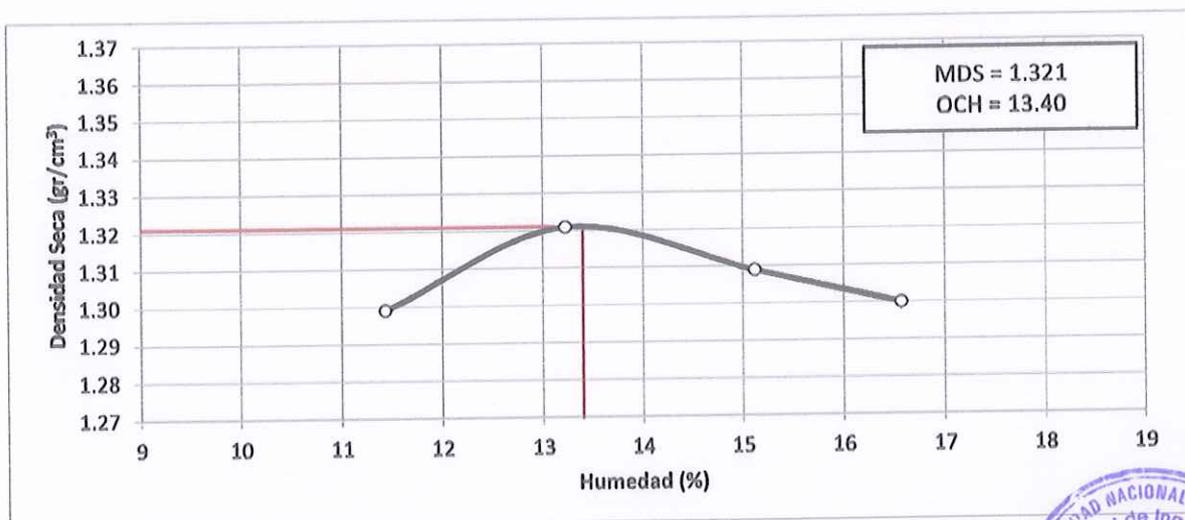
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5697.00	5754.00	5775.00	5795.00				
Peso del molde	gr	4201.00	4201.00	4201.00	4201.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1496.00	1553.00	1574.00	1594.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.548	1.607	1.628	1.649				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	116.167	138.002	143.248	127.204	126.487	132.008	157.016	138.585
Peso muestra seca + tara	gr	108.981	129.433	132.216	117.572	115.742	119.937	140.429	124.108
Peso del agua	gr	7.186	8.569	11.032	9.632	10.745	12.071	16.587	14.477
Peso de tara	gr	27.500	28.147	27.873	30.295	28.534	28.355	29.427	26.928
Peso de la muestra seca	gr	81.481	101.286	104.343	87.277	87.208	91.582	111.002	97.180
Contenido de humedad	%	8.64		10.80		12.75		14.92	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.425		1.450		1.444		1.435	



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	21/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01.	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	0%Cal - 10%Ceniza

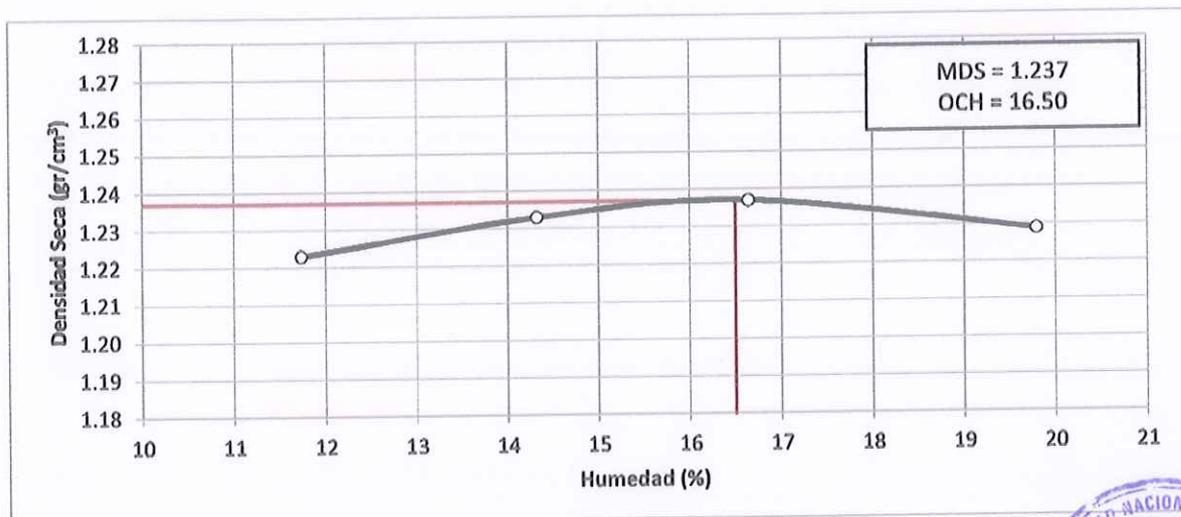
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5600.00	5647.00	5658.00	5665.00				
Peso del molde	gr	4201.00	4201.00	4201.00	4201.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1399.00	1446.00	1457.00	1464.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.447	1.496	1.507	1.515				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	116.143	140.245	144.269	128.754	128.210	134.542	158.654	139.732
Peso muestra seca + tara	gr	107.854	127.743	134.870	113.980	115.742	119.937	139.810	124.108
Peso del agua	gr	8.289	12.502	9.399	14.774	12.468	14.605	18.844	15.624
Peso de tara	gr	27.500	28.147	27.873	30.295	28.534	28.355	29.427	26.928
Peso de la muestra seca	gr	80.354	99.596	106.997	83.685	87.208	91.582	110.383	97.180
Contenido de humedad	%	11.43		13.22		15.12		16.57	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.299	1.321	1.309	1.300				



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar. **Fecha:** 21/02/2018
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01. **Responsable:** Tesistas
Estado de muestra: Húmeda compacta. **Calicata:** C-01
Dosificación: 0%Cal - 15%Ceniza

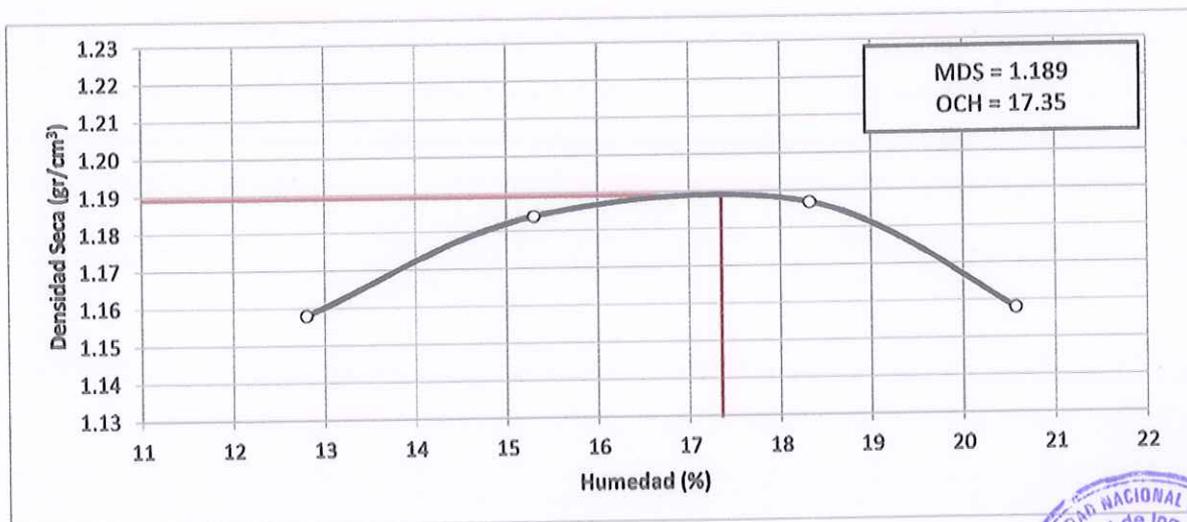
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5521.00	5563.00	5596.00	5624.00				
Peso del molde	gr	4201.00	4201.00	4201.00	4201.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1320.00	1362.00	1395.00	1423.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.366	1.409	1.443	1.472				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	105.373	106.263	105.036	103.985	113.679	90.356	90.629	87.258
Peso muestra seca + tara	gr	96.724	97.080	95.640	94.182	101.516	81.625	79.652	77.190
Peso del agua	gr	8.649	9.183	9.396	9.803	12.163	8.731	10.977	10.068
Peso de tara	gr	21.066	20.695	28.315	27.452	28.802	28.869	27.799	22.522
Peso de la muestra seca	gr	75.658	76.385	67.325	66.730	72.714	52.756	51.853	54.668
Contenido de humedad	%	11.73		14.32		16.64		19.79	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.223	1.233	1.233	1.237	1.237	1.237	1.229	1.229



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	22/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01.	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	0%Cal - 20%Ceniza

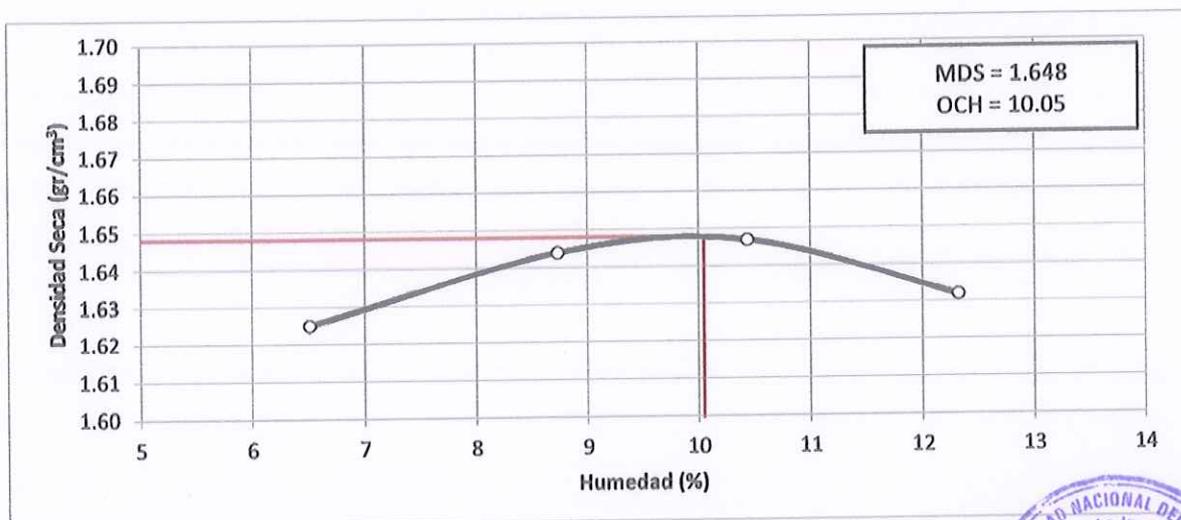
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5463.00	5520.00	5558.00	5550.00				
Peso del molde	gr	4201.00	4201.00	4201.00	4201.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1262.00	1319.00	1357.00	1349.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.306	1.365	1.404	1.396				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	117.069	118.058	116.695	115.527	126.929	100.887	100.689	96.944
Peso muestra seca + tara	gr	106.396	106.788	105.204	103.600	111.668	89.788	87.617	84.909
Peso del agua	gr	10.673	11.270	11.491	11.927	15.261	11.100	13.072	12.035
Peso de tara	gr	21.066	20.695	28.315	27.452	28.802	28.869	27.799	22.522
Peso de la muestra seca	gr	85.330	86.093	76.889	76.148	82.866	60.919	59.818	62.387
Contenido de humedad	%	12.80		15.30		18.32		20.57	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.158		1.184		1.187		1.158	



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	22/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01.	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	2%Cal - 0%Ceniza

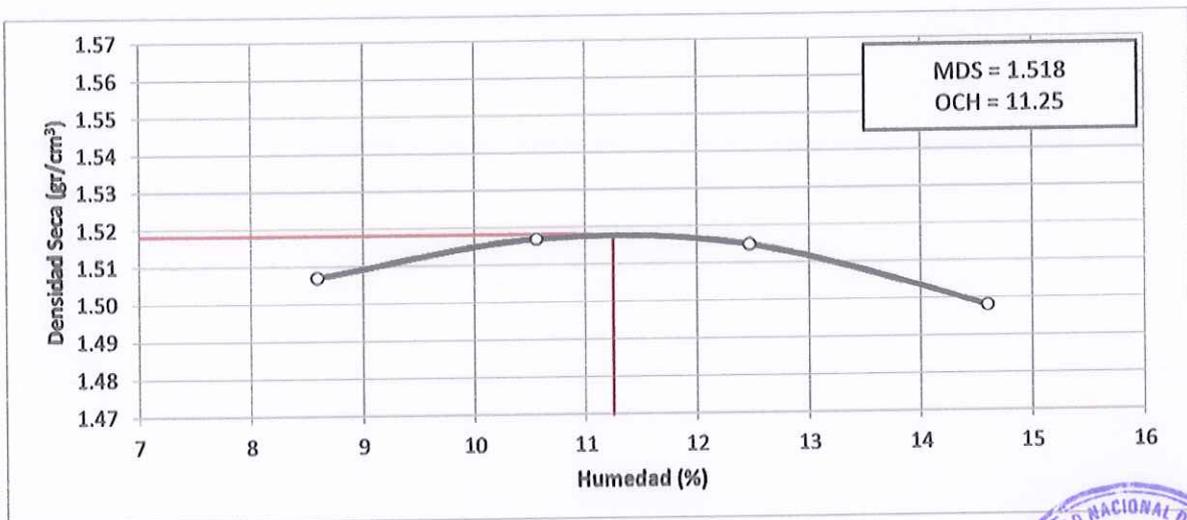
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5874.00	5929.00	5959.00	5973.00				
Peso del molde	gr	4201.00	4201.00	4201.00	4201.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1673.00	1728.00	1758.00	1772.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.731	1.788	1.819	1.833				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	118.526	101.221	118.744	116.100	138.538	131.659	128.587	119.314
Peso muestra seca + tara	gr	112.478	96.381	110.864	109.605	128.460	121.666	117.967	108.285
Peso del agua	gr	6.048	4.840	7.880	6.495	10.078	9.993	10.620	11.029
Peso de tara	gr	21.066	20.695	28.315	27.452	28.802	28.869	27.799	22.522
Peso de la muestra seca	gr	91.412	75.686	82.549	82.153	99.658	92.797	90.168	85.763
Contenido de humedad	%	6.51		8.73		10.44		12.32	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.625	1.644	1.647	1.632				



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	23/02/2018
Ublcación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01.	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	2%Cal - 5%Ceniza

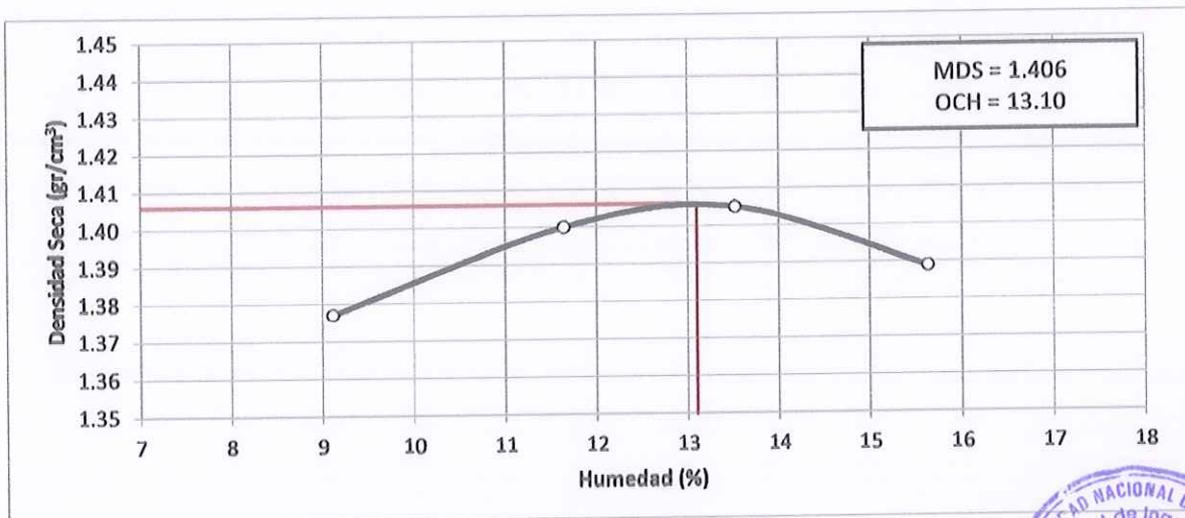
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5782.00	5822.00	5848.00	5861.00				
Peso del molde	gr	4201.00	4201.00	4201.00	4201.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1581.00	1621.00	1647.00	1660.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.636	1.677	1.704	1.717				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	128.673	134.186	137.345	130.835	136.770	146.484	141.340	149.740
Peso muestra seca + tara	gr	120.413	125.968	126.586	121.150	124.086	133.815	126.797	134.020
Peso del agua	gr	8.260	8.218	10.759	9.685	12.684	12.669	14.543	15.720
Peso de tara	gr	27.393	27.049	26.789	27.506	27.194	26.817	26.705	26.871
Peso de la muestra seca	gr	93.020	98.919	99.797	93.644	96.892	106.998	100.092	107.149
Contenido de humedad	%	8.59		10.56		12.47		14.60	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.507		1.517		1.515		1.498	



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	23/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01.	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	2%Cal - 10%Ceniza

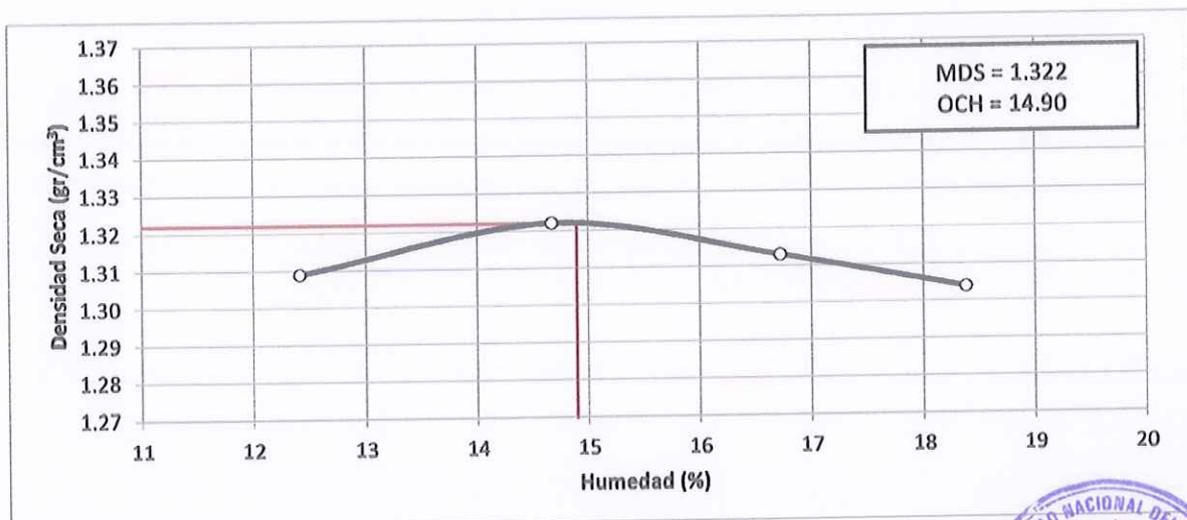
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5653.00	5712.00	5743.00	5753.00				
Peso del molde	gr	4201.00	4201.00	4201.00	4201.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1452.00	1511.00	1542.00	1552.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.502	1.563	1.595	1.606				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	135.953	155.180	152.582	145.350	151.943	162.735	157.020	166.352
Peso muestra seca + tara	gr	132.454	138.565	139.245	133.265	136.495	147.197	139.477	147.422
Peso del agua	gr	3.499	16.615	13.337	12.085	15.448	15.538	17.543	18.930
Peso de tara	gr	27.393	27.049	26.789	27.506	27.194	26.817	26.705	26.871
Peso de la muestra seca	gr	105.061	111.516	112.456	105.759	109.301	120.380	112.772	120.551
Contenido de humedad	%	9.11		11.64		13.52		15.63	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.377		1.400		1.405		1.389	



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar. **Fecha:** 26/02/2018
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01. **Responsable:** Tesistas
Estado de muestra: Húmeda compacta. **Calicata:** C-01
Dosificación: 2%Cal - 15%Ceniza

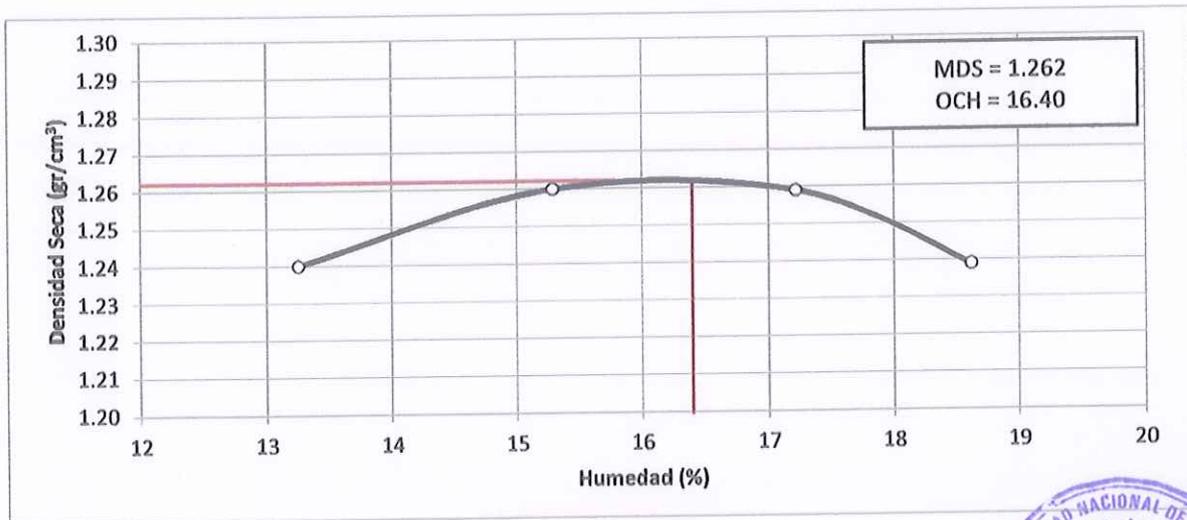
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5624.00	5666.00	5682.00	5693.00				
Peso del molde	gr	4201.00	4201.00	4201.00	4201.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1423.00	1465.00	1481.00	1492.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.472	1.516	1.532	1.544				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	118.033	110.459	119.908	110.147	111.300	120.632	105.396	108.918
Peso muestra seca + tara	gr	108.125	101.289	108.194	99.879	99.771	107.050	93.816	95.958
Peso del agua	gr	9.908	9.170	11.714	10.268	11.529	13.582	11.580	12.960
Peso de tara	gr	27.500	28.147	27.873	30.295	28.534	28.355	29.427	26.928
Peso de la muestra seca	gr	80.625	73.142	80.321	69.584	71.237	78.695	64.389	69.030
Contenido de humedad	%	12.41		14.67		16.72		18.38	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.309	1.322	1.313	1.304				



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	26/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01.	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	2%Cal - 20%Ceniza

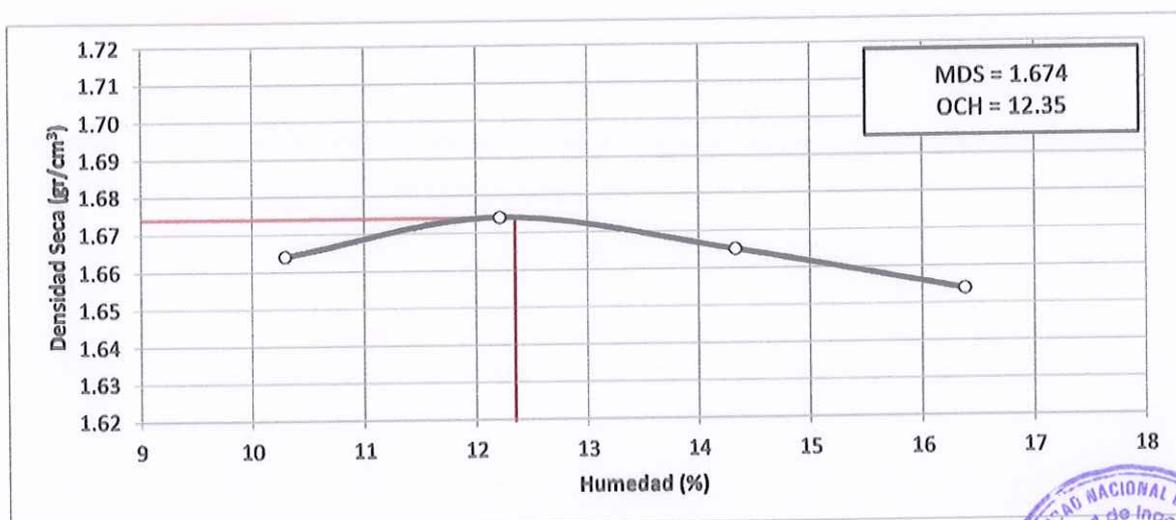
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5558.00	5605.00	5628.00	5622.00				
Peso del molde	gr	4201.00	4201.00	4201.00	4201.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1357.00	1404.00	1427.00	1421.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.404	1.453	1.476	1.470				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	159.254	149.035	161.784	148.614	150.170	162.761	142.204	146.956
Peso muestra seca + tara	gr	143.914	134.816	144.006	132.939	132.795	142.484	124.869	127.720
Peso del agua	gr	15.340	14.219	17.778	15.675	17.374	20.277	17.335	19.236
Peso de tara	gr	27.500	28.147	27.873	30.295	28.534	28.355	29.427	26.928
Peso de la muestra seca	gr	116.414	106.669	116.133	102.644	104.261	114.129	95.442	100.792
Contenido de humedad	%	13.25		15.29		17.22		18.62	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.240		1.260		1.259		1.239	



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	27/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01.	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	4%Cal - 0% Ceniza

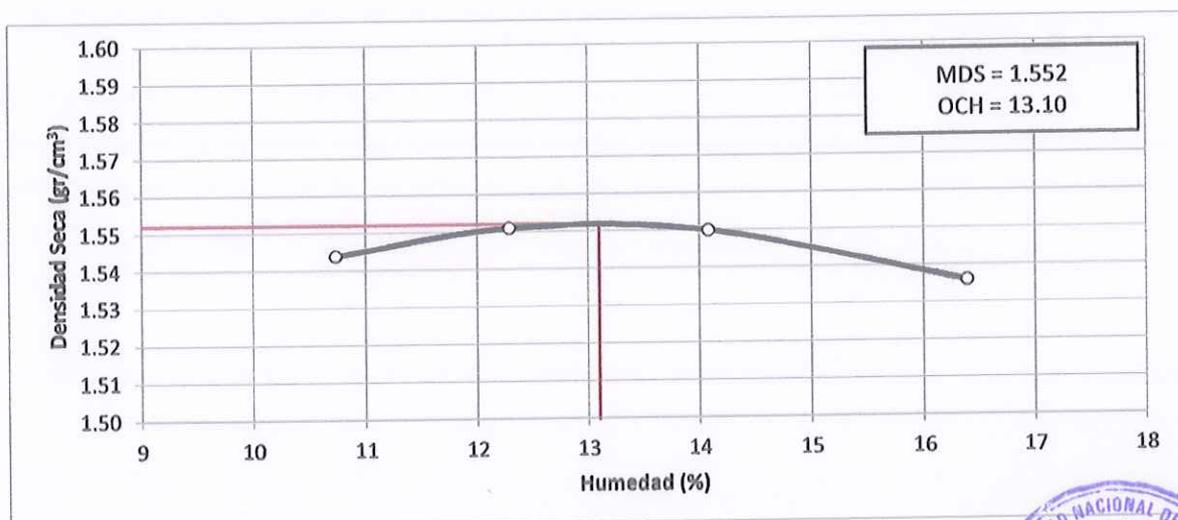
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5975.00	6016.00	6041.00	6062.00				
Peso del molde	gr	4201.00	4201.00	4201.00	4201.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1774.00	1815.00	1840.00	1861.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.835	1.878	1.904	1.925				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	123.607	142.797	141.186	140.726	121.562	139.570	131.097	133.686
Peso muestra seca + tara	gr	114.817	131.881	129.301	128.288	110.213	125.254	116.303	119.180
Peso del agua	gr	8.790	10.916	11.885	12.438	11.349	14.316	14.794	14.506
Peso de tara	gr	27.500	28.147	27.873	30.295	28.534	28.355	29.427	26.928
Peso de la muestra seca	gr	87.317	103.734	101.428	97.993	81.679	96.899	86.876	92.252
Contenido de humedad	%	10.29		12.21		14.33		16.38	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.664	1.674	1.665	1.654				



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar. **Fecha:** 27/02/2018
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01. **Responsable:** Tesistas
Estado de muestra: Húmeda compacta. **Calicata:** C-01
Dosificación: 4%Cal - 5%Ceniza

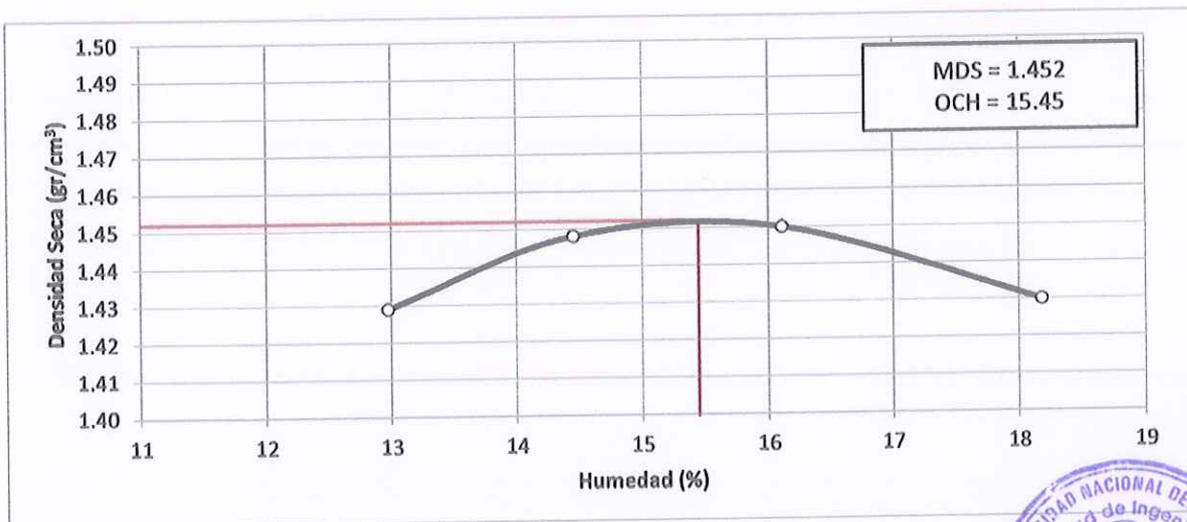
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5854.00	5885.00	5910.00	5929.00				
Peso del molde	gr	4201.00	4201.00	4201.00	4201.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1653.00	1684.00	1709.00	1728.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.710	1.742	1.768	1.788				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	136.399	138.790	146.541	143.357	154.746	143.372	147.934	141.450
Peso muestra seca + tara	gr	126.183	127.702	133.425	130.793	138.935	129.267	130.811	125.597
Peso del agua	gr	10.216	11.088	13.116	12.564	15.811	14.105	17.123	15.853
Peso de tara	gr	28.111	27.219	27.563	27.682	27.609	28.193	27.891	27.438
Peso de la muestra seca	gr	98.072	100.483	105.862	103.111	111.326	101.074	102.920	98.159
Contenido de humedad	%	10.73		12.29		14.08		16.39	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.544	1.551	1.550	1.536				



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	28/02/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01.	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	4%Cal - 10%Ceniza

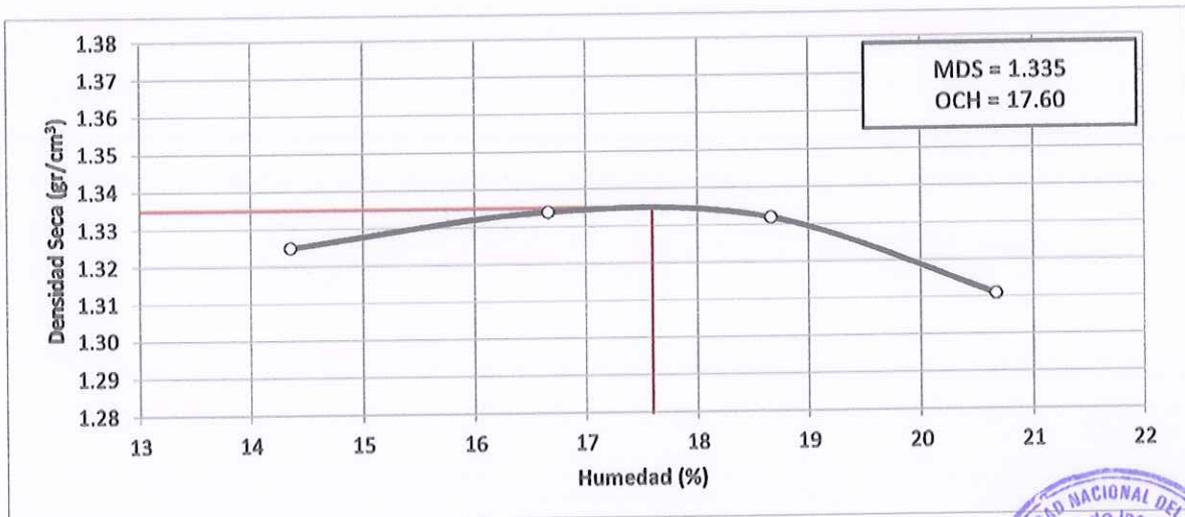
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5761.00	5803.00	5829.00	5834.00				
Peso del molde	gr	4201.00	4201.00	4201.00	4201.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1560.00	1602.00	1628.00	1633.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.614	1.657	1.684	1.690				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	248.305	252.657	266.767	260.971	281.704	260.999	269.303	257.500
Peso muestra seca + tara	gr	223.541	226.232	236.371	231.708	246.132	229.004	231.740	222.503
Peso del agua	gr	24.764	26.425	30.397	29.263	35.572	31.994	37.564	34.997
Peso de tara	gr	28.111	27.219	27.563	27.682	27.609	28.193	27.891	27.438
Peso de la muestra seca	gr	195.430	199.013	208.808	204.026	218.523	200.811	203.849	195.065
Contenido de humedad	%	12.97		14.45		16.11		18.18	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.429	1.448	1.448	1.450	1.450	1.450	1.430	1.430



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	28/02/2018
Ublcación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01.	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	4%Cal - 15%Ceniza

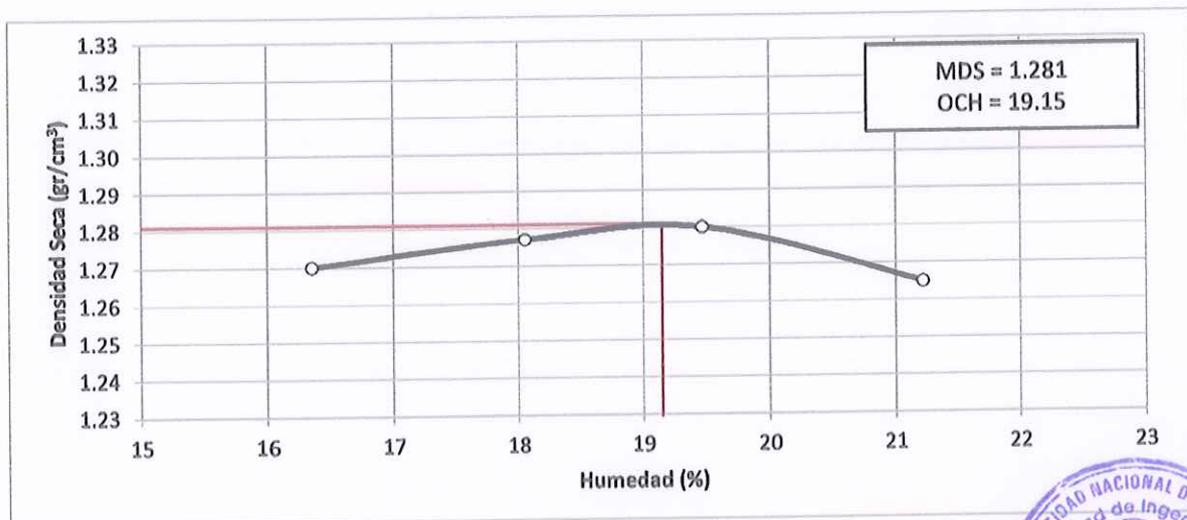
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5665.00	5705.00	5728.00	5730.00				
Peso del molde	gr	4201.00	4201.00	4201.00	4201.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1464.00	1504.00	1527.00	1529.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.515	1.556	1.580	1.582				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	114.074	108.607	117.966	120.137	115.415	102.552	94.688	99.177
Peso muestra seca + tara	gr	102.452	97.526	105.077	106.996	102.249	90.583	82.974	86.341
Peso del agua	gr	11.622	11.081	12.889	13.141	13.166	11.969	11.714	12.836
Peso de tara	gr	21.066	20.695	28.315	27.452	28.802	28.869	27.799	22.522
Peso de la muestra seca	gr	81.386	76.831	76.762	79.544	73.447	61.714	55.175	63.819
Contenido de humedad	%	14.35		16.66		18.66		20.67	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.325	1.334	1.332	1.311				



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	01/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01.	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	4%Cal - 20%Ceniza

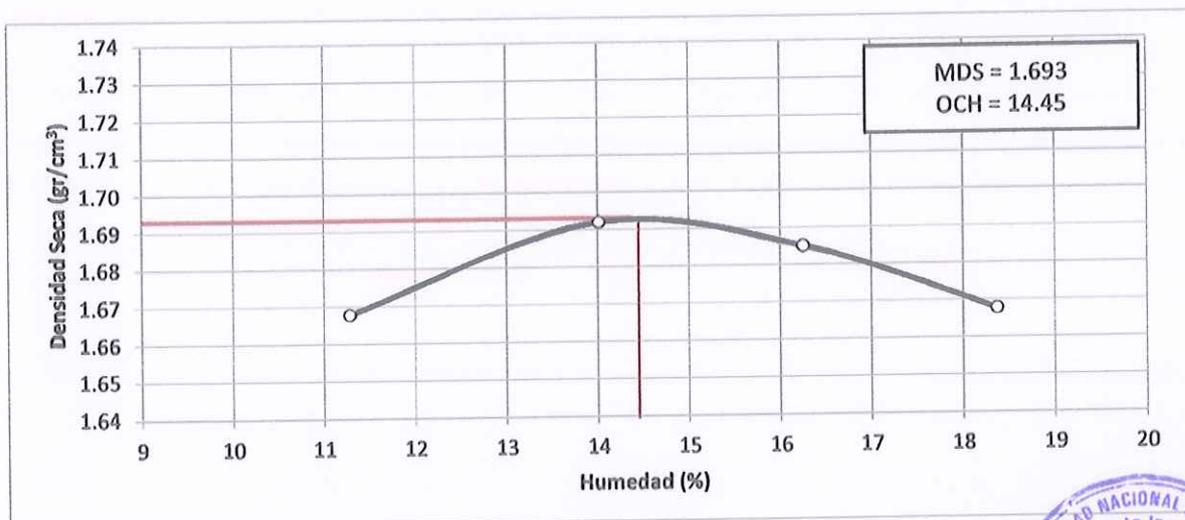
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5630.00	5659.00	5679.00	5683.00				
Peso del molde	gr	4201.00	4201.00	4201.00	4201.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1429.00	1458.00	1478.00	1482.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.478	1.508	1.529	1.533				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	207.664	197.711	214.749	218.701	210.105	186.689	172.373	180.545
Peso muestra seca + tara	gr	181.500	172.773	186.150	189.550	181.140	160.473	146.994	152.958
Peso del agua	gr	26.164	24.938	28.598	29.151	28.964	26.215	25.379	27.586
Peso de tara	gr	21.066	20.695	28.315	27.452	28.802	28.869	27.799	22.522
Peso de la muestra seca	gr	160.434	152.078	157.835	162.098	152.338	131.604	119.195	130.436
Contenido de humedad	%	16.35		18.05		19.47		21.22	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.270		1.277		1.280		1.265	



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	01/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01.	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	6%Cal - 0%Ceniza

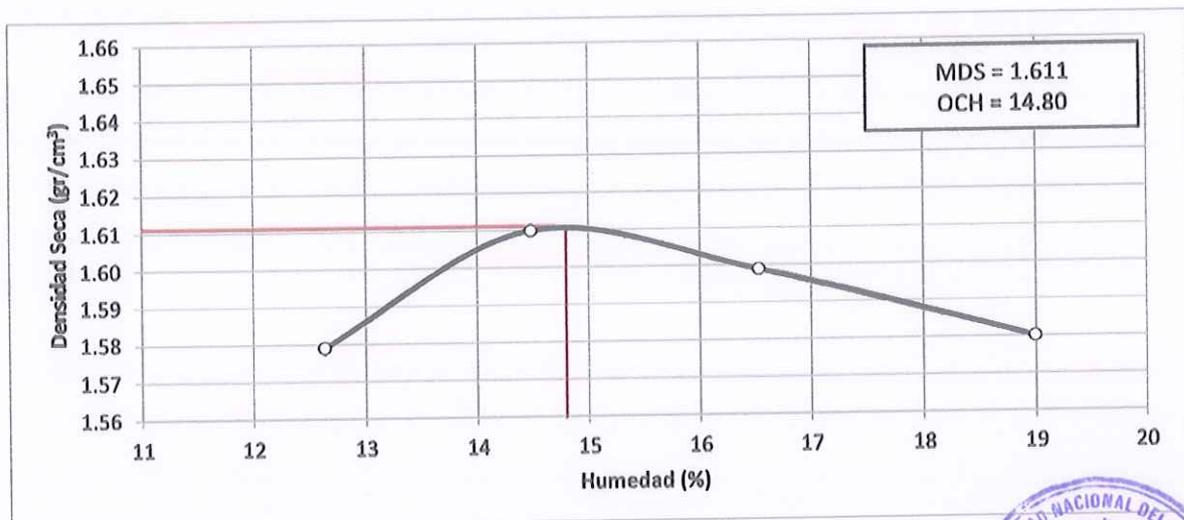
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5995.00	6065.00	6094.00	6109.00				
Peso del molde	gr	4201.00	4201.00	4201.00	4201.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1794.00	1864.00	1893.00	1908.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.856	1.929	1.959	1.974				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	137.260	136.500	121.597	148.923	153.936	121.689	120.318	115.178
Peso muestra seca + tara	gr	125.668	124.569	110.116	134.017	135.763	109.225	103.989	102.872
Peso del agua	gr	11.592	11.931	11.481	14.906	18.173	12.464	16.329	12.306
Peso de tara	gr	21.066	20.695	28.315	27.452	28.802	28.869	27.799	22.522
Peso de la muestra seca	gr	104.602	103.874	81.801	106.565	106.961	80.356	76.190	80.350
Contenido de humedad	%	11.28		14.01		16.25		18.37	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.668	1.692	1.685	1.668				



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	02/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01.	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	6%Cal - 5%Ceniza

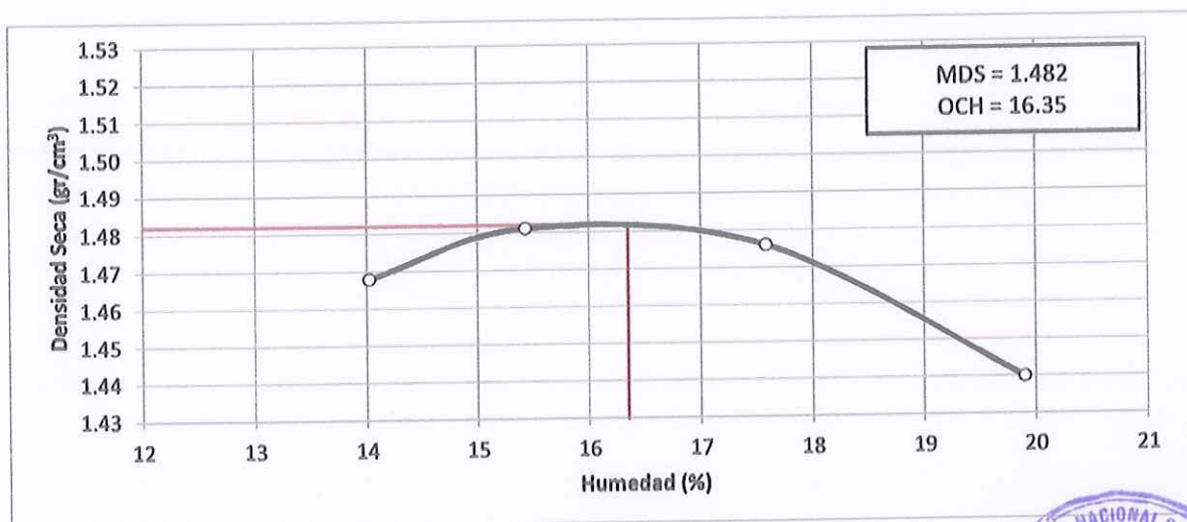
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5920.00	5982.00	6002.00	6018.00				
Peso del molde	gr	4201.00	4201.00	4201.00	4201.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1719.00	1781.00	1801.00	1817.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.778	1.843	1.863	1.880				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	150.052	148.277	165.066	154.558	139.930	140.152	155.385	134.720
Peso muestra seca + tara	gr	136.990	134.102	147.577	138.607	124.056	124.210	135.434	117.266
Peso del agua	gr	13.062	14.175	17.489	15.951	15.874	15.942	19.951	17.454
Peso de tara	gr	28.111	27.219	27.563	27.682	27.609	28.193	27.891	27.438
Peso de la muestra seca	gr	108.879	106.883	120.014	110.925	96.447	96.017	107.543	89.828
Contenido de humedad	%	12.63		14.48		16.53		18.99	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.579		1.610		1.599		1.580	



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	02/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01.	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	6%Cal - 10%Ceniza

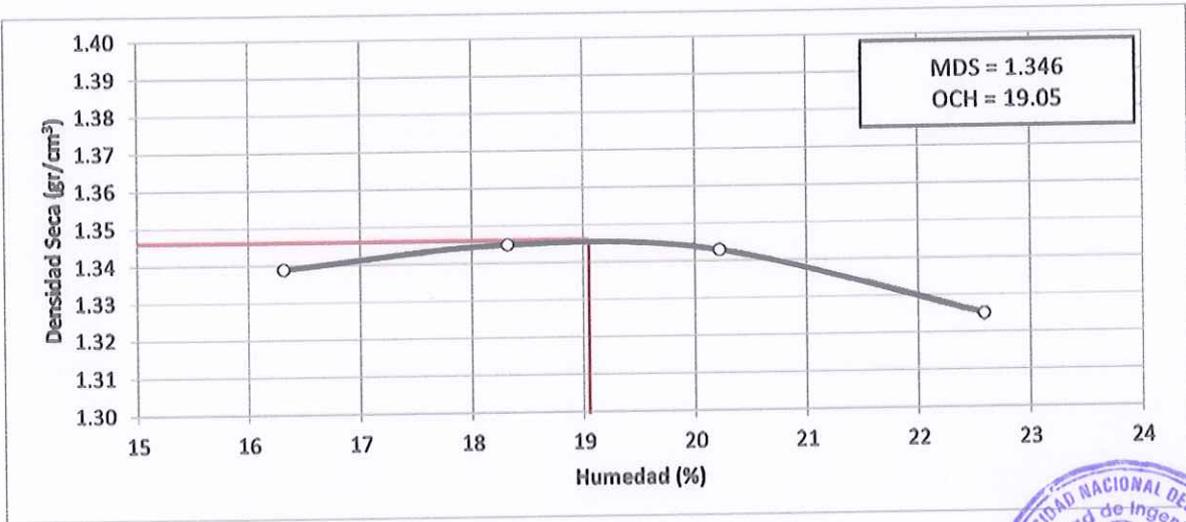
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5819.00	5853.00	5879.00	5870.00				
Peso del molde	gr	4201.00	4201.00	4201.00	4201.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1618.00	1652.00	1678.00	1669.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.674	1.709	1.736	1.727				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	223.713	221.066	245.246	229.880	208.622	208.953	231.664	200.854
Peso muestra seca + tara	gr	200.567	196.339	216.067	202.935	181.630	181.856	198.289	171.689
Peso del agua	gr	23.146	24.728	29.179	26.945	26.992	27.097	33.375	29.165
Peso de tara	gr	28.111	27.219	27.563	27.682	27.609	28.193	27.891	27.438
Peso de la muestra seca	gr	172.456	169.120	188.504	175.253	154.021	153.663	170.398	144.251
Contenido de humedad	%	14.02		15.43		17.58		19.90	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.468		1.481		1.476		1.440	



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	05/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01.	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	6%Cal - 15%Ceniza

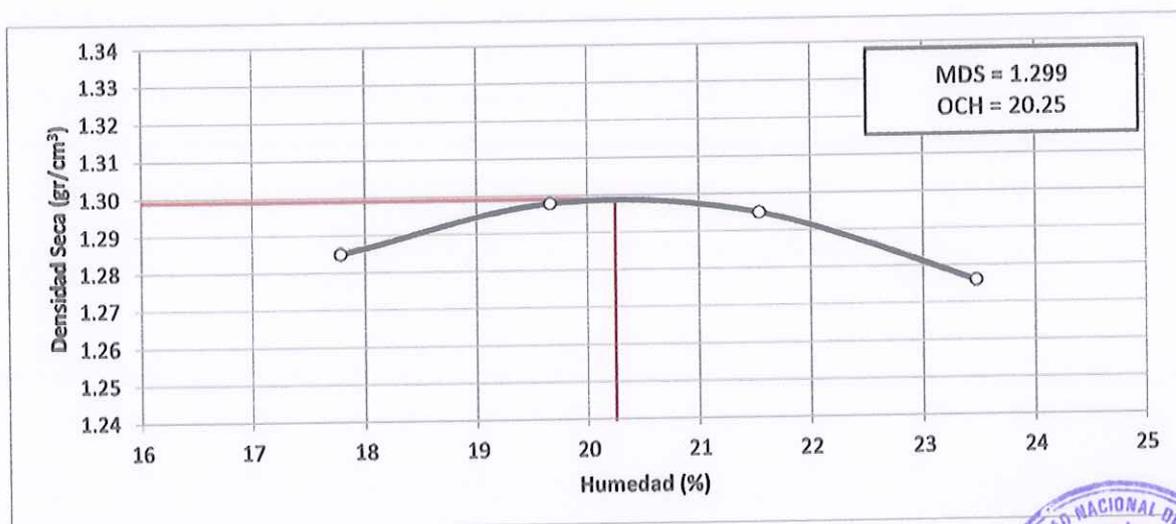
Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5706.00	5739.00	5762.00	5771.00				
Peso del molde	gr	4201.00	4201.00	4201.00	4201.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1505.00	1538.00	1561.00	1570.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.557	1.591	1.615	1.624				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	118.335	117.623	125.111	122.521	118.644	120.148	131.388	119.099
Peso muestra seca + tara	gr	105.370	105.130	109.399	108.282	103.927	103.786	112.234	101.984
Peso del agua	gr	12.965	12.493	15.712	14.239	14.717	16.362	19.154	17.115
Peso de tara	gr	27.393	27.049	26.789	27.506	27.194	26.817	26.705	26.871
Peso de la muestra seca	gr	77.977	78.081	82.610	80.776	76.733	76.969	85.529	75.113
Contenido de humedad	%	16.31		18.32		20.22		22.59	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.339	1.345	1.343	1.325				



PROCTOR ESTÁNDAR

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	05/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01.	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Húmeda compacta.	Calicata:	C-01
		Dosificación:	6%Cal - 20%Ceniza

Ensayo	N°	1	2	3	4				
PESO ESPECÍFICO									
Peso de muestra húmeda + molde	gr	5663.00	5702.00	5722.00	5724.00				
Peso del molde	gr	4201.00	4201.00	4201.00	4201.00				
Peso de muestra húmeda	gr	1462.00	1501.00	1521.00	1523.00				
Volúmen del molde	cm ³	966.55	966.55	966.55	966.55				
Densidad Húmeda	gr/cm ³	1.513	1.553	1.574	1.576				
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Tara	N°	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Peso de muestra húmeda + tara	gr	215.420	214.124	227.756	223.041	216.893	218.721	239.182	216.811
Peso muestra seca + tara	gr	186.669	186.244	193.807	191.828	184.113	183.863	198.829	180.671
Peso del agua	gr	28.751	27.880	33.949	31.213	32.780	34.858	40.353	36.140
Peso de tara	gr	27.393	27.049	26.789	27.506	27.194	26.817	26.705	26.871
Peso de la muestra seca	gr	159.276	159.195	167.018	164.322	156.919	157.046	172.124	153.800
Contenido de humedad	%	17.78		19.66		21.54		23.47	
PESO ESPECÍFICO SECO									
Densidad seca	gr/cm ³	1.285	1.298	1.298	1.295	1.295	1.295	1.276	1.276





ENSAYO DE CORTE DIRECTO

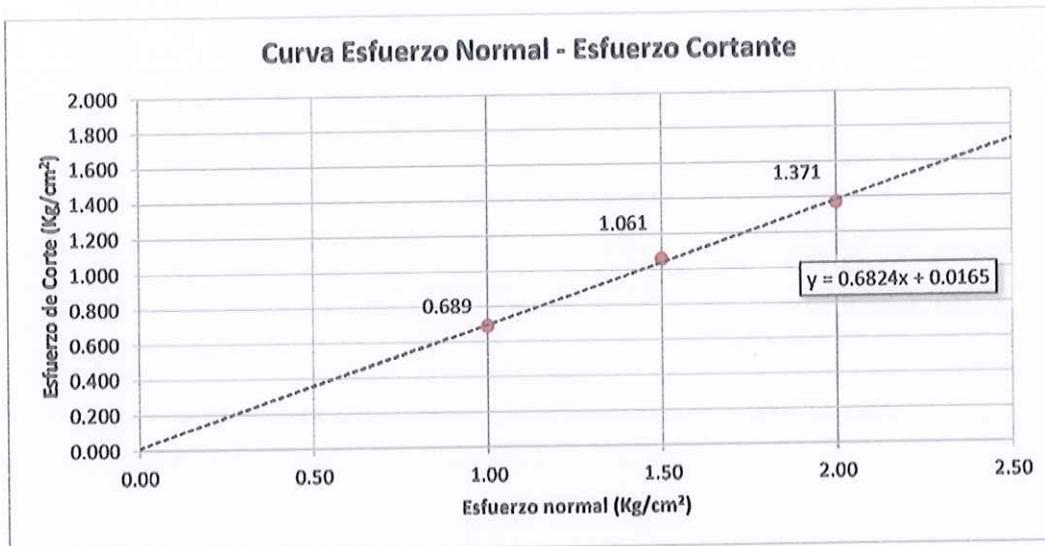
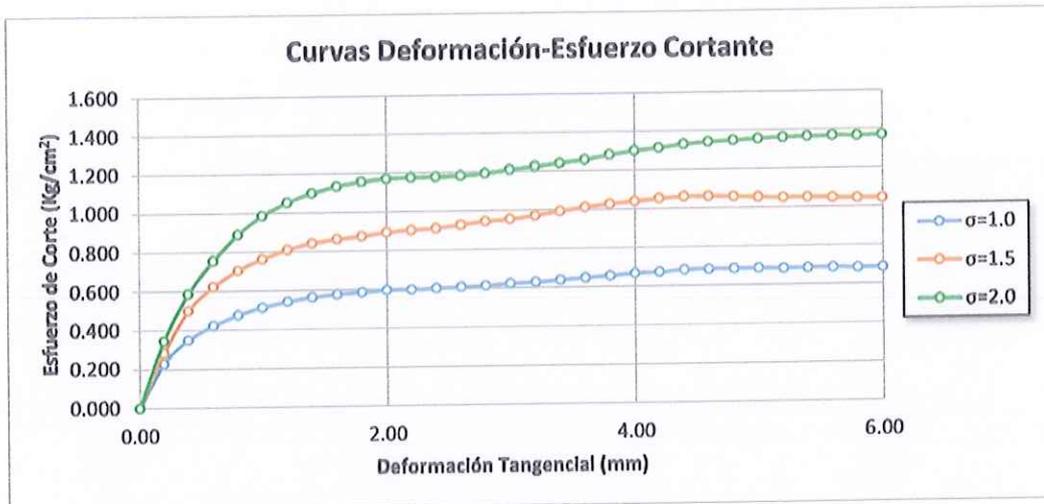
Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	12/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	SUELO NATURAL

DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	DENSIDAD (gr/cm ³)	HUMEDAD (%)	ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	
	1.80	100.00	1.572	0.32	1.00	
	1.80	100.00	1.572	0.32	1.50	
	1.80	100.00	1.572	0.32	2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.20	22.56	0.226	28.22	0.283	34.29	0.344
0.40	34.69	0.348	49.65	0.498	58.54	0.588
0.60	41.97	0.422	61.78	0.621	75.11	0.756
0.80	47.22	0.476	69.86	0.704	88.05	0.888
1.00	50.86	0.514	75.52	0.763	97.35	0.983
1.20	53.69	0.543	79.97	0.809	103.82	1.051
1.40	55.71	0.565	83.00	0.842	108.26	1.098
1.60	56.92	0.578	84.82	0.862	111.50	1.133
1.80	57.73	0.588	86.03	0.876	113.52	1.156
2.00	58.54	0.597	87.65	0.894	114.73	1.171
2.20	58.54	0.599	88.45	0.904	114.93	1.175
2.40	58.95	0.604	89.06	0.913	114.93	1.178
2.60	59.35	0.609	90.48	0.929	115.13	1.182
2.80	59.75	0.615	91.89	0.945	115.94	1.193
3.00	60.56	0.624	92.62	0.955	117.36	1.210
3.20	60.97	0.630	94.11	0.972	118.77	1.227
3.40	61.78	0.639	95.93	0.993	119.98	1.242
3.60	62.58	0.649	97.55	1.012	121.40	1.259
3.80	63.39	0.659	98.76	1.027	123.42	1.283
4.00	64.20	0.669	99.77	1.039	125.04	1.302
4.20	64.60	0.674	100.78	1.052	126.05	1.316
4.40	65.41	0.684	101.39	1.061	127.46	1.333
4.60	65.41	0.686	101.19	1.061	128.27	1.345
4.80	65.41	0.687	100.70	1.058	128.59	1.351
5.00	65.41	0.689	100.18	1.054	129.00	1.358
5.20	65.01	0.686	99.57	1.050	129.28	1.364
5.40	65.01	0.687	99.37	1.050	129.28	1.367
5.60	65.01	0.689	98.88	1.047	129.28	1.370
5.80	64.60	0.686	98.36	1.044	128.88	1.368
6.00	64.60	0.687	98.08	1.043	128.88	



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	12/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Testistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	SUELO NATURAL



$C = 0.0165 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 34.31^\circ$

$\tau = 0.0165 + \sigma \tan 34.31^\circ$





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CD-21

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

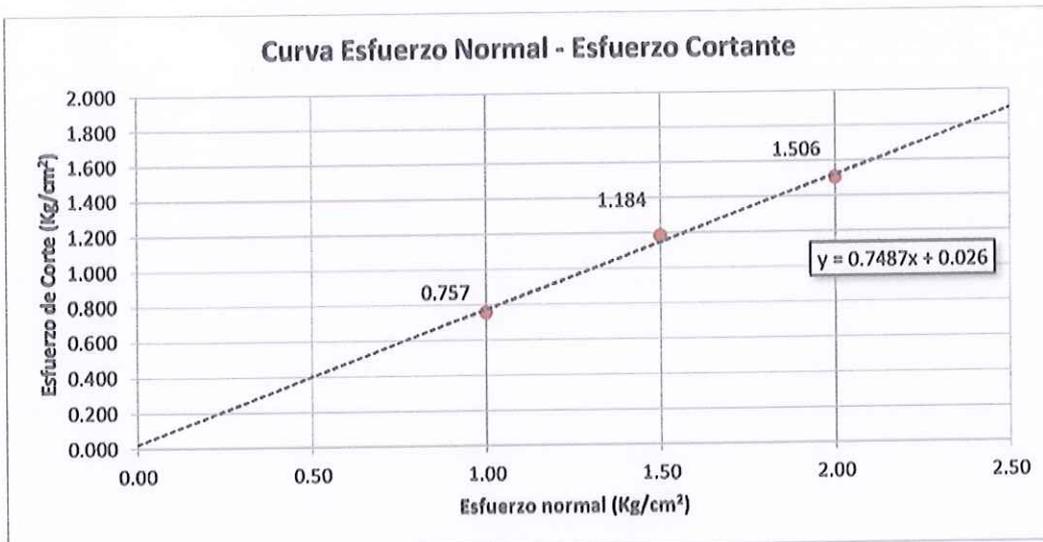
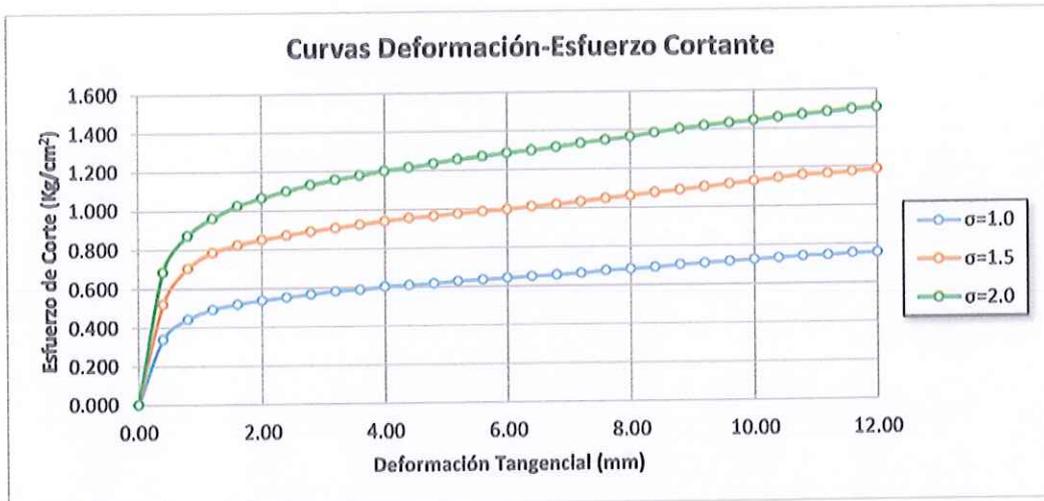
Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	12/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	0% Cal - 0% Ceniza

DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.605		1.605		1.605	
HUMEDAD (%)	10.15		10.15		10.15	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	33.88	0.340	51.67	0.519	68.24	0.685
0.80	43.99	0.443	69.86	0.704	86.43	0.871
1.20	48.84	0.494	77.54	0.785	94.92	0.961
1.60	51.27	0.521	81.18	0.825	100.78	1.024
2.00	52.88	0.540	83.40	0.851	104.22	1.063
2.40	54.09	0.554	85.22	0.873	107.25	1.099
2.80	55.31	0.569	86.76	0.893	109.88	1.130
3.20	56.52	0.584	88.05	0.910	111.90	1.156
3.60	56.92	0.591	89.18	0.925	113.52	1.178
4.00	58.14	0.606	90.48	0.942	115.34	1.201
4.40	58.54	0.612	91.49	0.957	116.35	1.217
4.80	58.95	0.619	92.01	0.967	117.76	1.237
5.20	59.75	0.630	92.62	0.977	119.18	1.257
5.60	60.16	0.637	93.31	0.988	120.11	1.272
6.00	60.56	0.644	93.71	0.997	121.20	1.289
6.40	60.97	0.651	94.64	1.011	121.80	1.301
6.80	61.37	0.658	95.12	1.021	122.81	1.318
7.20	61.78	0.666	95.93	1.034	124.03	1.336
7.60	62.58	0.677	96.86	1.048	124.96	1.352
8.00	62.99	0.685	97.75	1.063	125.85	1.368
8.40	63.39	0.692	98.68	1.077	127.06	1.387
8.80	64.20	0.704	99.37	1.090	128.27	1.406
9.20	64.60	0.712	100.18	1.103	129.08	1.422
9.60	65.01	0.719	100.99	1.117	129.69	1.435
10.00	65.41	0.727	101.79	1.131	130.21	1.447
10.40	65.82	0.735	102.60	1.145	130.90	1.461
10.80	66.22	0.742	103.41	1.159	131.51	1.474
11.20	66.22	0.746	103.41	1.165	131.91	1.485
11.60	66.63	0.754	103.82	1.174	132.44	1.498
12.00	66.63	0.757	104.22	1.184	132.52	1.506



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	12/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Testistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	0% Cal - 0% Ceniza



$C = 0.026 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 36.82^\circ$

$\tau = 0.026 + \sigma \tan 36.82^\circ$





ENSAYO DE CORTE DIRECTO

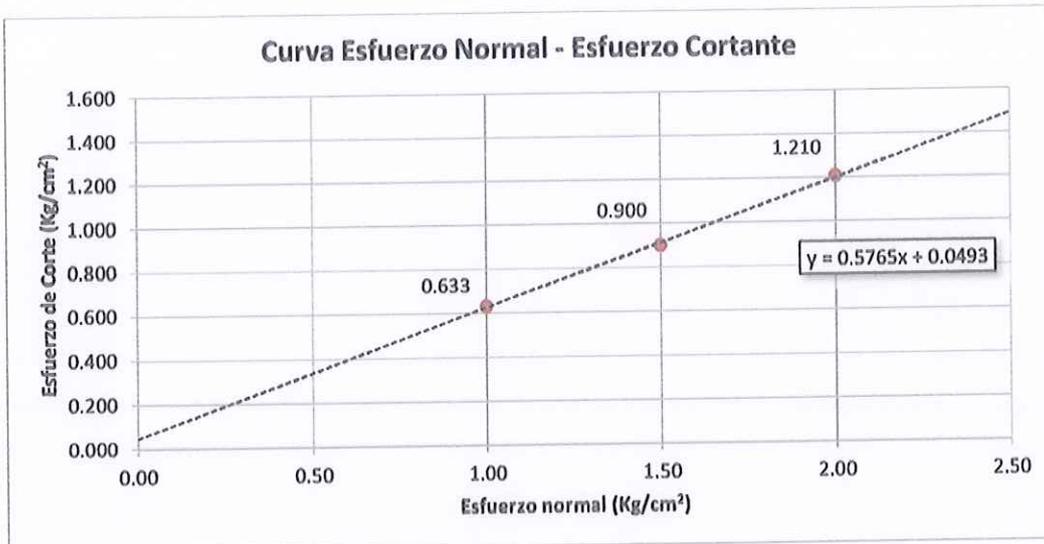
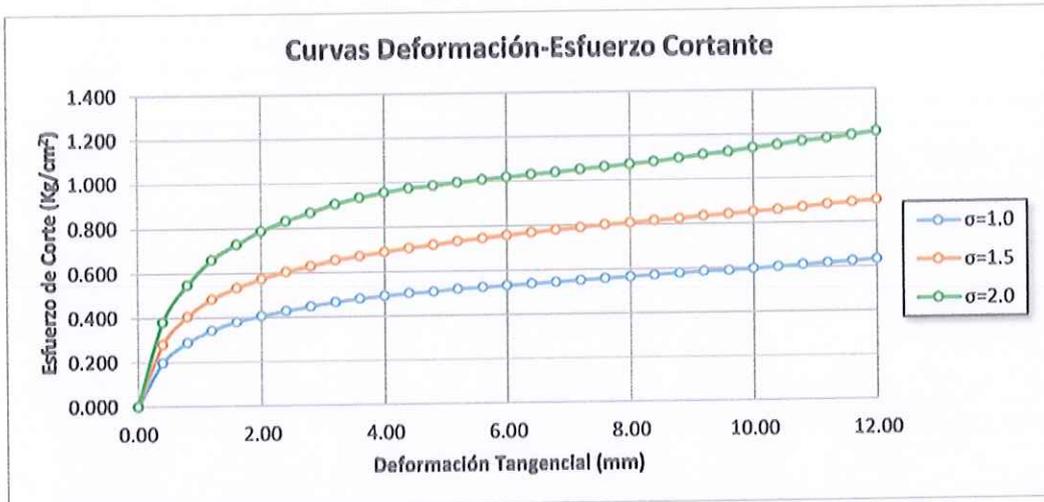
Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	12/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	0% Cal - 5% Ceniza

DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80	
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.451		1.451		1.451	
HUMEDAD (%)	11.30		11.30		11.30	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	19.73	0.198	27.82	0.279	37.93	0.381
0.80	28.63	0.289	40.15	0.405	54.30	0.547
1.20	33.88	0.343	47.75	0.483	65.21	0.660
1.60	37.52	0.381	52.48	0.533	71.68	0.728
2.00	39.95	0.408	56.12	0.573	77.14	0.787
2.40	41.97	0.430	58.95	0.604	81.18	0.832
2.80	43.58	0.448	61.17	0.629	84.41	0.868
3.20	45.20	0.467	63.39	0.655	87.65	0.905
3.60	46.41	0.481	64.81	0.672	89.87	0.932
4.00	47.22	0.492	66.22	0.690	91.69	0.955
4.40	48.03	0.502	67.43	0.705	93.02	0.973
4.80	48.44	0.509	68.45	0.719	93.63	0.983
5.20	49.24	0.519	69.58	0.734	94.44	0.996
5.60	49.65	0.526	70.47	0.746	95.25	1.009
6.00	50.05	0.532	71.27	0.758	95.73	1.018
6.40	50.46	0.539	72.08	0.770	96.34	1.029
6.80	50.86	0.546	72.69	0.780	96.74	1.038
7.20	51.27	0.552	73.30	0.790	97.47	1.050
7.60	51.67	0.559	74.02	0.801	97.95	1.060
8.00	52.07	0.566	74.43	0.809	98.56	1.071
8.40	52.48	0.573	74.91	0.818	99.09	1.082
8.80	52.88	0.580	75.32	0.826	99.98	1.096
9.20	53.29	0.587	75.92	0.836	100.90	1.111
9.60	53.29	0.589	76.25	0.843	101.51	1.123
10.00	53.69	0.597	76.73	0.853	102.60	1.140
10.40	54.09	0.604	77.14	0.861	103.21	1.152
10.80	54.50	0.611	77.66	0.871	104.22	1.168
11.20	54.90	0.618	78.35	0.882	104.75	1.180
11.60	55.31	0.626	78.75	0.891	105.43	1.198
12.00	55.71	0.633	79.16	0.900	106.44	1.210



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	12/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	0% Cal - 5% Ceniza



C = 0.0493 kg/cm²

φ = 29.96°

τ = 0.0493 + σtan29.96°





ENSAYO DE CORTE DIRECTO

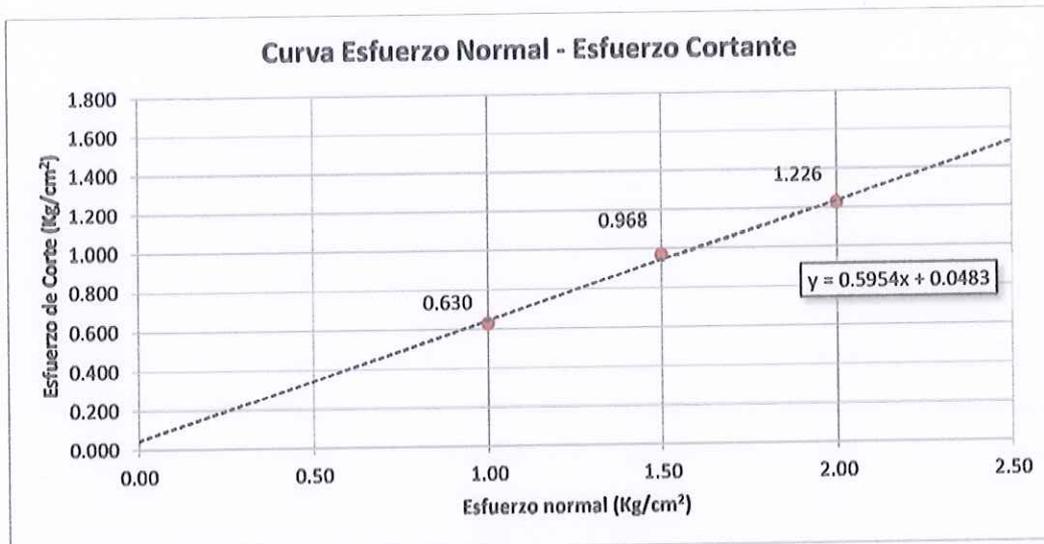
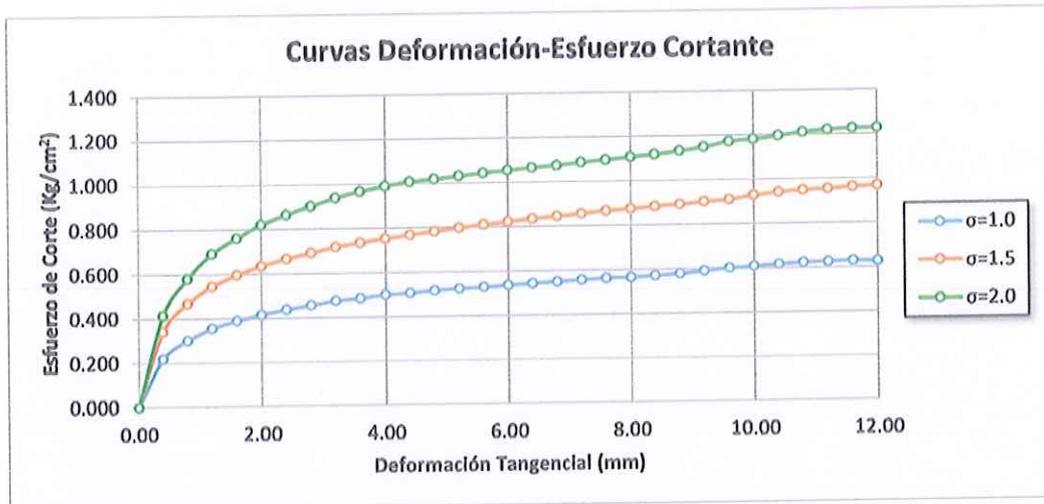
Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	13/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	0% Cal - 10% Ceniza

DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.321		1.321		1.321	
HUMEDAD (%)	13.40		13.40		13.40	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	21.76	0.218	33.88	0.340	41.16	0.413
0.80	29.84	0.301	46.21	0.466	57.53	0.580
1.20	35.10	0.355	53.81	0.545	68.45	0.693
1.60	38.33	0.390	58.54	0.595	74.91	0.761
2.00	40.76	0.416	62.18	0.634	80.37	0.820
2.40	42.78	0.438	65.01	0.666	84.41	0.865
2.80	44.39	0.457	67.23	0.692	87.65	0.902
3.20	46.01	0.475	69.46	0.718	90.88	0.939
3.60	46.82	0.486	70.87	0.735	93.10	0.966
4.00	48.03	0.500	72.29	0.753	94.92	0.989
4.40	48.44	0.507	73.50	0.769	96.26	1.007
4.80	49.24	0.517	74.51	0.783	96.86	1.017
5.20	49.65	0.524	75.64	0.798	97.67	1.030
5.60	50.05	0.530	76.53	0.811	98.48	1.043
6.00	50.46	0.537	77.34	0.823	98.96	1.053
6.40	50.86	0.543	78.15	0.835	99.57	1.064
6.80	51.27	0.550	78.75	0.845	99.98	1.073
7.20	51.67	0.557	79.36	0.855	100.70	1.085
7.60	52.07	0.564	80.09	0.867	101.19	1.095
8.00	52.07	0.566	80.49	0.875	101.79	1.106
8.40	52.48	0.573	80.98	0.884	102.32	1.117
8.80	52.88	0.580	81.38	0.892	103.21	1.132
9.20	53.69	0.591	81.99	0.903	104.22	1.148
9.60	54.50	0.603	82.39	0.911	105.84	1.171
10.00	54.90	0.610	83.60	0.929	106.24	1.180
10.40	55.31	0.617	84.41	0.942	107.05	1.195
10.80	55.71	0.625	84.82	0.951	107.86	1.209
11.20	55.71	0.627	84.82	0.955	108.26	1.219
11.60	55.71	0.630	85.22	0.964	108.26	1.226
12.00	55.31	0.628	85.22	0.968	107.86	1.226



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	13/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Testistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	0% Cal - 10% Ceniza



C = 0.0483 kg/cm²

$\phi = 30.77^\circ$

$\tau = 0.0483 + \sigma \tan 30.77^\circ$



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.

Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01

Estado de muestra: Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.

Fecha: 13/03/2018

Responsable: Testistas

Calicata: C-02

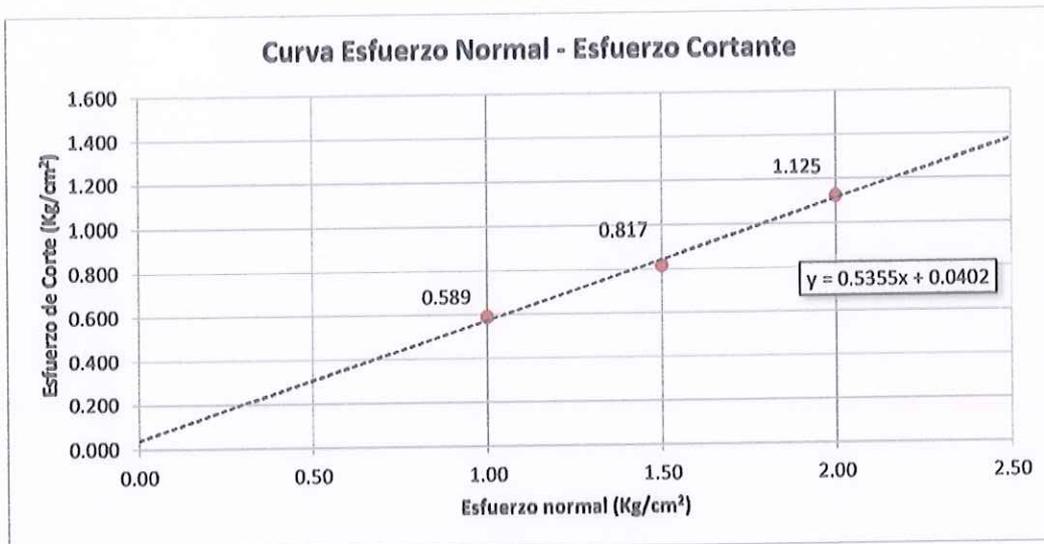
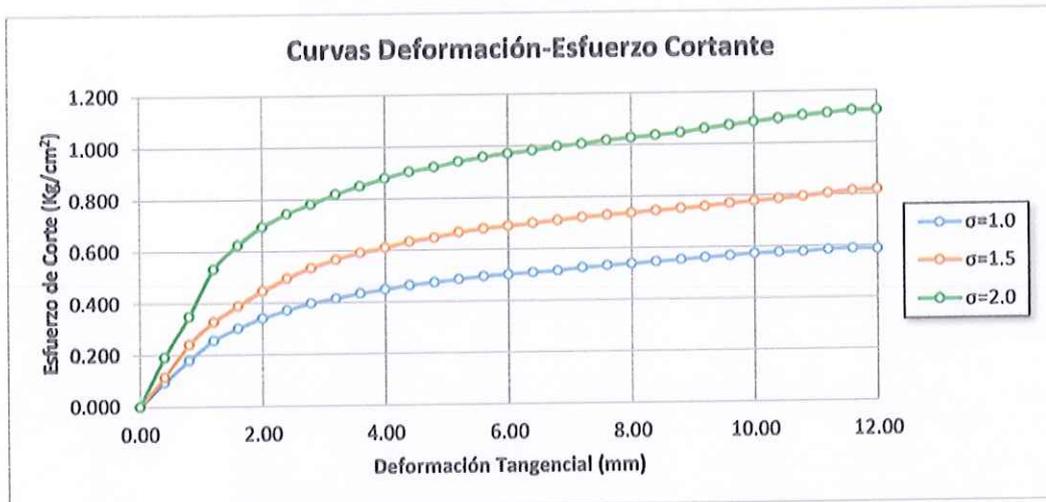
Dosificación: 0% Cal - 15% Ceniza

DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80	
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.237		1.237		1.237	
HUMEDAD (%)	16.50		16.50		16.50	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	9.22	0.093	11.45	0.115	19.13	0.192
0.80	17.71	0.179	23.78	0.240	34.69	0.350
1.20	25.39	0.257	32.27	0.327	52.48	0.531
1.60	29.84	0.303	38.13	0.387	61.37	0.624
2.00	33.48	0.342	43.58	0.445	68.04	0.694
2.40	36.31	0.372	48.15	0.493	72.69	0.745
2.80	38.73	0.398	51.87	0.534	75.92	0.781
3.20	40.35	0.417	54.70	0.565	79.36	0.820
3.60	41.97	0.435	56.92	0.591	81.99	0.850
4.00	43.18	0.450	58.54	0.610	84.41	0.879
4.40	44.39	0.464	60.48	0.633	86.43	0.904
4.80	45.20	0.475	61.57	0.647	87.65	0.921
5.20	46.01	0.485	63.19	0.667	89.26	0.942
5.60	46.82	0.496	64.20	0.680	90.48	0.958
6.00	47.22	0.502	64.81	0.689	91.28	0.971
6.40	47.63	0.509	65.41	0.699	91.89	0.982
6.80	48.03	0.515	66.14	0.710	92.90	0.997
7.20	48.84	0.526	66.75	0.719	93.31	1.005
7.60	49.24	0.533	67.23	0.728	94.11	1.019
8.00	49.65	0.540	67.64	0.735	94.52	1.027
8.40	50.05	0.546	68.04	0.743	94.92	1.036
8.80	50.46	0.553	68.45	0.750	95.33	1.045
9.20	50.86	0.560	68.77	0.757	96.26	1.060
9.60	51.27	0.567	69.46	0.768	96.86	1.071
10.00	51.67	0.574	69.86	0.776	97.55	1.084
10.40	51.67	0.577	70.26	0.784	98.16	1.095
10.80	51.67	0.579	70.67	0.792	98.68	1.106
11.20	52.07	0.586	71.40	0.804	98.96	1.114
11.60	52.07	0.589	71.88	0.813	99.29	1.122
12.00	51.67	0.587	71.88	0.817	98.96	1.125



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	13/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	0% Cal - 15% Ceniza



$C = 0.0402 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 28.17^\circ$

$\tau = 0.0402 + \sigma \tan 28.17^\circ$





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CD-25

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	14/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	0% Cal - 20% Ceniza

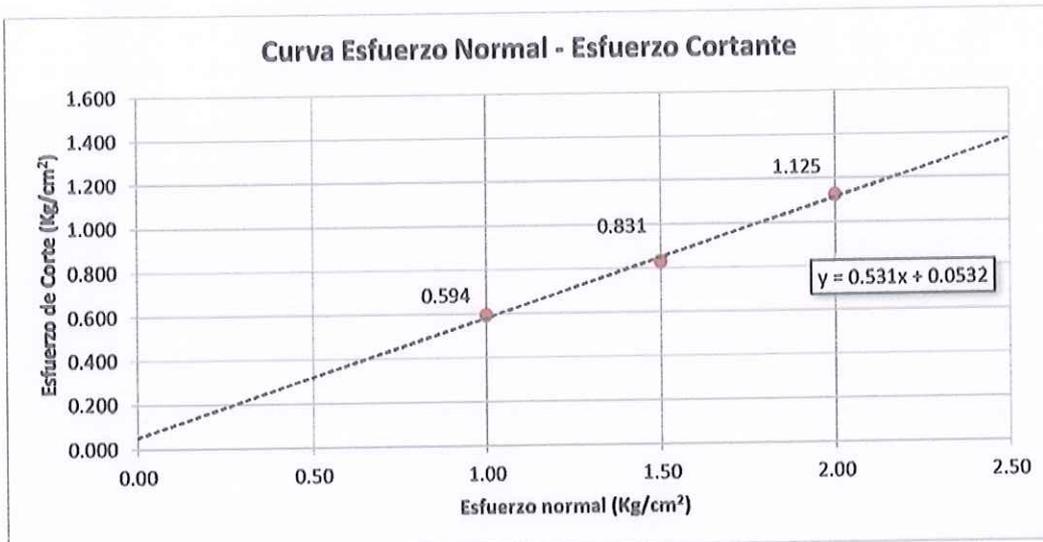
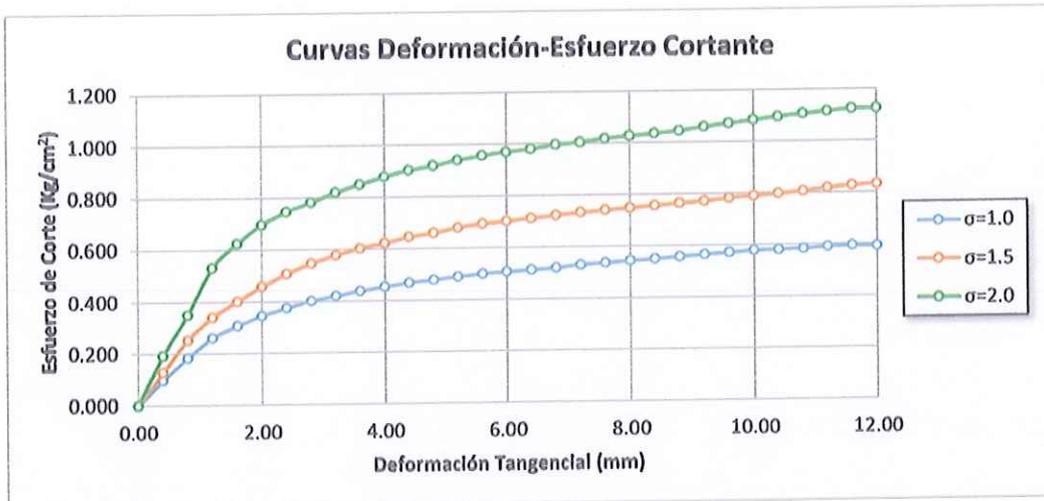
DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.189		1.189		1.189	
HUMEDAD (%)	17.35		17.35		17.35	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	9.63	0.097	12.66	0.127	19.13	0.192
0.80	18.12	0.183	24.99	0.252	34.69	0.350
1.20	25.80	0.261	33.48	0.339	52.48	0.531
1.60	30.25	0.307	39.34	0.400	61.37	0.624
2.00	33.88	0.346	44.80	0.457	68.04	0.694
2.40	36.71	0.376	49.37	0.506	72.69	0.745
2.80	39.14	0.403	53.08	0.546	75.92	0.781
3.20	40.76	0.421	55.91	0.578	79.36	0.820
3.60	42.37	0.440	58.14	0.603	81.99	0.850
4.00	43.58	0.454	59.75	0.622	84.41	0.879
4.40	44.80	0.469	61.69	0.645	86.43	0.904
4.80	45.61	0.479	62.79	0.660	87.65	0.921
5.20	46.41	0.490	64.40	0.679	89.26	0.942
5.60	47.22	0.500	65.41	0.693	90.48	0.958
6.00	47.63	0.507	66.02	0.702	91.28	0.971
6.40	48.03	0.513	66.63	0.712	91.89	0.982
6.80	48.44	0.520	67.35	0.723	92.90	0.997
7.20	49.24	0.531	67.96	0.732	93.31	1.005
7.60	49.65	0.537	68.45	0.741	94.11	1.019
8.00	50.05	0.544	68.85	0.748	94.52	1.027
8.40	50.46	0.551	69.25	0.756	94.92	1.036
8.80	50.86	0.558	69.66	0.764	95.33	1.045
9.20	51.27	0.565	69.98	0.771	96.26	1.060
9.60	51.67	0.572	70.67	0.782	96.86	1.071
10.00	52.07	0.579	71.07	0.790	97.55	1.084
10.40	52.07	0.581	71.48	0.798	98.16	1.095
10.80	52.07	0.584	71.88	0.806	98.68	1.106
11.20	52.48	0.591	72.61	0.818	98.96	1.114
11.60	52.48	0.594	73.09	0.827	99.29	1.123
12.00	52.07	0.592	73.09	0.831	98.96	1.125



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01
Estado de muestra: Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.

Fecha: 14/03/2018
Responsable: Testistas
Calicata: C-02
Dosificación: 0% Cal - 20% Ceniza



$C = 0.0532 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 27.97^\circ$

$\tau = 0.0532 + \sigma \tan 27.97^\circ$



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	14/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Testistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	2% Cal - 0% Ceniza

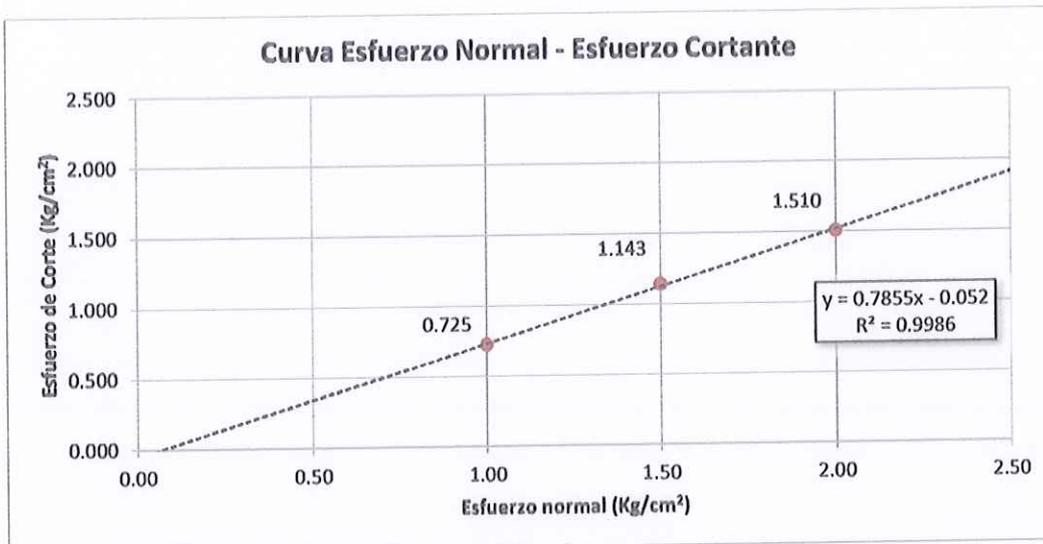
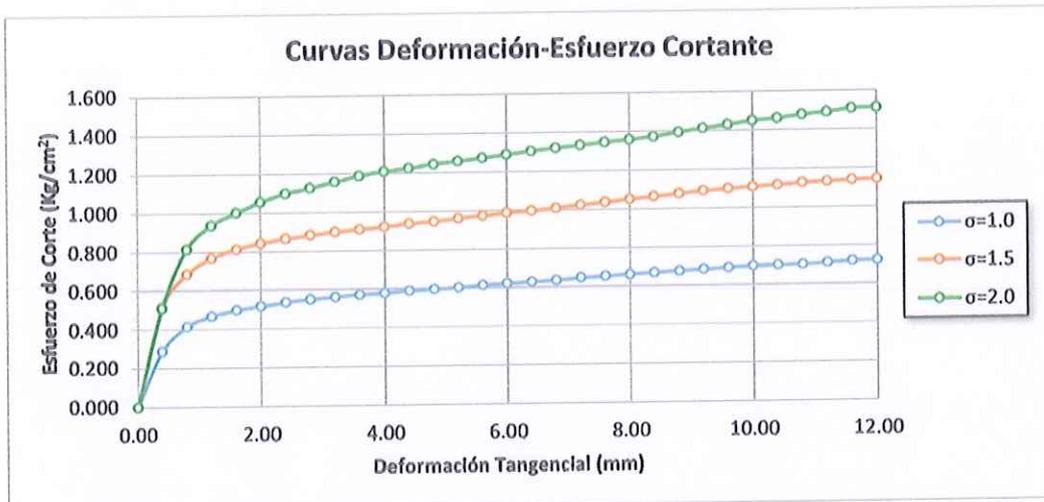
DATOS		ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
ALTURA (cm)		1.80		1.80		1.80	
ÁREA (cm ²)		100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)		1.648		1.648		1.648	
HUMEDAD (%)		10.05		10.05		10.05	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)		1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)		ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
		FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00		0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40		28.63	0.287	51.27	0.515	50.86	0.511
0.80		41.16	0.415	67.84	0.684	80.77	0.814
1.20		46.41	0.470	75.72	0.766	92.50	0.936
1.60		49.24	0.500	79.97	0.813	98.56	1.002
2.00		50.86	0.519	82.51	0.842	103.41	1.055
2.40		52.48	0.538	84.41	0.865	107.25	1.099
2.80		53.69	0.552	85.75	0.882	109.47	1.126
3.20		54.50	0.563	86.84	0.897	112.02	1.157
3.60		55.31	0.574	87.65	0.909	114.33	1.186
4.00		55.71	0.580	88.45	0.921	115.94	1.208
4.40		56.52	0.591	89.47	0.936	116.95	1.223
4.80		56.92	0.598	90.07	0.946	118.37	1.243
5.20		57.33	0.605	91.08	0.961	119.18	1.257
5.60		58.14	0.616	91.89	0.973	120.11	1.272
6.00		58.54	0.623	92.70	0.986	121.20	1.289
6.40		58.95	0.630	93.22	0.996	122.13	1.305
6.80		59.35	0.637	93.91	1.008	123.02	1.320
7.20		60.16	0.648	94.92	1.023	123.74	1.333
7.60		60.56	0.655	95.73	1.036	124.43	1.347
8.00		60.97	0.663	96.54	1.049	125.04	1.359
8.40		61.37	0.670	97.35	1.063	125.77	1.373
8.80		61.78	0.677	98.16	1.076	127.18	1.395
9.20		62.18	0.685	98.96	1.090	128.27	1.413
9.60		62.58	0.692	99.37	1.099	129.28	1.430
10.00		62.99	0.700	99.77	1.109	130.49	1.450
10.40		62.99	0.703	99.98	1.116	130.90	1.461
10.80		62.99	0.706	100.50	1.127	131.83	1.478
11.20		63.39	0.714	100.58	1.133	132.31	1.490
11.60		63.80	0.722	100.70	1.139	133.24	1.507
12.00		63.80	0.725	100.62	1.143	132.92	1.510



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01
Estado de muestra: Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.

Fecha: 14/03/2018
Responsable: Tesistas
Calicata: C-02
Dosificación: 2% Cal - 0% Ceniza



$C = 0.052 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 38.15^\circ$

$\tau = 0.052 + \sigma \tan 38.15^\circ$





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CD-27

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

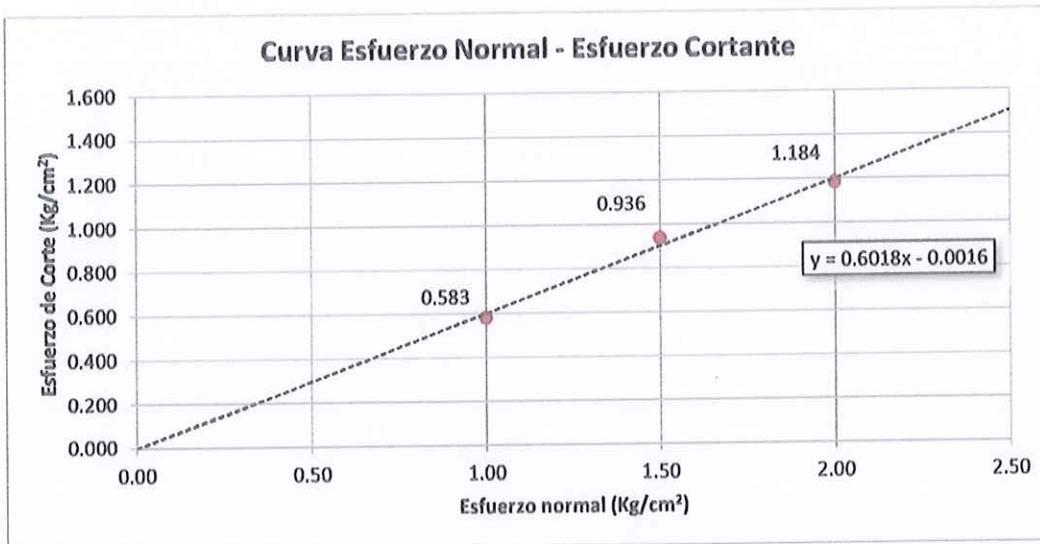
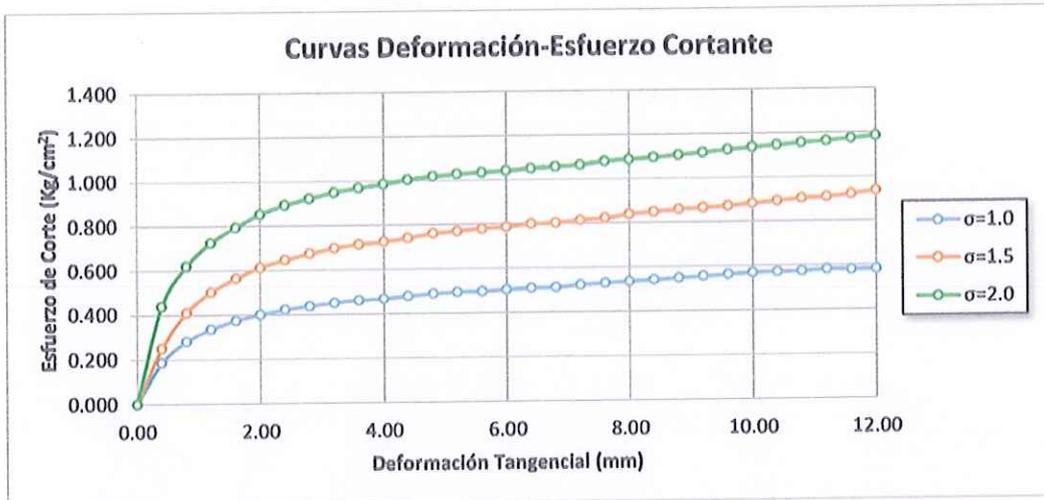
Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	15/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	2% Cal - 5% Ceniza

DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.518		1.518		1.518	
HUMEDAD (%)	11.25		11.25		11.25	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	18.52	0.186	24.99	0.251	43.58	0.438
0.80	27.82	0.280	40.76	0.411	61.57	0.621
1.20	33.07	0.335	49.65	0.503	71.88	0.728
1.60	36.71	0.373	55.51	0.564	78.35	0.796
2.00	39.14	0.399	59.96	0.612	83.60	0.853
2.40	41.16	0.422	62.99	0.645	87.24	0.894
2.80	42.37	0.436	65.41	0.673	89.67	0.923
3.20	43.58	0.450	67.43	0.697	91.81	0.948
3.60	44.39	0.461	68.65	0.712	93.31	0.968
4.00	44.80	0.467	69.46	0.723	94.52	0.985
4.40	45.61	0.477	70.67	0.739	95.93	1.003
4.80	46.41	0.488	72.29	0.759	96.86	1.017
5.20	46.82	0.494	72.89	0.769	97.35	1.027
5.60	46.82	0.496	73.50	0.779	97.55	1.033
6.00	47.22	0.502	73.82	0.785	97.75	1.040
6.40	47.63	0.509	74.71	0.798	98.28	1.050
6.80	47.63	0.511	74.71	0.802	98.48	1.057
7.20	48.44	0.522	75.52	0.814	98.76	1.064
7.60	48.84	0.529	75.92	0.822	99.77	1.080
8.00	49.24	0.535	77.14	0.838	99.98	1.087
8.40	49.65	0.542	77.66	0.848	100.30	1.095
8.80	50.05	0.549	78.27	0.858	100.70	1.104
9.20	50.46	0.556	78.47	0.864	101.19	1.114
9.60	50.86	0.563	78.75	0.871	101.79	1.126
10.00	51.27	0.570	79.36	0.882	102.32	1.137
10.40	51.27	0.572	79.97	0.892	102.60	1.145
10.80	51.27	0.575	80.57	0.903	103.01	1.155
11.20	51.67	0.582	80.77	0.910	103.33	1.164
11.60	51.27	0.580	81.38	0.921	103.73	1.173
12.00	51.27	0.583	82.39	0.936	104.22	1.184



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	15/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Testistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	2% Cal - 5% Ceniza



C = -0.0016 kg/cm²

φ = 31.04°

τ = -0.0016 + σtan31.04°





ENSAYO DE CORTE DIRECTO

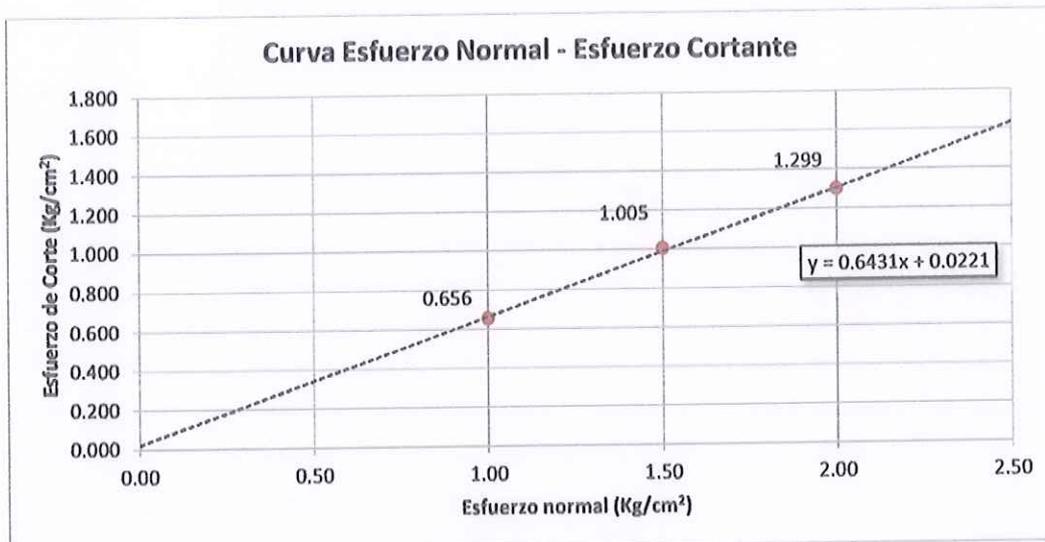
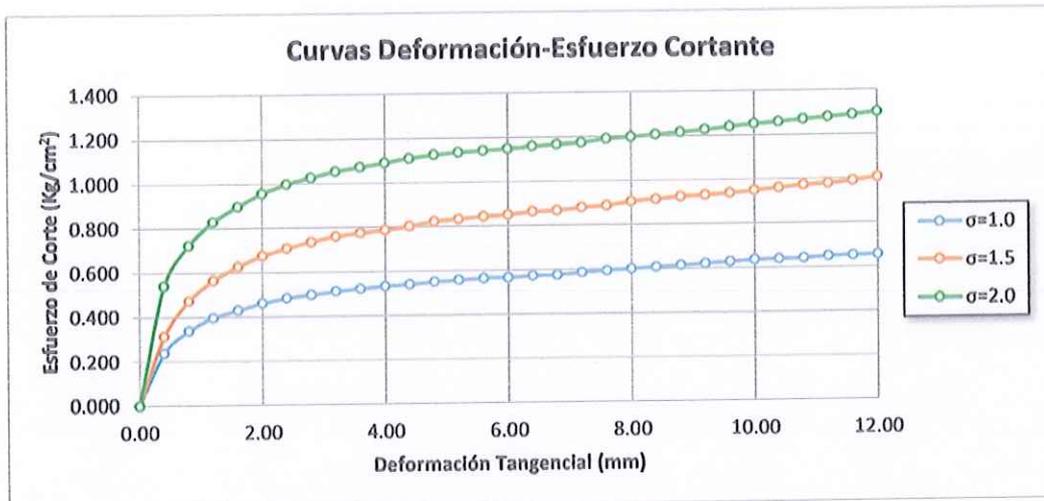
Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	15/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Testistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	2% Cal - 10% Ceniza

DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80	
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.406		1.406		1.406	
HUMEDAD (%)	13.10		13.10		13.10	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	23.78	0.239	31.05	0.312	53.69	0.539
0.80	33.48	0.337	46.82	0.472	71.68	0.723
1.20	39.14	0.396	55.71	0.564	81.99	0.830
1.60	42.37	0.431	61.57	0.626	88.45	0.899
2.00	45.20	0.461	66.02	0.674	93.71	0.956
2.40	47.22	0.484	69.05	0.707	97.35	0.997
2.80	48.44	0.498	71.48	0.735	99.77	1.026
3.20	49.65	0.513	73.50	0.759	101.92	1.053
3.60	50.46	0.523	74.71	0.775	103.41	1.073
4.00	51.27	0.534	75.52	0.787	104.62	1.090
4.40	51.67	0.540	76.73	0.803	106.04	1.109
4.80	52.48	0.551	78.35	0.823	106.97	1.124
5.20	52.88	0.558	78.96	0.833	107.45	1.133
5.60	53.29	0.564	79.56	0.843	107.66	1.140
6.00	53.29	0.567	79.88	0.850	107.86	1.147
6.40	53.69	0.574	80.77	0.863	108.38	1.158
6.80	53.69	0.576	80.77	0.867	108.59	1.165
7.20	54.50	0.587	81.58	0.879	108.87	1.173
7.60	54.90	0.594	81.99	0.887	109.88	1.189
8.00	55.31	0.601	83.20	0.904	110.08	1.197
8.40	55.71	0.608	83.73	0.914	110.40	1.205
8.80	56.12	0.615	84.33	0.925	110.81	1.215
9.20	56.52	0.622	84.53	0.931	111.29	1.226
9.60	56.92	0.630	84.82	0.938	111.90	1.238
10.00	57.33	0.637	85.42	0.949	112.43	1.249
10.40	57.33	0.640	86.03	0.960	112.71	1.258
10.80	57.33	0.643	86.64	0.971	113.11	1.268
11.20	57.73	0.650	86.84	0.978	113.44	1.277
11.60	57.73	0.653	87.44	0.989	113.84	
12.00	57.73	0.656	88.45	1.005	114.33	



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	15/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	2% Cal - 10% Ceniza



$C = 0.0221 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 32.75^\circ$

$\tau = 0.0221 + \sigma \tan 32.75^\circ$



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

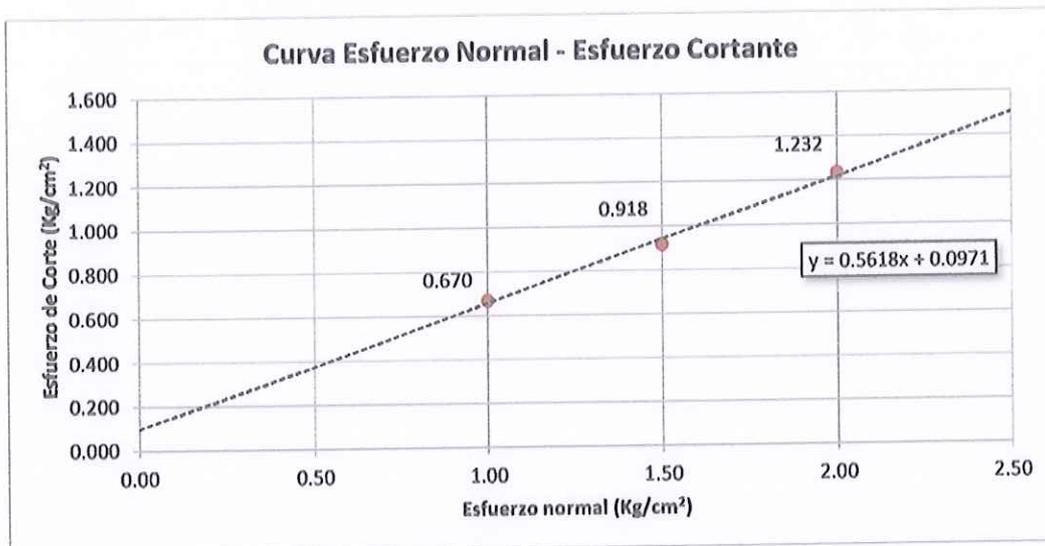
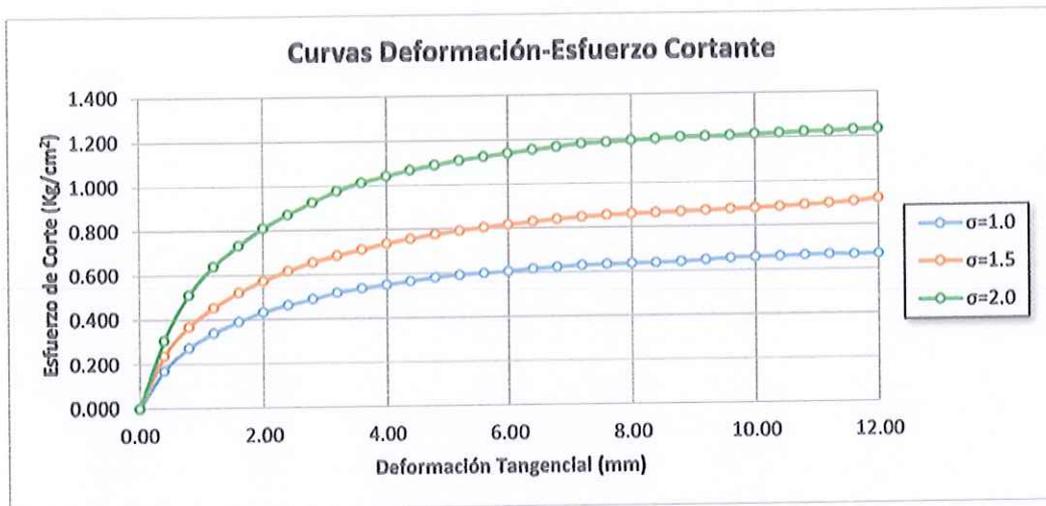
Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar. **Fecha:** 16/03/2018
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01 **Responsable:** Testistas
Estado de muestra: Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta. **Calicata:** C-02
Dosificación: 2% Cal - 15% Ceniza

DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80	
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.322		1.322		1.322	
HUMEDAD (%)	14.90		14.90		14.90	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	16.91	0.170	23.37	0.235	30.45	0.306
0.80	27.01	0.272	36.31	0.366	50.46	0.509
1.20	33.48	0.339	44.80	0.453	63.19	0.640
1.60	38.33	0.390	51.27	0.521	72.29	0.735
2.00	42.37	0.432	56.12	0.573	79.56	0.812
2.40	45.20	0.463	60.16	0.616	85.22	0.873
2.80	47.63	0.490	63.59	0.654	90.07	0.927
3.20	50.05	0.517	66.14	0.683	94.52	0.976
3.60	51.67	0.536	68.36	0.709	97.67	1.013
4.00	52.88	0.551	70.67	0.736	99.98	1.041
4.40	54.09	0.566	72.29	0.756	102.00	1.067
4.80	55.31	0.581	73.82	0.775	103.61	1.088
5.20	56.12	0.592	74.91	0.790	105.15	1.109
5.60	56.52	0.599	75.92	0.804	106.16	1.125
6.00	56.92	0.606	76.73	0.816	107.05	1.139
6.40	57.73	0.617	77.54	0.828	107.98	1.154
6.80	58.14	0.624	78.15	0.838	108.67	1.166
7.20	58.54	0.631	78.67	0.848	109.47	1.180
7.60	58.54	0.634	78.96	0.854	109.47	1.185
8.00	58.54	0.636	79.08	0.860	109.60	1.191
8.40	58.54	0.639	79.08	0.863	109.68	1.197
8.80	58.54	0.642	79.08	0.867	109.80	1.204
9.20	58.95	0.649	79.16	0.872	109.47	1.206
9.60	59.35	0.657	79.16	0.876	109.27	1.209
10.00	59.35	0.659	79.16	0.880	109.27	1.214
10.40	59.35	0.662	79.28	0.885	109.07	1.217
10.80	59.35	0.665	79.48	0.891	108.99	1.222
11.20	59.35	0.668	79.76	0.898	108.67	1.224
11.60	58.95	0.667	79.97	0.905	108.67	1.232
12.00	58.95	0.670	80.77	0.918	108.38	1.232



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	16/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	2% Cal - 15% Ceniza



$C = 0.0971 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 29.33^\circ$

$\tau = 0.0971 + \sigma \tan 29.33^\circ$





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CD-30

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

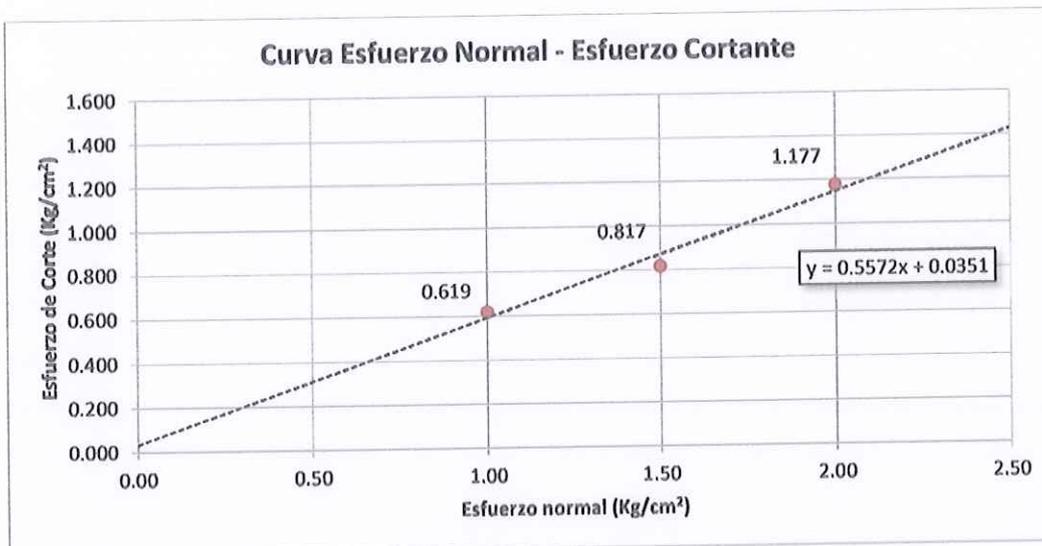
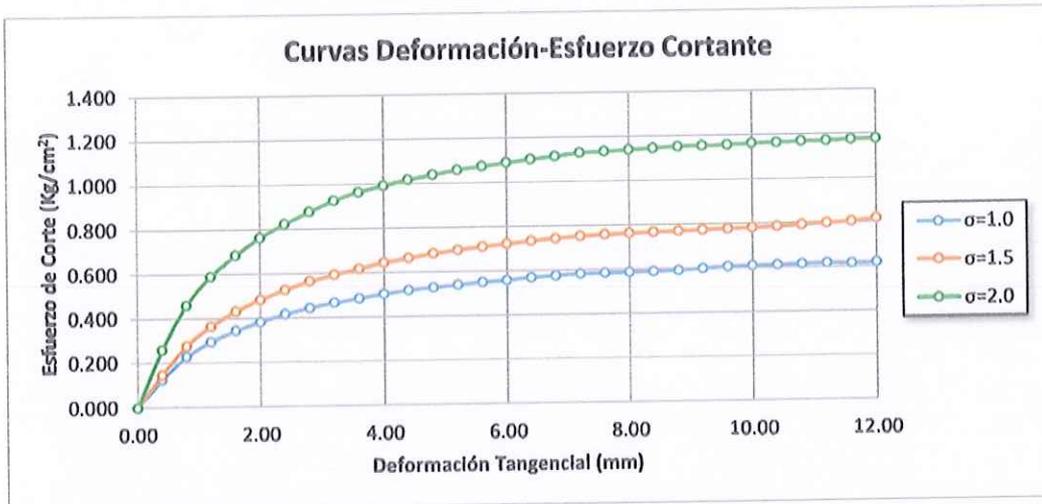
Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	16/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	2% Cal - 20% Ceniza

DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.262		1.262		1.262	
HUMEDAD (%)	16.40		16.40		16.40	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	12.46	0.125	14.48	0.145	25.60	0.257
0.80	22.56	0.227	27.42	0.276	45.61	0.460
1.20	29.03	0.294	35.90	0.363	58.34	0.590
1.60	33.88	0.344	42.37	0.431	67.43	0.685
2.00	37.52	0.383	47.22	0.482	74.71	0.762
2.40	40.76	0.418	51.27	0.525	80.37	0.823
2.80	43.18	0.444	54.70	0.563	85.22	0.877
3.20	45.20	0.467	57.25	0.591	89.67	0.926
3.60	46.82	0.486	59.47	0.617	92.82	0.963
4.00	48.44	0.505	61.78	0.643	95.12	0.991
4.40	49.65	0.519	63.39	0.663	97.15	1.016
4.80	50.46	0.530	64.93	0.682	98.76	1.037
5.20	51.27	0.541	66.02	0.696	100.30	1.058
5.60	52.07	0.552	67.03	0.710	101.31	1.073
6.00	52.48	0.558	67.84	0.722	102.20	1.087
6.40	53.29	0.569	68.65	0.733	103.13	1.102
6.80	53.69	0.576	69.25	0.743	103.82	1.114
7.20	54.09	0.583	69.78	0.752	104.62	1.127
7.60	54.09	0.585	70.06	0.758	104.62	1.132
8.00	54.09	0.588	70.18	0.763	104.75	1.139
8.40	54.09	0.591	70.18	0.766	104.83	1.144
8.80	54.09	0.593	70.18	0.770	104.95	1.151
9.20	54.50	0.600	70.26	0.774	104.62	1.152
9.60	54.90	0.607	70.26	0.777	104.42	1.155
10.00	54.90	0.610	70.26	0.781	104.42	1.160
10.40	54.90	0.613	70.39	0.786	104.22	1.163
10.80	54.90	0.616	70.59	0.791	104.14	1.167
11.20	54.90	0.618	70.87	0.798	103.82	1.169
11.60	54.50	0.617	71.07	0.804	103.82	1.174
12.00	54.50	0.619	71.88	0.817	103.53	1.177



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	16/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Testistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	2% Cal - 20% Ceniza



$C = 0.0351 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 29.13^\circ$

$\tau = 0.0351 + \sigma \tan 29.13^\circ$





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CD-31

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	19/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	4% Cal - 0% Ceniza

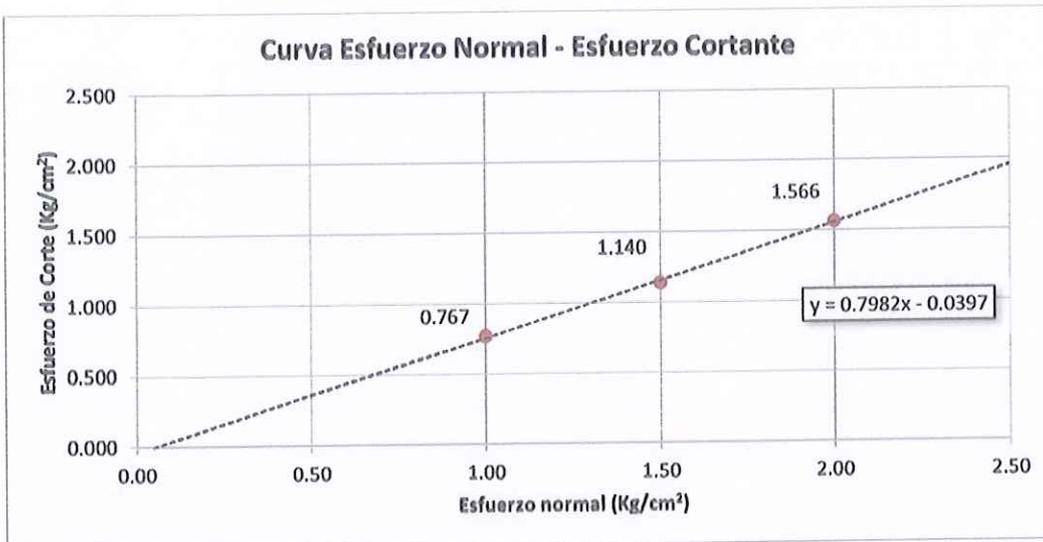
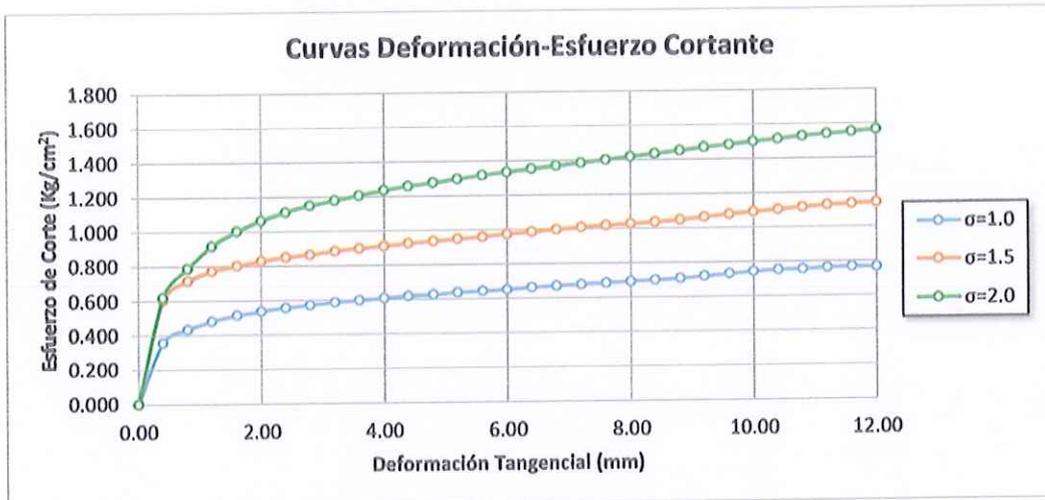
DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.674		1.674		1.674	
HUMEDAD (%)	12.35		12.35		12.35	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	35.50	0.356	59.75	0.600	61.78	0.620
0.80	43.18	0.435	70.87	0.714	77.94	0.786
1.20	47.63	0.482	76.13	0.771	90.48	0.916
1.60	50.86	0.517	78.96	0.802	98.56	1.002
2.00	52.88	0.540	81.18	0.828	104.22	1.063
2.40	54.50	0.558	82.92	0.850	108.67	1.113
2.80	55.71	0.573	84.01	0.864	111.90	1.151
3.20	56.92	0.588	85.54	0.884	114.33	1.181
3.60	57.73	0.599	86.64	0.899	116.55	1.209
4.00	58.54	0.610	87.44	0.911	118.77	1.237
4.40	59.35	0.621	88.45	0.925	120.51	1.261
4.80	59.75	0.628	89.18	0.937	121.80	1.279
5.20	60.56	0.639	89.87	0.948	123.22	1.300
5.60	60.97	0.646	90.60	0.960	124.55	1.319
6.00	61.37	0.653	91.49	0.973	125.64	1.337
6.40	62.18	0.664	92.21	0.985	126.78	1.354
6.80	62.58	0.671	93.02	0.998	127.79	1.371
7.20	62.99	0.679	93.71	1.010	128.68	1.387
7.60	63.39	0.686	94.24	1.020	129.61	1.403
8.00	63.80	0.693	94.52	1.027	130.62	1.420
8.40	64.20	0.701	94.92	1.036	131.63	1.437
8.80	64.60	0.708	95.53	1.047	132.52	1.453
9.20	65.41	0.720	96.54	1.063	133.53	1.471
9.60	66.22	0.733	97.35	1.077	134.25	1.485
10.00	67.03	0.745	98.16	1.091	135.14	1.502
10.40	67.43	0.753	98.76	1.102	135.75	1.515
10.80	67.43	0.756	99.37	1.114	136.56	1.531
11.20	67.84	0.764	99.98	1.126	136.96	1.542
11.60	67.84	0.767	100.18	1.133	137.29	1.553
12.00	67.43	0.766	100.30	1.140	137.77	1.566



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01
Estado de muestra: Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.

Fecha: 19/03/2018
Responsable: Testistas
Calicata: C-02
Dosificación: 4% Cal - 0% Ceniza



$C = 0.0397 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 38.6^\circ$

$\tau = 0.0397 + \sigma \tan 38.6^\circ$





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CD-32

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	19/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	4% Cal - 5% Ceniza

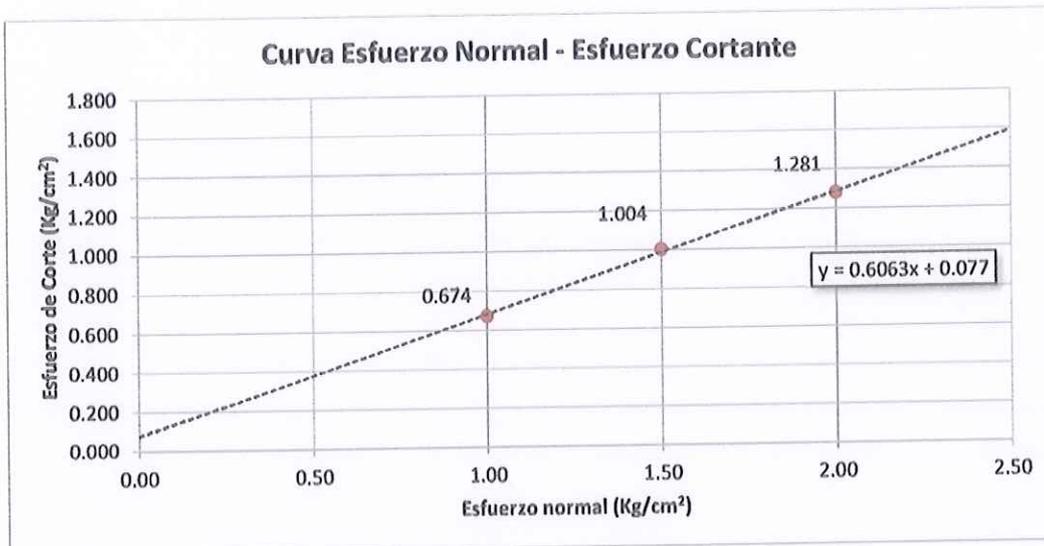
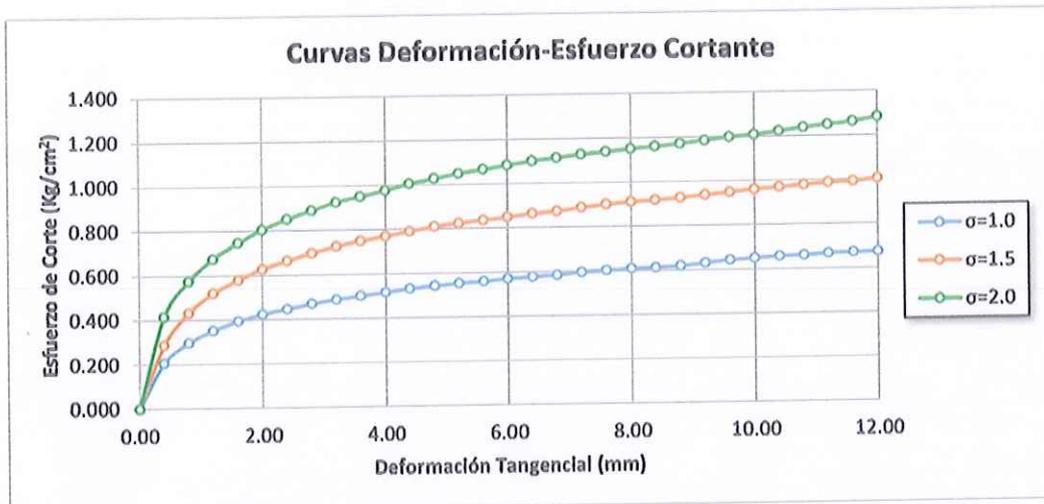
DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.552		1.552		1.552	
HUMEDAD (%)	13.10		13.10		13.10	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	20.54	0.206	28.43	0.285	41.16	0.413
0.80	29.44	0.297	42.78	0.431	56.92	0.574
1.20	34.69	0.351	51.27	0.519	66.63	0.674
1.60	38.73	0.394	56.92	0.578	73.50	0.747
2.00	41.56	0.424	61.37	0.626	78.96	0.806
2.40	43.58	0.447	64.81	0.664	83.20	0.852
2.80	45.61	0.469	67.76	0.697	86.55	0.890
3.20	47.22	0.488	70.26	0.726	89.67	0.926
3.60	48.44	0.502	72.29	0.750	91.69	0.951
4.00	49.65	0.517	73.90	0.770	93.71	0.976
4.40	50.86	0.532	75.52	0.790	96.13	1.006
4.80	51.67	0.543	77.06	0.809	97.75	1.027
5.20	52.48	0.554	78.15	0.824	99.37	1.048
5.60	52.88	0.560	78.96	0.836	100.70	1.067
6.00	53.69	0.571	79.76	0.849	101.79	1.083
6.40	54.09	0.578	80.77	0.863	103.01	1.101
6.80	54.50	0.585	81.30	0.872	103.82	1.114
7.20	55.31	0.596	82.39	0.888	104.62	1.127
7.60	55.71	0.603	83.20	0.900	105.15	1.138
8.00	56.12	0.610	83.81	0.911	105.84	1.150
8.40	56.12	0.613	84.01	0.917	106.24	1.160
8.80	56.52	0.620	84.53	0.927	106.77	1.171
9.20	57.33	0.631	85.14	0.938	107.45	1.183
9.60	58.14	0.643	85.75	0.949	108.26	1.198
10.00	58.54	0.650	86.43	0.960	108.67	1.207
10.40	58.95	0.658	86.84	0.969	109.47	1.222
10.80	58.95	0.661	87.24	0.978	110.28	1.236
11.20	59.35	0.668	87.65	0.987	110.89	1.249
11.60	59.35	0.671	87.65	0.991	111.50	1.261
12.00	59.35	0.674	88.37	1.004	112.71	1.281



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01
Estado de muestra: Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.

Fecha: 19/03/2018
Responsable: Testistas
Calicata: C-02
Dosificación: 4% Cal - 5% Ceniza



$C = 0.077 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 31.23^\circ$

$\tau = 0.077 + \sigma \tan 31.23^\circ$



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar. **Fecha:** 20/03/2018
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01 **Responsable:** Testistas
Estado de muestra: Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta. **Calicata:** C-02
Dosificación: 4% Cal - 10% Ceniza

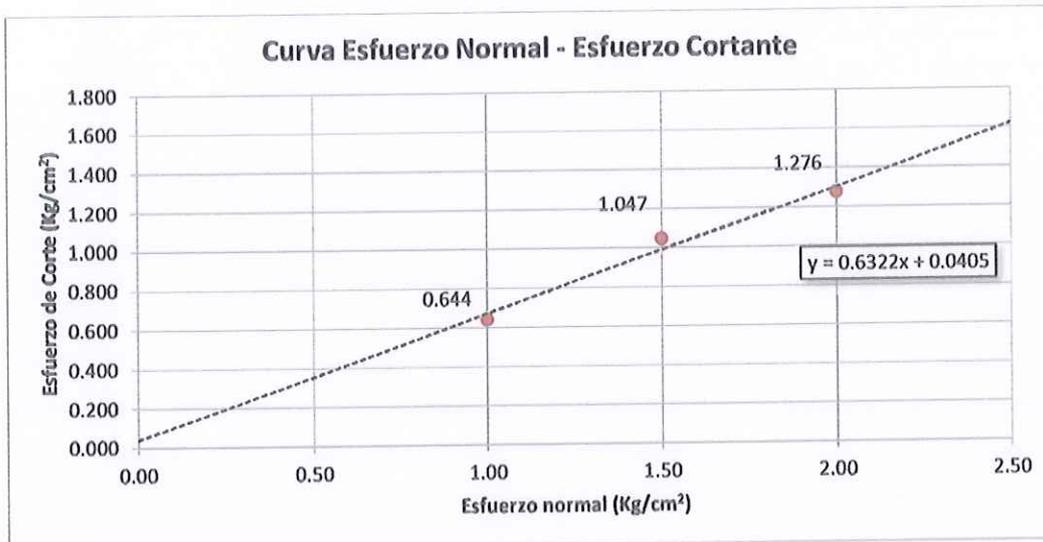
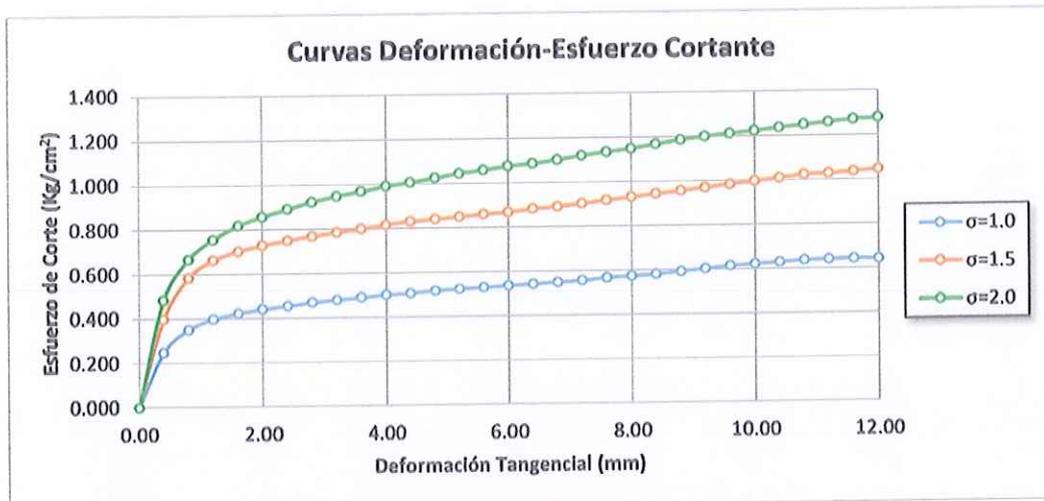
DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80	
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.452		1.452		1.452	
HUMEDAD (%)	15.45		15.45		15.45	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	24.59	0.247	39.54	0.397	48.03	0.482
0.80	34.69	0.350	57.73	0.582	66.22	0.668
1.20	39.14	0.396	65.41	0.662	74.71	0.756
1.60	41.56	0.422	69.05	0.702	80.57	0.819
2.00	43.18	0.441	71.27	0.727	84.01	0.857
2.40	44.39	0.455	73.09	0.749	87.04	0.892
2.80	45.61	0.469	74.63	0.768	89.67	0.923
3.20	46.41	0.479	75.92	0.784	91.69	0.947
3.60	47.22	0.490	77.06	0.799	93.31	0.968
4.00	48.03	0.500	78.35	0.816	95.12	0.991
4.40	48.44	0.507	79.36	0.830	96.13	1.006
4.80	49.24	0.517	79.88	0.839	97.55	1.025
5.20	49.65	0.524	80.49	0.849	98.96	1.044
5.60	50.05	0.530	81.18	0.860	99.89	1.058
6.00	50.46	0.537	81.58	0.868	100.99	1.074
6.40	50.86	0.543	82.51	0.882	101.59	1.085
6.80	51.27	0.550	83.00	0.891	102.60	1.101
7.20	51.67	0.557	83.81	0.903	103.82	1.119
7.60	52.48	0.568	84.74	0.917	104.75	1.134
8.00	52.88	0.575	85.62	0.931	105.63	1.148
8.40	53.29	0.582	86.55	0.945	106.85	1.166
8.80	54.09	0.593	87.24	0.957	108.06	1.185
9.20	54.90	0.605	88.05	0.970	108.87	1.199
9.60	55.71	0.616	88.86	0.983	109.47	1.211
10.00	56.12	0.624	89.67	0.996	110.00	1.222
10.40	56.52	0.631	90.48	1.010	110.69	1.235
10.80	56.92	0.638	91.28	1.023	111.29	1.248
11.20	56.92	0.641	91.28	1.028	111.70	1.258
11.60	56.92	0.644	91.69	1.037	112.22	1.269
12.00	56.52	0.642	92.09	1.047	112.30	1.276



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01
Estado de muestra: Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.

Fecha: 20/03/2018
Responsable: Tesistas
Calicata: C-02
Dosificación: 4% Cal - 10% Ceniza



$C = 0.0405 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 32.3^\circ$

$\tau = 0.0405 + \sigma \tan 32.3^\circ$





ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	20/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	4% Cal - 15% Ceniza

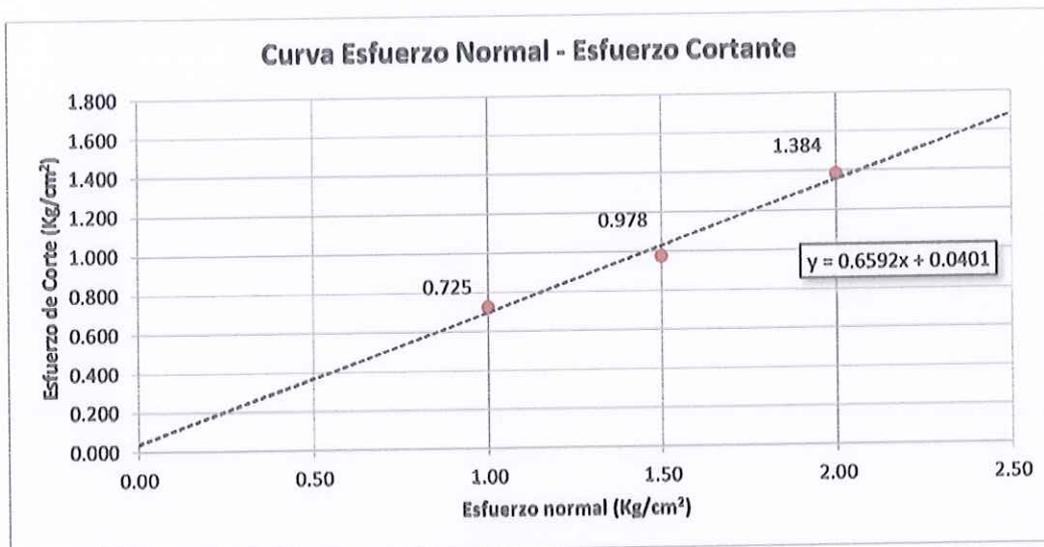
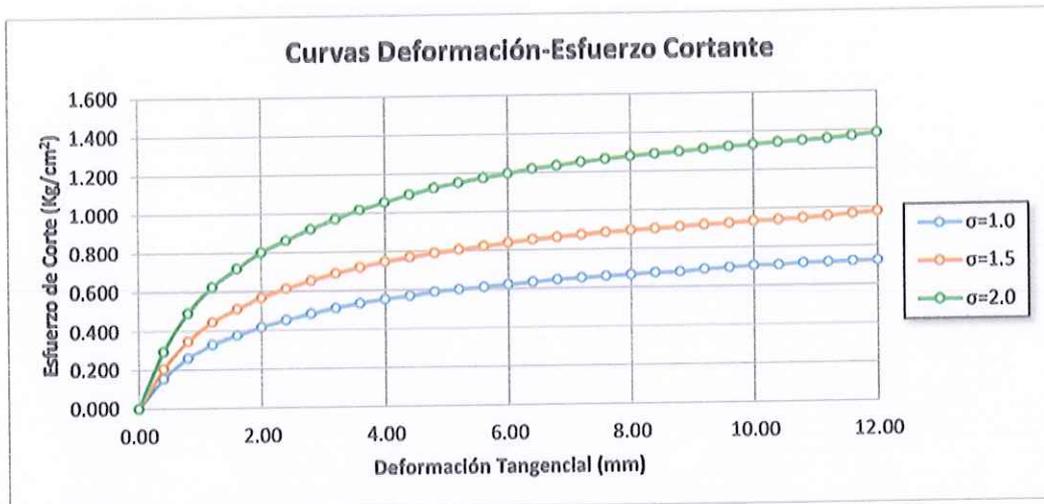
DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.335		1.335		1.335	
HUMEDAD (%)	17.60		17.60		17.60	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	15.29	0.153	20.34	0.204	29.44	0.296
0.80	25.80	0.260	34.29	0.346	48.84	0.492
1.20	32.67	0.331	43.79	0.443	61.78	0.625
1.60	37.12	0.377	50.25	0.511	70.67	0.718
2.00	41.16	0.420	55.71	0.568	78.55	0.802
2.40	44.39	0.455	59.96	0.614	84.21	0.863
2.80	47.22	0.486	63.59	0.654	89.47	0.920
3.20	49.65	0.513	66.83	0.690	94.11	0.972
3.60	51.67	0.536	69.46	0.720	98.16	1.018
4.00	53.29	0.555	71.88	0.749	101.39	1.056
4.40	54.50	0.570	73.50	0.769	104.62	1.094
4.80	56.12	0.589	75.11	0.789	107.25	1.127
5.20	56.92	0.600	76.33	0.805	109.27	1.153
5.60	57.73	0.612	77.54	0.821	111.01	1.176
6.00	58.54	0.623	78.75	0.838	112.51	1.197
6.40	59.35	0.634	79.76	0.852	114.24	1.221
6.80	60.16	0.645	80.49	0.864	115.13	1.235
7.20	60.56	0.653	81.18	0.875	116.27	1.253
7.60	60.97	0.660	81.78	0.885	116.95	1.266
8.00	61.37	0.667	82.31	0.895	117.68	1.279
8.40	61.78	0.674	82.59	0.902	118.17	1.290
8.80	61.78	0.677	83.00	0.910	118.49	1.299
9.20	62.58	0.689	83.32	0.918	119.10	1.312
9.60	62.99	0.697	83.60	0.925	119.58	1.323
10.00	63.39	0.704	84.01	0.933	119.78	1.331
10.40	63.39	0.708	84.21	0.940	120.19	1.341
10.80	63.80	0.715	84.41	0.946	120.39	1.350
11.20	63.80	0.718	84.82	0.955	120.59	1.358
11.60	63.80	0.722	85.42	0.966	121.12	1.370
12.00	63.80	0.725	86.03	0.978	121.80	1.384



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01
Estado de muestra: Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.

Fecha: 20/03/2018
Responsable: Testistas
Calicata: C-02
Dosificación: 4% Cal - 15% Ceniza



$C = 0.0401 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 33.39^\circ$

$\tau = 0.0401 + \sigma \tan 33.39^\circ$





ENSAYO DE CORTE DIRECTO

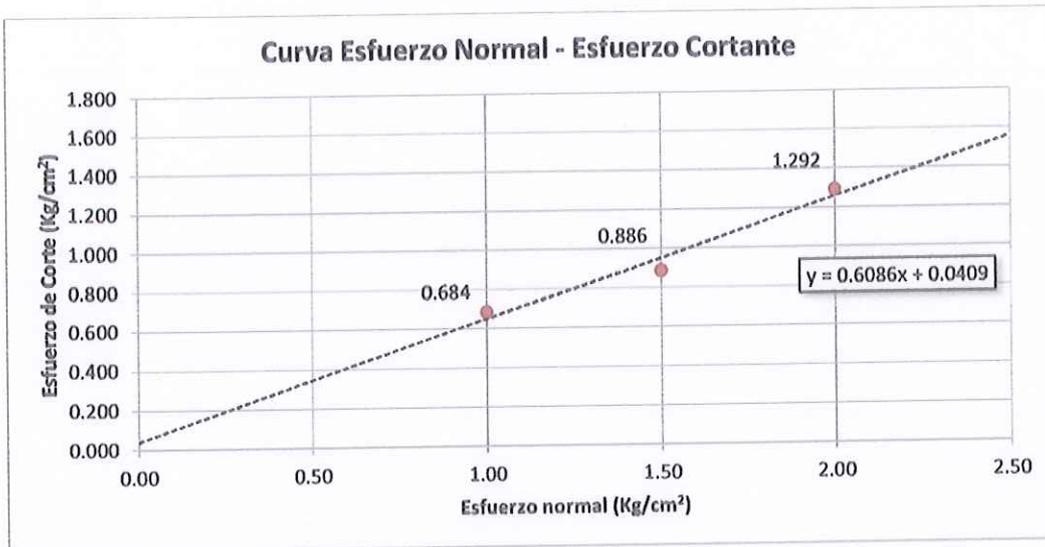
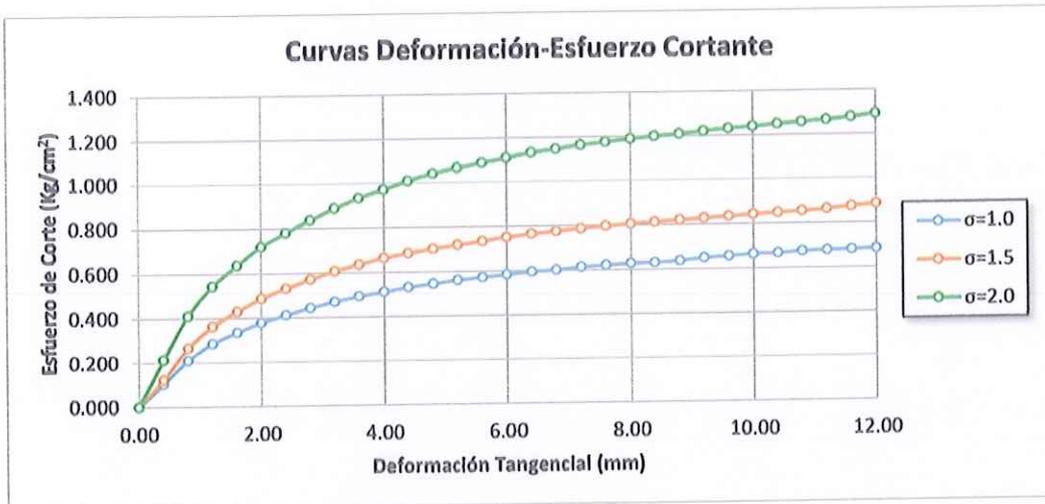
Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	21/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Testistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	4% Cal - 20% Ceniza

DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.281		1.281		1.281	
HUMEDAD (%)	19.15		19.15		19.15	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	10.44	0.105	12.26	0.123	21.35	0.214
0.80	20.95	0.211	26.20	0.264	40.76	0.411
1.20	28.22	0.286	35.70	0.361	53.69	0.543
1.60	33.07	0.336	42.17	0.429	62.58	0.636
2.00	37.12	0.379	47.63	0.486	70.47	0.719
2.40	40.35	0.413	51.87	0.531	76.13	0.780
2.80	43.18	0.444	55.51	0.571	81.38	0.837
3.20	45.61	0.471	58.74	0.607	86.03	0.889
3.60	47.63	0.494	61.37	0.637	90.07	0.934
4.00	49.24	0.513	63.80	0.665	93.31	0.972
4.40	50.86	0.532	65.41	0.684	96.54	1.010
4.80	52.07	0.547	67.03	0.704	99.17	1.042
5.20	53.29	0.562	68.24	0.720	101.19	1.067
5.60	54.09	0.573	69.46	0.736	102.93	1.090
6.00	54.90	0.584	70.67	0.752	104.42	1.111
6.40	55.71	0.595	71.68	0.766	106.16	1.134
6.80	56.12	0.602	72.41	0.777	107.05	1.149
7.20	56.92	0.613	73.09	0.788	108.18	1.166
7.60	57.33	0.620	73.70	0.798	108.87	1.178
8.00	57.73	0.628	74.23	0.807	109.60	1.191
8.40	57.73	0.630	74.51	0.813	110.08	1.202
8.80	58.14	0.637	74.91	0.821	110.40	1.211
9.20	58.95	0.649	75.24	0.829	111.01	1.223
9.60	59.35	0.657	75.52	0.835	111.50	1.233
10.00	59.75	0.664	75.92	0.844	111.70	1.241
10.40	59.75	0.667	76.13	0.850	112.10	1.251
10.80	60.16	0.674	76.33	0.856	112.30	1.259
11.20	60.16	0.677	76.73	0.864	112.51	1.279
11.60	60.16	0.681	77.34	0.875	113.03	1.292
12.00	60.16	0.684	77.94	0.886	113.72	1.292



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	21/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Testistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	4% Cal - 20% Ceniza



$C = 0.0409 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 31.32^\circ$

$\tau = 0.0409 + \sigma \tan 31.32^\circ$





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CD-36

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

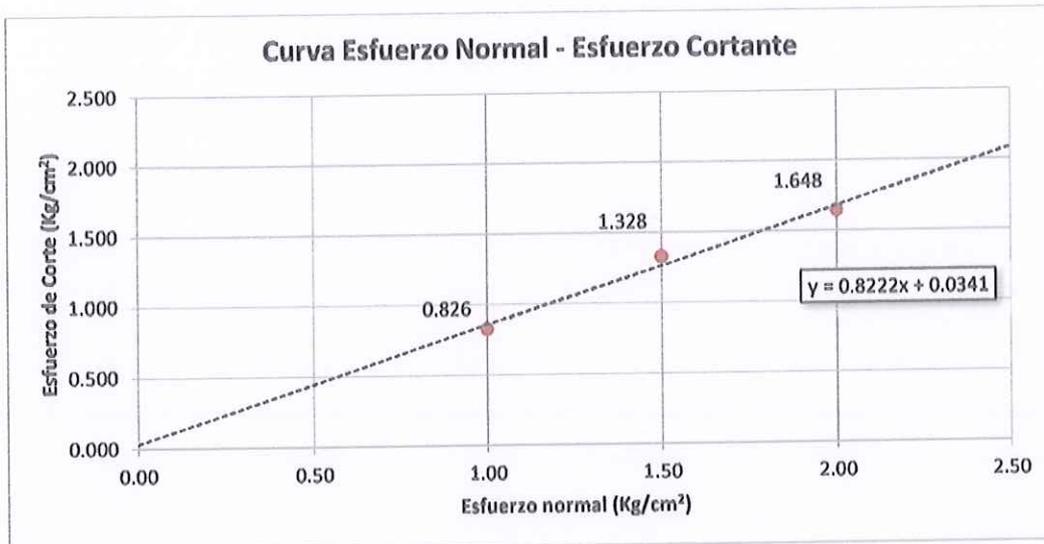
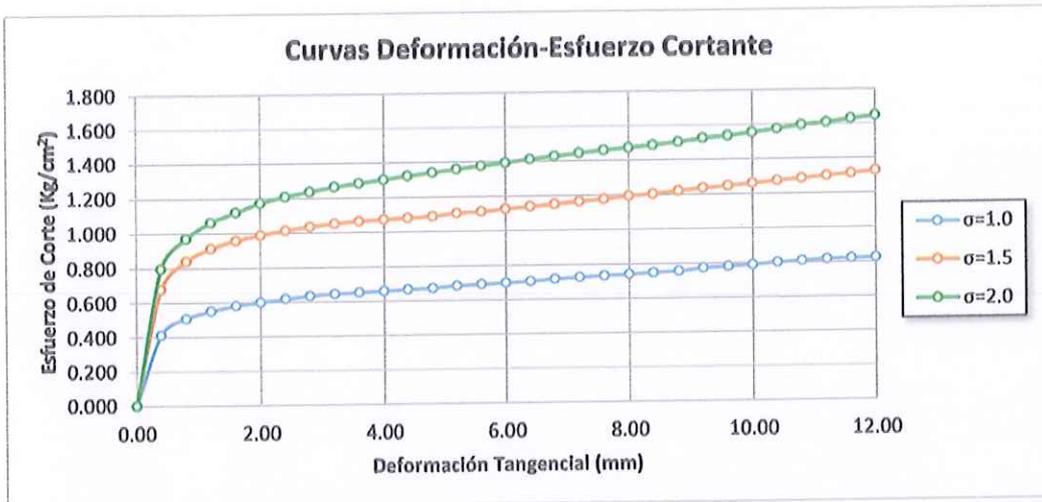
Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	21/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Testistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio, Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	6% Cal - 0% Ceniza

DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80	
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.693		1.693		1.693	
HUMEDAD (%)	14.45		14.45		14.45	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	41.16	0.413	67.43	0.677	79.16	0.795
0.80	50.46	0.509	83.20	0.839	96.13	0.969
1.20	54.50	0.552	90.27	0.914	105.03	1.063
1.60	57.33	0.583	94.32	0.958	110.28	1.121
2.00	58.95	0.601	96.94	0.989	114.93	1.173
2.40	60.56	0.621	99.17	1.016	117.96	1.209
2.80	61.78	0.636	100.78	1.037	120.19	1.236
3.20	62.58	0.647	101.92	1.053	122.21	1.262
3.60	62.99	0.653	102.80	1.066	123.62	1.282
4.00	63.39	0.660	103.21	1.075	125.04	1.302
4.40	63.80	0.667	103.41	1.082	126.45	1.323
4.80	64.20	0.674	103.82	1.090	127.67	1.341
5.20	65.01	0.686	104.95	1.107	128.88	1.359
5.60	65.41	0.693	105.23	1.115	129.81	1.375
6.00	65.82	0.700	105.96	1.127	130.90	1.393
6.40	66.22	0.707	106.65	1.139	132.11	1.411
6.80	67.03	0.719	107.45	1.153	133.12	1.428
7.20	67.43	0.727	108.26	1.167	134.13	1.445
7.60	67.84	0.734	108.87	1.178	134.94	1.460
8.00	68.24	0.742	109.88	1.194	135.55	1.473
8.40	68.65	0.749	110.49	1.206	136.28	1.488
8.80	69.05	0.757	111.50	1.223	137.16	1.504
9.20	70.26	0.774	112.30	1.237	138.50	1.525
9.60	70.67	0.782	112.83	1.248	139.10	1.539
10.00	71.07	0.790	113.52	1.261	140.12	1.557
10.40	71.88	0.802	114.24	1.275	141.21	1.576
10.80	72.29	0.810	114.85	1.288	142.54	1.598
11.20	72.69	0.819	115.54	1.301	143.03	1.611
11.60	72.69	0.822	116.14	1.314	144.24	1.632
12.00	72.69	0.826	116.87	1.328	145.05	1.648



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	21/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	6% Cal - 0% Ceniza



$C = 0.0341 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 39.43^\circ$

$\tau = 0.0341 + \sigma \tan 39.43^\circ$





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CD-37

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	22/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	6% Cal - 5% Ceniza

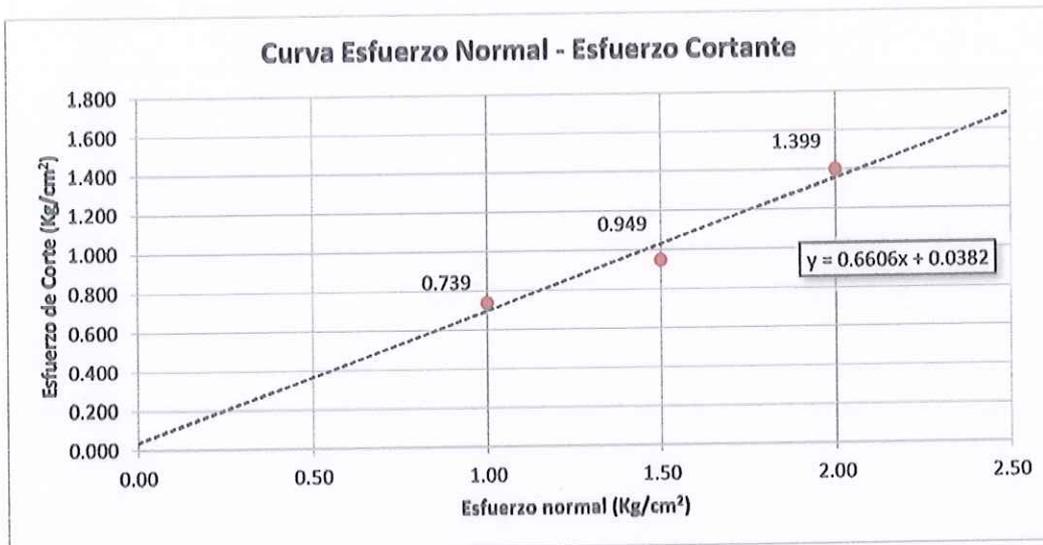
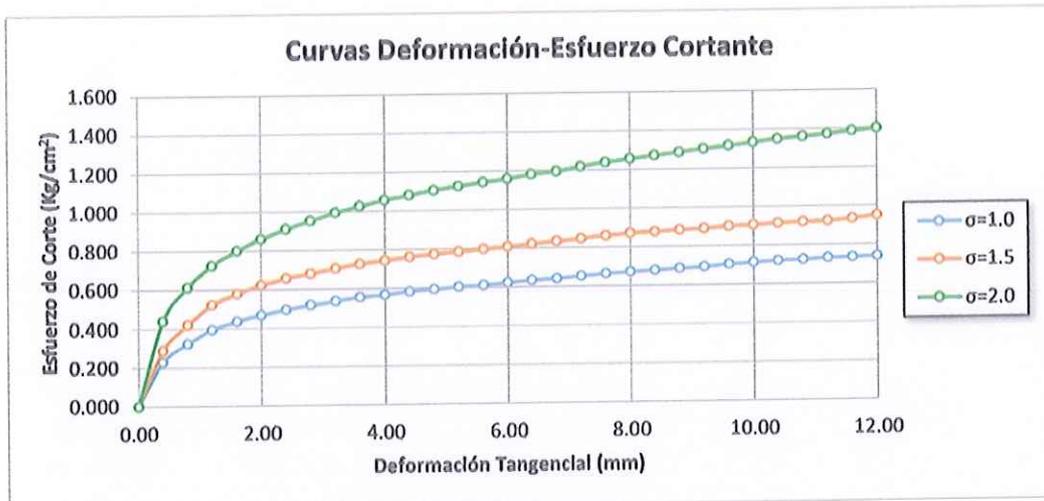
DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	DENSIDAD (gr/cm ³)	HUMEDAD (%)	ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	
	1.80	100.00	1.611	14.80	1.00	
	1.80	100.00	1.611	14.80	1.50	
	1.80	100.00	1.611	14.80	2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	22.97	0.231	28.63	0.287	43.99	0.442
0.80	32.27	0.325	41.56	0.419	60.56	0.611
1.20	39.14	0.396	51.67	0.523	71.48	0.723
1.60	43.18	0.439	56.92	0.578	78.75	0.800
2.00	46.01	0.469	61.17	0.624	84.41	0.861
2.40	48.44	0.496	64.20	0.658	89.06	0.913
2.80	50.46	0.519	66.22	0.681	92.70	0.954
3.20	52.07	0.538	68.45	0.707	96.34	0.995
3.60	53.69	0.557	70.26	0.729	99.17	1.029
4.00	54.50	0.568	71.48	0.745	101.59	1.058
4.40	55.71	0.583	72.81	0.762	103.41	1.082
4.80	56.52	0.594	73.70	0.774	105.23	1.105
5.20	57.33	0.605	74.51	0.786	106.65	1.125
5.60	57.73	0.612	75.32	0.798	108.06	1.145
6.00	58.54	0.623	75.92	0.808	109.07	1.160
6.40	58.35	0.634	76.93	0.822	110.69	1.183
6.80	59.75	0.641	77.66	0.833	111.41	1.195
7.20	60.56	0.653	78.55	0.846	113.11	1.219
7.60	61.37	0.664	79.48	0.860	114.53	1.239
8.00	61.78	0.671	80.17	0.871	115.54	1.256
8.40	62.18	0.679	80.37	0.877	116.55	1.272
8.80	62.58	0.686	80.77	0.886	117.48	1.288
9.20	62.99	0.694	80.90	0.891	118.37	1.304
9.60	63.80	0.706	81.50	0.902	119.18	1.318
10.00	64.20	0.713	81.58	0.906	120.19	1.335
10.40	64.60	0.721	81.91	0.914	120.91	1.349
10.80	64.60	0.724	81.99	0.919	121.40	1.361
11.20	65.01	0.732	81.99	0.923	121.93	1.373
11.60	65.01	0.735	82.59	0.934	122.61	1.387
12.00	65.01	0.739	83.52	0.949	123.14	1.399



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.
Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01
Estado de muestra: Remoldeada en laboratorio, Húmeda compacta.

Fecha: 22/03/2018
Responsable: Testistas
Calicata: C-02
Dosificación: 6% Cal - 5% Ceniza



$C = 0.0382 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 33.45^\circ$

$\tau = 0.0382 + \sigma \tan 33.45^\circ$



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.

Ubicación: Universidad Nacional del Santa - Campus 01

Estado de muestra: Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.

Fecha: 22/03/2018

Responsable: Tesistas

Calicata: C-02

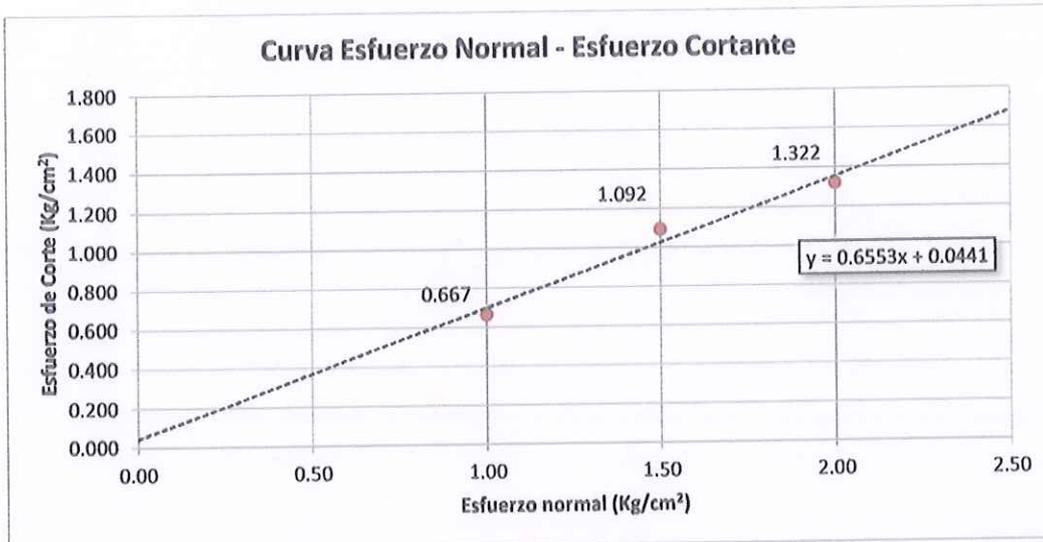
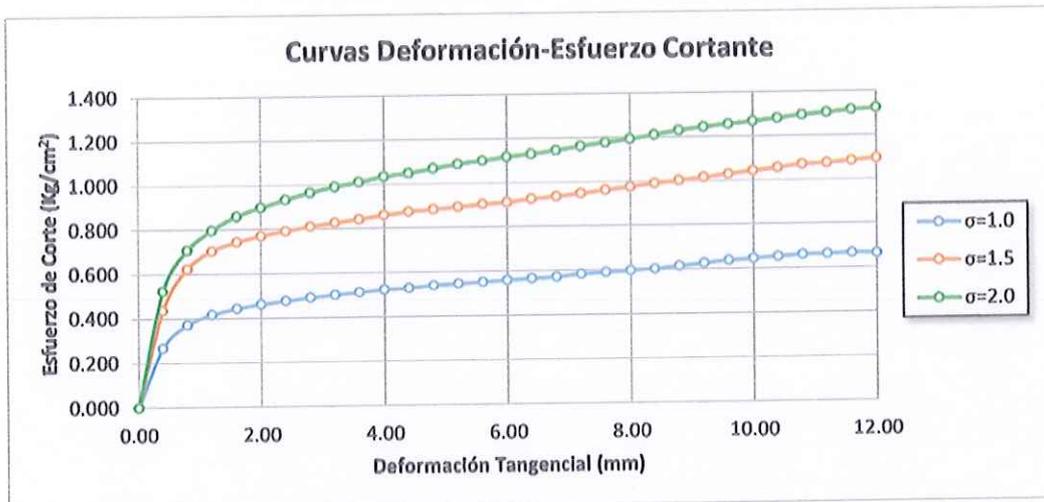
Dosificación: 6% Cal - 10% Ceniza

DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80	
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.482		1.482		1.482	
HUMEDAD (%)	16.35		16.35		16.35	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	26.61	0.267	43.58	0.438	52.07	0.523
0.80	36.71	0.370	61.78	0.623	70.26	0.708
1.20	41.16	0.417	69.46	0.703	78.75	0.797
1.60	43.58	0.443	73.09	0.743	84.61	0.860
2.00	45.20	0.461	75.32	0.769	88.05	0.898
2.40	46.41	0.476	77.14	0.790	91.08	0.933
2.80	47.63	0.490	78.67	0.809	93.71	0.964
3.20	48.44	0.500	79.97	0.826	95.73	0.989
3.60	49.24	0.511	81.10	0.841	97.35	1.010
4.00	50.05	0.521	82.39	0.858	99.17	1.033
4.40	50.46	0.528	83.40	0.872	100.18	1.048
4.80	51.27	0.538	83.93	0.882	101.59	1.067
5.20	51.67	0.545	84.53	0.892	103.01	1.087
5.60	52.07	0.552	85.22	0.903	103.94	1.101
6.00	52.48	0.558	85.62	0.911	105.03	1.117
6.40	52.88	0.565	86.55	0.925	105.63	1.129
6.80	53.29	0.572	87.04	0.934	106.65	1.144
7.20	54.09	0.583	87.85	0.947	107.86	1.162
7.60	54.50	0.590	88.78	0.961	108.79	1.177
8.00	54.90	0.597	89.67	0.975	109.68	1.192
8.40	55.31	0.604	90.60	0.989	110.89	1.211
8.80	56.12	0.615	91.28	1.001	112.10	1.229
9.20	56.92	0.627	92.09	1.014	112.91	1.244
9.60	57.73	0.639	92.90	1.028	113.52	1.256
10.00	58.14	0.646	93.71	1.041	114.04	1.267
10.40	58.54	0.653	94.52	1.055	114.73	1.280
10.80	58.95	0.661	95.33	1.069	115.34	1.293
11.20	58.95	0.664	95.33	1.073	115.74	1.315
11.60	58.95	0.667	95.73	1.083	116.27	1.322
12.00	58.54	0.665	96.13	1.092	116.35	1.322



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	22/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Testistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	6% Cal - 10% Ceniza



$C = 0.0441 \text{ kg/cm}^2$

$\phi = 33.24^\circ$

$\tau = 0.0441 + \sigma \tan 33.24^\circ$





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CD-39

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

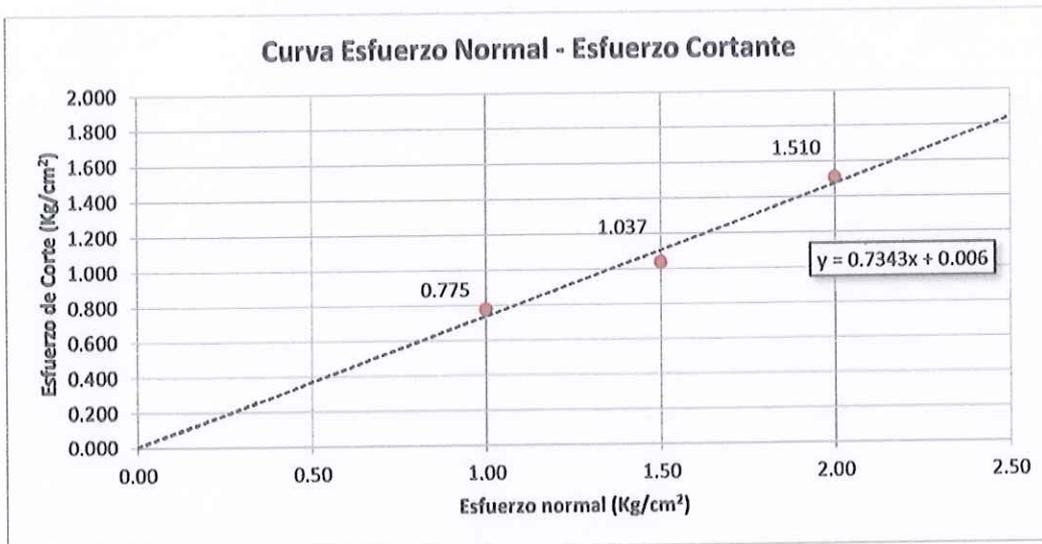
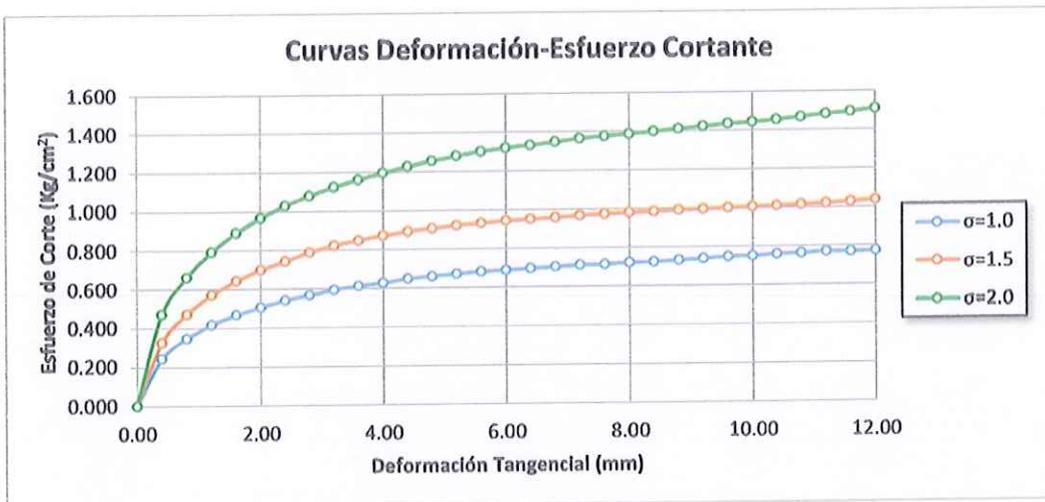
Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	23/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Testistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	6% Cal - 15% Ceniza

DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80	
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.346		1.346		1.346	
HUMEDAD (%)	19.05		19.05		19.05	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	24.16	0.243	32.67	0.328	47.02	0.472
0.80	34.27	0.345	46.82	0.472	65.82	0.663
1.20	41.14	0.416	56.32	0.570	78.35	0.793
1.60	45.99	0.467	63.19	0.642	87.44	0.889
2.00	49.63	0.506	68.36	0.698	94.52	0.964
2.40	52.86	0.542	72.49	0.743	100.18	1.026
2.80	55.29	0.569	76.53	0.787	104.62	1.076
3.20	57.71	0.596	79.56	0.822	108.67	1.123
3.60	59.33	0.615	81.70	0.848	111.90	1.161
4.00	60.54	0.631	83.73	0.872	114.73	1.195
4.40	62.16	0.650	85.22	0.891	117.36	1.228
4.80	62.97	0.661	86.35	0.907	119.58	1.256
5.20	63.78	0.673	87.36	0.922	121.52	1.282
5.60	64.58	0.684	87.97	0.932	123.02	1.303
6.00	64.99	0.691	88.78	0.944	124.15	1.321
6.40	65.39	0.699	89.06	0.952	124.96	1.335
6.80	65.80	0.706	89.26	0.958	125.85	1.350
7.20	66.20	0.713	89.79	0.968	126.86	1.367
7.60	66.20	0.716	89.99	0.974	127.38	1.379
8.00	66.61	0.724	90.27	0.981	127.79	1.389
8.40	66.61	0.727	90.27	0.986	128.27	1.400
8.80	67.01	0.735	90.48	0.992	128.88	1.413
9.20	67.41	0.742	90.48	0.996	129.40	1.425
9.60	67.82	0.750	90.48	1.001	129.89	1.437
10.00	67.82	0.754	90.48	1.005	130.09	1.445
10.40	68.22	0.761	90.48	1.010	130.49	1.456
10.80	68.22	0.765	90.48	1.014	131.02	1.469
11.20	68.63	0.773	90.60	1.020	131.71	1.483
11.60	68.22	0.772	90.88	1.028	132.11	1.494
12.00	68.22	0.775	91.28	1.037	132.84	1.510



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	23/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Tesistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	6% Cal - 15% Ceniza



C = 0.006 kg/cm²

φ = 36.29°

τ = 0.006 + σtan36.29°





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CD-40

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

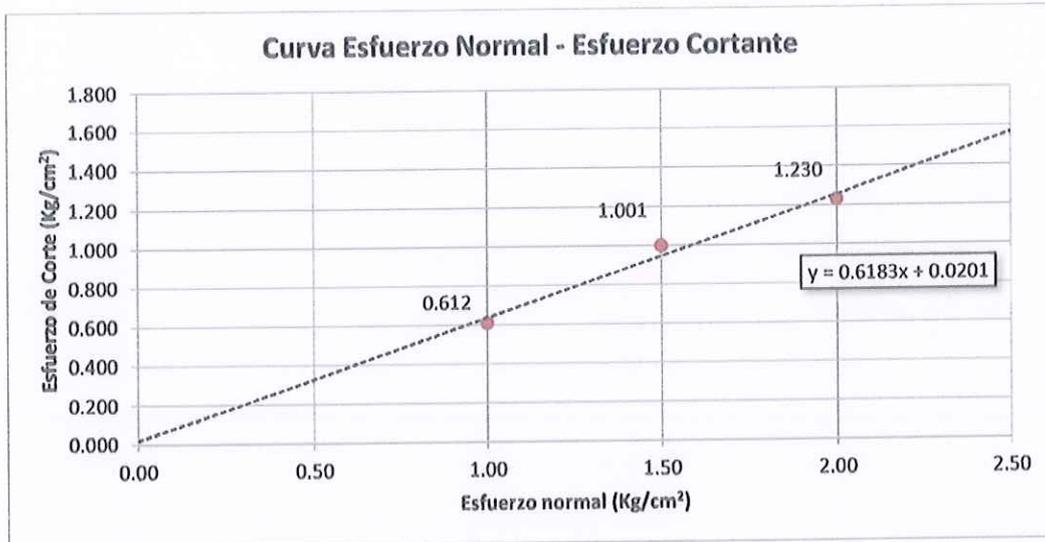
Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	23/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Testistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	6% Cal - 20% Ceniza

DATOS	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	ALTURA (cm)	1.80		1.80		1.80
ÁREA (cm ²)	100.00		100.00		100.00	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.299		1.299		1.299	
HUMEDAD (%)	20.25		20.25		20.25	
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	1.00		1.50		2.00	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESPÉCIMEN 1		ESPÉCIMEN 2		ESPÉCIMEN 3	
	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	FUERZA CORTANTE (kg)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
0.40	21.35	0.214	35.50	0.356	43.99	0.442
0.80	31.46	0.317	53.69	0.541	62.18	0.627
1.20	35.90	0.363	61.37	0.621	70.67	0.715
1.60	38.73	0.394	65.01	0.661	76.53	0.778
2.00	39.95	0.408	67.23	0.686	79.97	0.816
2.40	41.56	0.426	69.05	0.707	83.00	0.850
2.80	42.78	0.440	70.59	0.726	85.62	0.881
3.20	43.58	0.450	71.88	0.743	87.65	0.905
3.60	44.39	0.461	73.01	0.757	89.26	0.926
4.00	45.20	0.471	74.31	0.774	91.08	0.949
4.40	45.61	0.477	75.32	0.788	92.09	0.963
4.80	46.01	0.483	75.84	0.797	93.51	0.982
5.20	46.82	0.494	76.45	0.806	94.92	1.001
5.60	47.22	0.500	77.14	0.817	95.85	1.015
6.00	47.63	0.507	77.54	0.825	96.94	1.031
6.40	48.03	0.513	78.47	0.838	97.55	1.042
6.80	48.44	0.520	78.96	0.847	98.56	1.058
7.20	48.84	0.526	79.76	0.860	99.77	1.075
7.60	49.65	0.537	80.69	0.873	100.70	1.090
8.00	50.05	0.544	81.58	0.887	101.59	1.104
8.40	50.46	0.551	82.51	0.901	102.80	1.122
8.80	51.27	0.562	83.20	0.912	104.02	1.141
9.20	52.07	0.573	84.01	0.925	104.83	1.154
9.60	52.88	0.585	84.82	0.938	105.43	1.166
10.00	53.29	0.592	85.62	0.951	105.96	1.177
10.40	53.69	0.599	86.43	0.965	106.65	1.190
10.80	54.09	0.606	87.24	0.978	107.25	1.202
11.20	54.09	0.609	87.24	0.982	107.66	1.212
11.60	54.09	0.612	87.65	0.991	108.18	1.224
12.00	53.69	0.610	88.05	1.001	108.26	1.230



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Proyecto:	Mejoramiento de las propiedades mecánicas de arenas con fines de cimentación superficial utilizando cal y cenizas de hoja de caña de azúcar.	Fecha:	23/03/2018
Ubicación:	Universidad Nacional del Santa - Campus 01	Responsable:	Testistas
Estado de muestra:	Remoldeada en laboratorio. Húmeda compacta.	Calicata:	C-02
		Dosificación:	6% Cal - 20% Ceniza



C = 0.0201 kg/cm²

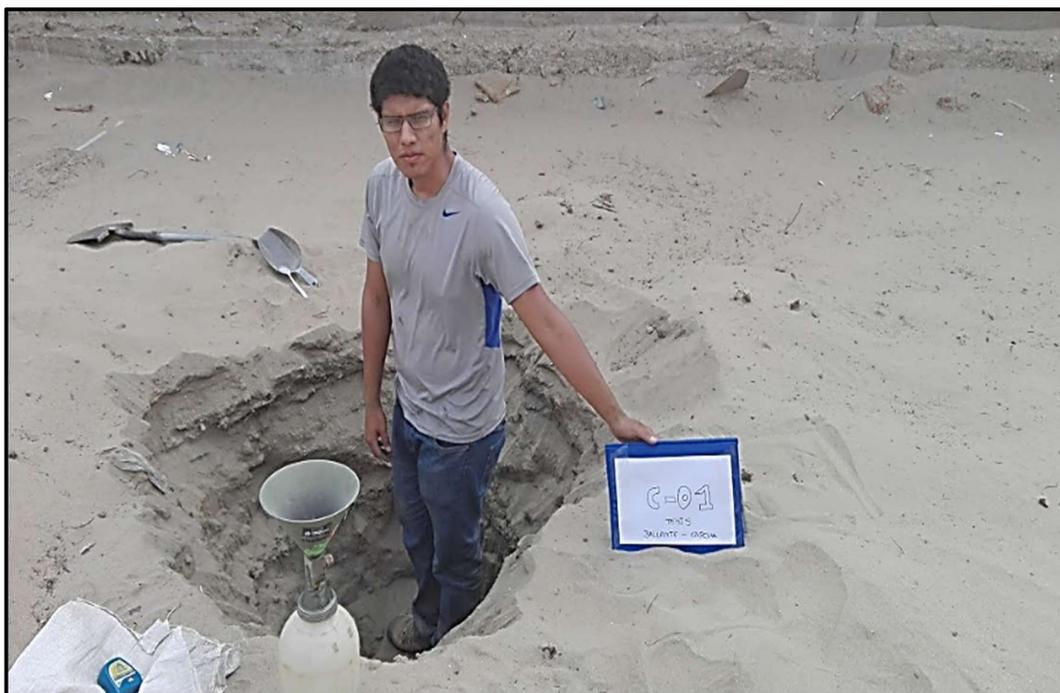
$\phi = 31.72^\circ$

$\tau = 0.0201 + \sigma \tan 31.72^\circ$



ANEXO 3
PANEL FOTOGRAFÍCO

TRABAJOS DE CAMPO



Fotografía N°01: Excavación y toma de muestra de suelo de la calicata C-01 en el Campus I de la UNS.



Fotografía N°02: Excavación y toma de muestra de suelo de la calicata C-02 en el Campus I de la UNS.



Fotografía N°03: Obtención de la arena calibrada (arena de Ottawa) para el ensayo de densidad de campo.



Fotografía N°04: Lavada, secado y obtención del peso específico de la arena calibrada.



Fotografía N°05: Calibración del cono de densidad



Fotografía N°06: Realización del ensayo de densidad de campo insitu, a una profundidad de 1.50m (MTC E117)

TRABAJOS EJECUTADOS EN LABORATORIO



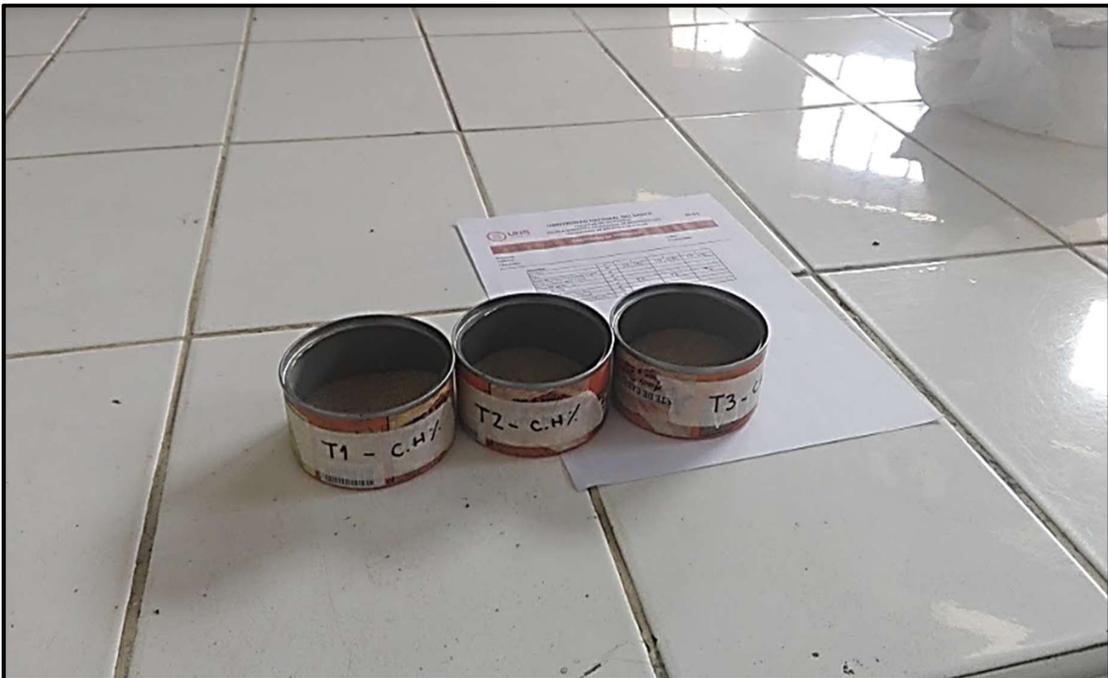
Fotografía N°07: Obtención en laboratorio de muestra representativa o conocido comúnmente como cuarteo (MTC E105)



Fotografía N°08: Realización del análisis granulométrico de la muestra de suelo utilizando una tamizadora mecánica (MTC E107)



Fotografía N°09: Distribución granulométrica de una muestra de suelo arenoso.



Fotografía N°10: Muestra representativa para la determinación del contenido de humedad de una muestra de suelo (MTC E108).



Fotografía N°11: Muestra de suelo puesta en el horno eléctrico y posterior pesaje de las mismas para la determinación del contenido de humedad.



Fotografía N°12: Determinación del límite líquido (MTC E110) y límite plástico (MTC E111) de la muestra obtenida en la zona de estudio.



Fotografía N°13: Equipos y herramientas para la realización del ensayo Proctor Estándar (MTC E116).



Fotografía N°14: Materiales utilizados en el ensayo Proctor: suelo arenoso, cal, ceniza de hojas de caña de azúcar y agua.



Fotografía N°15: Preparación de un tipo de mezcla de suelo con cal y ceniza de hojas de caña de azúcar.



Fotografía N°16: Humedecimiento de la mezcla utilizando una determinada cantidad de agua, la cual se iba variando.



Fotografía N°17: Compactación de la mezcla en 3 capas de 25 golpes con pisón manual.

Fotografía N°18: Enrasado y limpieza del molde ya con la mezcla compactada, lista para pesarse.





Fotografía N°19: Toma de muestras de la mezcla compactada para determinar su contenido de humedad.



Fotografía N°20: Pesaje de las taras con muestras húmedas y luego puestas en el horno eléctrico.



Fotografía N°21: Muestras secas luego del proceso de compactación



Fotografía N°22: Máquina para la realización del ensayo de corte directo consolidado drenado (MTC E123).



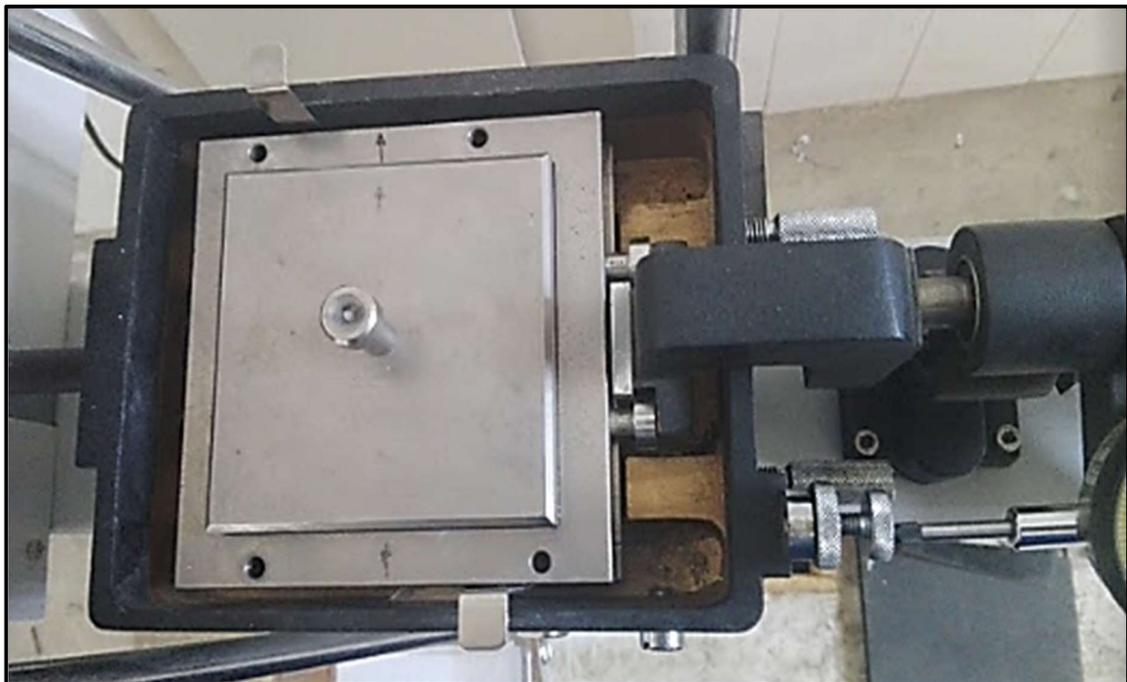
Fotografía N°23: Herramientas y materiales utilizados para la realización del ensayo de corte directo



Fotografía N°24: Preparación de la muestra antes de ser colocada a la caja de corte directo



Fotografía N°25: Compactación de la muestra dentro de la caja de corte con ayuda de un pisón.



Fotografía N°26: Colocación de la caja en la máquina de corte directo, quitando sus tornillos de seguridad.



Fotografía N°27: Ejecución del ensayo de corte directo, registrando los desplazamientos horizontales y fuerzas cortantes.



Fotografía N°28: Vista del corte de la muestra luego del ensayo de corte directo