



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO**  
**DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

---

**“ESTUDIO DEL EFECTO DE LA CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ EN  
LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS EN SUELOS FINOS DE  
SUBRASANTE”**

---

**AUTOR:** Ronnie Steven Andaluz López

**TUTOR:** Ing. Mg. Favio Paúl Portilla Yandún

**AMBATO – ECUADOR**

**Enero – 2022**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: “**ESTUDIO DEL EFECTO DE LA CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS EN SUELOS FINOS DE SUBRASANTE**”, elaborado por el Sr. Ronnie Steven Andaluz López, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1804960191, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Trabajo Experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, enero 2022

-----  
**Ing. Mg. Favio Paúl Portilla Yandún**  
**TUTOR**

## **AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Yo, **Ronnie Steven Andaluz López** con C.I. 1804960191 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema **“ESTUDIO DEL EFECTO DE LA CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS EN SUELOS FINOS DE SUBRASANTE”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, enero 2022



---

**Ronnie Steven Andaluz López**

**C.I. 1804960191**

**AUTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, enero 2022



---

**Ronnie Steven Andaluz López**

**C.I. 1804960191**

**AUTOR**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Ronnie Steven Andaluz López, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ESTUDIO DEL EFECTO DE LA CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS EN SUELOS FINOS DE SUBRASANTE”**.

Ambato, enero 2022

Para constancia firman:

-----  
**Ing. Mg. Myriam Marisol Bayas Altamirano**  
**Miembro Calificador**

-----  
**Ing. Mg. Byron Genaro Cañizares Proaño**  
**Miembro Calificador**

## **DEDICATORIA**

*Este proyecto se lo dedico a mis padres Bequer y Lina por estar pendientes en toda mi vida universitaria y con sus consejos oportunos que me sirvieron para no detenerme y seguir luchando por mis sueños. A mis hermanas Jazmina y Camila, que siempre me brindaron su apoyo incondicional en los momentos más complicados.*

*A toda mi familia, que siempre estaban en el momento preciso cuando yo necesitaba ayuda o tenía algún obstáculo durante esta linda carrera universitaria.*

***Ronnie Steven Andaluz López***

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios por bendecirme y guiarme mi camino.*

*Agradezco a mis padres Bequer y Lina por alentarme durante toda mi vida estudiantil.*

*A mis hermanas por brindarme su amor, su cariño y por siempre estar a mi lado.*

*Quiero agradecer a la Universidad Técnica de Ambato, principalmente a todas las personas que conforman la Facultad de Ingeniería Civil, que día a día con sus conocimientos forman buenos profesionales.*

*Al Ing. Favio Portilla por sus conocimientos brindados y por guiarme en este trabajo de investigación como tutor.*

*A mi amiga Samantha Gavilanes quien siempre me ayudo en lo que necesitaba desde el inicio de mi carrera hasta la culminación de mi trabajo de titulación.*

*Y por último, a todos mis amigos de aula que me brindaron su amistad y por los bellos momentos que pasamos dentro o fuera de la universidad.*

***Ronnie Steven Andaluz López***

## ÍNDICE

<b>PORTADA</b> .....	<b>i</b>
CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS .....	xvi
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT .....	xx
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>1</b>
1.1. Antecedentes Investigativos.....	1
1.1.1. Antecedentes .....	1
1.1.2. Justificación.....	2
1.1.3. Fundamentación Teórica.....	3
1.1.3.1. El suelo .....	3
1.1.3.2. Tamaño de las partículas del suelo .....	4
1.1.3.3. Clasificación de los suelos.....	5
1.1.3.3.1. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).....	5
1.1.3.3.2. Sistema de Clasificación de Suelos (SUCS) .....	7
1.1.3.3.3. Suelos Granulares .....	10
1.1.3.3.3.1. Gravas.....	10
1.1.3.3.3.2. Arenas.....	11
1.1.3.3.4. Suelos Finos.....	11

1.1.3.3.4.1. Limos.....	12
1.1.3.3.4.2. Arcilla.....	12
1.1.3.3.5. Clasificación de Suelos del Ecuador .....	12
1.1.3.4. Pavimentos.....	13
1.1.3.4.1. Pavimentos Flexibles.....	13
1.1.3.5. Estructura del Pavimento .....	14
1.1.3.5.1. Capa de Rodadura.....	14
1.1.3.5.2. Base .....	14
1.1.3.5.3. Subbase.....	14
1.1.3.5.4. Subrasante.....	14
1.1.3.5.4.1. Propiedades de la Subrasante .....	15
1.1.3.6. Ensayos de suelo.....	16
1.1.3.6.1. Densidad de Campo.....	16
1.1.3.6.2. Gravedad Específica.....	16
1.1.3.6.3. Humedad Natural.....	16
1.1.3.6.4. Límite Líquido.....	17
1.1.3.6.5. Límite Plástico.....	17
1.1.3.6.6. Granulometría.....	18
1.1.3.6.7. Proctor Modificado.....	18
1.1.3.6.8. Relación de Soporte California CBR .....	19
1.1.3.7. Estabilización del suelo .....	20
1.1.3.7.1. Métodos Físicos.....	22
1.1.3.7.1.1. Geotextiles.....	22
1.1.3.7.1.2. Mezcla de suelos.....	22
1.1.3.7.2. Métodos Mecánicos.....	22
1.1.3.7.2.1. Compactación.....	22
1.1.3.7.2.2. Vibro-Flotación .....	23

1.1.3.7.2.3. Blasting.....	24
1.1.3.7.3. Métodos Químicos.....	24
1.1.3.7.3.1. Estabilización con cal.....	25
1.1.3.7.3.2. Estabilización con cemento.....	26
1.1.3.7.3.3. Estabilización con asfalto.....	27
1.1.3.7.3.4. Estabilización con cenizas volantes.....	28
1.1.3.8. Arroz.....	29
1.1.3.8.1. Cáscara de arroz.....	30
1.1.3.8.2. Ceniza de la cáscara de arroz.....	31
1.1.4. Hipótesis.....	33
1.2. Objetivos.....	33
1.2.1. Objetivo General.....	33
1.2.2. Objetivos Específicos.....	33
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>34</b>
<b>2. METODOLOGÍA.....</b>	<b>34</b>
2.1. Materiales y Equipos.....	34
2.2. Métodos.....	41
2.2.1. Nivel Exploratorio.....	41
2.2.2. Nivel Descriptivo.....	41
2.2.3. Nivel Explicativo.....	41
2.2.4. Población.....	42
2.2.5. Muestra.....	42
2.3. Plan de Recolección de Datos.....	44
2.4. Plan de Procesamiento y Análisis de Información.....	45
2.4.1. Plan de Procesamiento.....	45
2.4.2. Plan de análisis de la información.....	45
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>47</b>

<b>3. RESULTADO Y DISCUSIONES.....</b>	<b>47</b>
3.1. Análisis y discusión de los resultados.....	47
3.1.1. Análisis de Propiedades Índice del Suelo .....	47
3.1.2. Análisis de Clasificación de Suelos .....	48
3.1.3. Análisis de Propiedades Mecánicas .....	50
3.1.3.1. Análisis de Proctor Modificado .....	51
a) Sector Santa Isabel .....	51
b) Sector Fátima .....	52
c) Sector Veracruz.....	53
3.1.3.2. Análisis de CBR.....	55
a) Sector Santa Isabel .....	55
b) Sector Fátima .....	56
c) Sector Veracruz.....	56
3.1.3.3. Análisis de CBR ÓPTIMO .....	57
a) Sector Santa Isabel .....	57
b) Sector Fátima .....	58
c) Sector Veracruz.....	59
3.1.4. Análisis de Estabilización de la Subrasante según CBR.....	60
3.1.5. Análisis del tráfico .....	61
3.1.5.1. Conteo Vehicular .....	61
3.1.5.2. Cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA).....	61
3.1.5.3. Pronóstico del Tráfico Futuro .....	63
3.1.5.3.1. Tráfico Existente .....	63
3.1.5.3.2. Tráfico Atraído (Tat) .....	64
3.1.5.3.3. Tráfico Generado (Tg).....	64
3.1.5.3.4. Tráfico por Desarrollo (Td).....	64
3.1.5.3.5. Tráfico Actual (Ta).....	65

3.1.5.3.6.	Tráfico Futuro (Tf) .....	65
3.1.5.3.6.1.	Índice de crecimiento .....	66
3.1.5.3.7.	Factor de Daño .....	66
3.1.5.3.8.	Ejes Equivalentes.....	67
3.1.5.3.8.1.	Factor de Distribución por Dirección.....	67
3.1.5.3.8.2.	Factor de Distribución por Carril .....	67
3.1.6.	Análisis de Diseño de Pavimento Flexible.....	70
3.1.6.1.	Parámetros de Diseño .....	70
3.1.6.1.1.	Ecuación de Diseño Método AASHTO 93 .....	70
3.1.6.1.2.	Confiabilidad “R” .....	71
3.1.6.1.3.	Índice de Serviciabilidad (PSI).....	72
3.1.6.1.4.	Módulo de Resiliencia “Mr” .....	72
3.1.6.1.5.	Coefficiente estructural de la Carpeta Asfáltica (a1).....	73
3.1.6.1.6.	Coefficiente estructural de la Base Granular (a2).....	74
3.1.6.1.7.	Coefficiente estructural de la Subbase Granular (a3).....	74
3.1.6.1.8.	Coefficiente de Drenaje .....	75
3.1.6.1.9.	Espesores por Capa.....	76
3.1.6.2.	Diseño del Pavimento .....	77
3.1.6.2.1.	Subrasante de suelo natural (Diseño 1) .....	77
3.1.6.2.2.	Subrasante de suelo estabilizado (Diseño 2) .....	80
3.1.6.3.	Análisis de los Diseños del Pavimento .....	84
3.1.7.	Análisis Económico .....	85
3.2.	Verificación de Hipótesis .....	88
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>89</b>
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>89</b>
4.1.	Conclusiones .....	89
4.2.	Recomendaciones.....	91

<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>92</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>96</b>
Anexo A: Ensayos de Santa Isabel.....	96
Anexo B: Ensayos de Fátima .....	117
Anexo C: Ensayos de Veracruz.....	138
Anexo D: Conteo Vehicular.....	159
Anexo E: Análisis de Precios Unitarios .....	162
Anexo F: Fotografías.....	168

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Rango del límite líquido y del índice de plasticidad para suelos en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2: Carta de Plasticidad de Casagrande .....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 3: Estructura de un pavimento flexible.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 4: Cono y Arena.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 5: Copa Casagrande.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 6: Conjunto de tamices.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 7: Equipo para realizar la compactación.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 8: Rodillo con neumático de caucho .....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 9: Unidad de Vibro-Flotación.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 10: Etapas de vibro-flotación.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 11: Superficie cosechada.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 12: Producción .....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 13: Pozo a Cielo Abierto .....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 14: Densidad de Campo (Cono y Arena de Ottawa).....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 15: Contenido de Humedad.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 16: Gravedad Específica de Sólidos.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 17: Calibración del Picnómetro.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 18: Granulometría.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 19: Límite Líquido (Copa Casagrande) .....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 20: Límite Plástico.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 21: Proctor Modificado.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 22: Relación de Soporte California (CBR).....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 23: Mapa de calicatas .....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 24: Compactación Proctor “Santa Isabel” .....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 25: Compactación Proctor “Fátima” .....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 26: Compactación Proctor “Veracruz” .....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 27: CBR “Santa Isabel” .....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 28: CBR “Fátima” .....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 29: CBR “Veracruz” .....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 30: CBR Óptimo “Santa Isabel” .....</i>	<i>58</i>

<b>Figura 31:</b> CBR Óptimo “Fátima” .....	59
<b>Figura 32:</b> CBR Óptimo “Veracruz” .....	60
<b>Figura 33:</b> Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica .....	73
<b>Figura 34:</b> Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la base granular .....	74
<b>Figura 35:</b> Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la subbase granular .....	75
<b>Figura 36:</b> Cálculo del número estructural (SN) - Diseño 1 .....	78
<b>Figura 37:</b> Espesores de las capas del pavimento flexible - Diseño 1 .....	80
<b>Figura 38:</b> Cálculo del número estructural (SN) - Diseño 2 .....	81
<b>Figura 39:</b> Espesores de las capas del pavimento flexible - Diseño 2 .....	84
<b>Figura 40:</b> Análisis económico .....	86
<b>Figura 41:</b> Ceniza de cáscara de arroz .....	169
<b>Figura 42:</b> Excavación de la calicata .....	169
<b>Figura 43:</b> Ensayo de Cono y Arena .....	170
<b>Figura 44:</b> Tamizado de las muestras de suelo .....	170
<b>Figura 45:</b> Obtención de la temperatura de la muestra de suelo .....	171
<b>Figura 46:</b> Colocación de la muestra en la Copa de Casagrande .....	171
<b>Figura 47:</b> Mezcla del suelo y la ceniza de cáscara de arroz .....	172
<b>Figura 48:</b> Compactación de las muestras de suelo .....	172
<b>Figura 49:</b> Saturación de los moldes de CBR .....	173
<b>Figura 50:</b> Obtención del valor de CBR .....	173

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Separación del suelo por tamaños</i> .....	4
<i>Tabla 2: Clasificación de materiales A-1 a A-3</i> .....	6
<i>Tabla 3: Clasificación de materiales A-4 a A-7</i> .....	6
<i>Tabla 4: Significado de las letras según la norma ASTM</i> .....	8
<i>Tabla 5: Clasificación Unificada de Suelos</i> .....	9
<i>Tabla 6: Minerales predominantes en suelos finos.</i> .....	11
<i>Tabla 7: Clasificación de suelos de subrasante</i> .....	15
<i>Tabla 8: Clasificación de suelos según el valor de CBR.</i> .....	20
<i>Tabla 9: Tipos de estabilización de suelos</i> .....	21
<i>Tabla 10: Aditivos recomendados para estabilización de suelos.</i> .....	25
<i>Tabla 11: Requerimiento de cemento para una estabilización efectiva.</i> .....	27
<i>Tabla 12: Principales países productores y exportadores de arroz.</i> .....	29
<i>Tabla 13: Composición Química de la Cáscara de Arroz.</i> .....	31
<i>Tabla 14: Composición Mineral de la Ceniza de Cáscara de arroz.</i> .....	32
<i>Tabla 15: Materiales y Equipos.</i> .....	34
<i>Tabla 16: Materiales y Equipos.</i> .....	35
<i>Tabla 17: Coordenadas UTM de calicatas.</i> .....	42
<i>Tabla 18: Propiedades Índices del suelo.</i> .....	47
<i>Tabla 19: Clasificación del Suelo.</i> .....	48
<i>Tabla 20: Propiedades Mecánicas del Suelo.</i> .....	50
<i>Tabla 21: Estabilización del suelo.</i> .....	61
<i>Tabla 22: Conteo del tráfico ambos sentidos</i> .....	62
<i>Tabla 23: Hora Pico del flujo vehicular.</i> .....	63
<i>Tabla 24: Tráfico actual</i> .....	65
<i>Tabla 25: Índice de crecimiento</i> .....	66
<i>Tabla 26: Factor de daño</i> .....	67
<i>Tabla 27: Factor de distribución por carril</i> .....	68
<i>Tabla 28: Números de Ejes Equivalentes a 8.2 ton</i> .....	69
<i>Tabla 29: Porcentajes de CBR del sector de Veracruz</i> .....	70
<i>Tabla 30: Porcentaje de confiabilidad</i> .....	71
<i>Tabla 31: Desviación Estándar Normal “Zr”</i> .....	71

<b>Tabla 32:</b> Calidad de Drenaje .....	75
<b>Tabla 33:</b> Índice de Drenaje .....	76
<b>Tabla 34:</b> Espesores mínimos de la Carpeta Asfáltica y de la Capa Base.....	77
<b>Tabla 35:</b> Pavimento Flexible- Diseño 1 .....	79
<b>Tabla 36:</b> Datos del Proyecto - Diseño 2 .....	81
<b>Tabla 37:</b> Pavimento Flexible- Diseño 2.....	82
<b>Tabla 38:</b> Coeficiente para subrasante mejorada .....	83
<b>Tabla 39:</b> Espesores de las capas del pavimento flexible.....	84
<b>Tabla 40:</b> Presupuesto del diseño 1 .....	85
<b>Tabla 41:</b> Presupuesto del diseño 1 .....	86
<b>Tabla 42:</b> Gravedad Específica (Santa Isabel).....	97
<b>Tabla 43:</b> Densidad de campo - Cono y Arena (Santa Isabel).....	98
<b>Tabla 44:</b> Granulometría (Santa Isabel) .....	99
<b>Tabla 45:</b> Límites de Atterberg (Santa Isabel) .....	100
<b>Tabla 46:</b> Proctor Modificado + 0% CCA (Santa Isabel).....	102
<b>Tabla 47:</b> Proctor Modificado + 1% CCA (Santa Isabel).....	103
<b>Tabla 48:</b> Proctor Modificado + 3% CCA (Santa Isabel).....	104
<b>Tabla 49:</b> Proctor Modificado + 5% CCA (Santa Isabel).....	105
<b>Tabla 50:</b> Proctor Modificado + 8% CCA (Santa Isabel).....	106
<b>Tabla 51:</b> CBR + 0% CCA (Santa Isabel).....	107
<b>Tabla 52:</b> CBR + 1% CCA (Santa Isabel).....	109
<b>Tabla 53:</b> CBR + 3% CCA (Santa Isabel).....	111
<b>Tabla 54:</b> CBR + 5% CCA (Santa Isabel).....	113
<b>Tabla 55:</b> CBR + 8% CCA (Santa Isabel).....	115
<b>Tabla 56:</b> Gravedad Específica (Fátima).....	118
<b>Tabla 57:</b> Densidad de campo - Cono y Arena (Fátima) .....	119
<b>Tabla 58:</b> Granulometría (Fátima).....	120
<b>Tabla 59:</b> Límites de Atterberg (Fátima).....	121
<b>Tabla 60:</b> Proctor Modificado + 0% CCA (Fátima).....	123
<b>Tabla 61:</b> Proctor Modificado + 1% CCA (Fátima).....	124
<b>Tabla 62:</b> Proctor Modificado + 3% CCA (Fátima).....	125
<b>Tabla 63:</b> Proctor Modificado + 5% CCA (Fátima).....	126
<b>Tabla 64:</b> Proctor Modificado + 8% CCA (Fátima).....	127

<b>Tabla 65:</b> CBR + 0% CCA (Fátima) .....	128
<b>Tabla 66:</b> CBR + 1% CCA (Fátima) .....	130
<b>Tabla 67:</b> CBR + 3% CCA (Fátima) .....	132
<b>Tabla 68:</b> CBR + 5% CCA (Fátima) .....	134
<b>Tabla 69:</b> CBR + 8% CCA (Fátima) .....	136
<b>Tabla 70:</b> Gravedad Específica (Veracruz).....	139
<b>Tabla 71:</b> Densidad de campo - Cono y Arena (Veracruz) .....	140
<b>Tabla 72:</b> Granulometría (Veracruz).....	141
<b>Tabla 73:</b> Límites de Atterberg (Veracruz).....	142
<b>Tabla 74:</b> Proctor Modificado + 0% CCA (Veracruz).....	144
<b>Tabla 75:</b> Proctor Modificado + 1% CCA (Veracruz).....	145
<b>Tabla 76:</b> Proctor Modificado + 3% CCA (Veracruz).....	146
<b>Tabla 77:</b> Proctor Modificado + 5% CCA (Veracruz).....	147
<b>Tabla 78:</b> Proctor Modificado + 8% CCA (Veracruz).....	148
<b>Tabla 79:</b> CBR + 0% CCA (Veracruz) .....	149
<b>Tabla 80:</b> CBR + 1% CCA (Veracruz) .....	151
<b>Tabla 81:</b> CBR + 3% CCA (Veracruz) .....	153
<b>Tabla 82:</b> CBR + 5% CCA (Veracruz) .....	155
<b>Tabla 83:</b> CBR + 8% CCA (Veracruz) .....	157
<b>Tabla 84:</b> Conteo vehicular sentido Sur - Norte.....	160
<b>Tabla 85:</b> Conteo vehicular sentido Norte - Sur.....	161
<b>Tabla 86:</b> Rubro Subbase Clase III .....	163
<b>Tabla 87:</b> Rubro Base Clase II .....	164
<b>Tabla 88:</b> Rubro Carpeta Asfáltica de e= 10 cm.....	165
<b>Tabla 89:</b> Rubro Mejoramiento de subrasante .....	166

## RESUMEN

Este proyecto se centró en conocer el efecto que puede producir la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas de los suelos finos de subrasante.

En este estudio se ocupó suelos de tres lugares diferentes del cantón Puyo, con el fin de realizar un análisis comparativo de los valores de CBR del suelo natural y del suelo estabilizado con ceniza de cáscara de arroz.

Se realizaron ensayos in situ como son: Pozo a Cielo Abierto y Densidad de campo (Método del Cono y Arena de Ottawa) y ensayos en laboratorio como son: Contenido de humedad, Granulometría, Gravedad específica, Límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR. Al realizar los ensayos de Proctor modificado y CBR se utilizó muestras de suelo mezcladas con ceniza de cáscara de arroz en porcentajes de 0, 1, 3, 5 y 8.

Al obtener los valores de CBR se realizó una comparación entre dos diseños de pavimentos flexibles, donde el primer diseño ocupó el valor de CBR de suelo natural y el segundo diseño ocupó el valor de CBR de suelo estabilizado. Al obtener los espesores de las capas del pavimento flexible, el diseño con suelo estabilizado obtuvo una disminución en los espesores. Al finalizar los diseños también se realizó un análisis económico, para saber cómo influye la ceniza de cáscara de arroz en el costo de una vía.

**Palabras clave:** Cáscara de arroz, Proctor modificado, CBR, Pavimento flexible, Suelo fino.

## ABSTRACT

This project focused on knowing the effect that rice husk ash can produce on the physical-mechanical properties of subgrade soil.

In this study, soils were taken from three different places from Puyo, in order to carry out a comparative analysis of the CBR values between the natural soil and the soil stabilized with rice husk ash.

In situ essays were carried out such as: Open Excavation and Field Density (Ottawa's Cone and Sand Method) and laboratory tests such as: Moisture Content, Granulometry, Specific Gravity, Atterberg Limits, Modified Proctor and CBR. When the modified Proctor and CBR tests were carried out, soil samples were mixed with rice husk ash were used in percentages of 0, 1, 3, 5 and 8.

When obtaining the CBR values were obtained, a comparison was made between two flexible pavement designs, the first design was with the CBR value of natural soil and the second design was with the CBR value of stabilized soil. When we obtained the thicknesses of the layers of the flexible pavement, the design with stabilized soil, a decrease in the thickness was obtained. At the end of the designs, an economic analysis was also made, to find out how rice husk ash influences the cost of a road.

**Keywords:** Rice husk, Modified Proctor, CBR, Flexible pavement, Fine soil.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes Investigativos

Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante.

#### 1.1.1. Antecedentes

La estabilización de suelos en los últimos años ha empleado diferentes métodos para mejorar las propiedades del suelo, especialmente en disminuir la permeabilidad y los asentamientos [1]. El alterar las propiedades físicas y mecánicas del suelo con materiales tradicionales como el cemento, la cal y el asfalto tiene como fin obtener un terreno de fundación satisfactorio [2].

La producción de arroz a nivel mundial es aproximadamente de 700 millones de toneladas, donde la cáscara de arroz representa un 20% del peso [3].

En la Universidad Piloto de Colombia Sección Alto Magdalena, en la Facultad de Ingeniería se realizó un estudio sobre “Análisis del Comportamiento Físico – Mecánico de la Adición de ceniza de cascarilla de arroz de la variedad blanco a un suelo areno-arcilloso” en donde, propone mejorar el suelo adicionando el 1% de ceniza de cascarilla de arroz con respecto al suelo natural, en el que se concluyó qué; la ceniza de cascarilla de arroz aumentó el valor del porcentaje del CBR de 1.6% a 1.9% y también se evidenció la disminución del valor de la densidad de  $1.726 \text{ gr/cm}^3$  a  $1.714 \text{ gr/cm}^3$  [4].

En la Universidad Militar Nueva Granada de Bogotá, Colombia, en la Facultad de Ingeniería se realizó un estudio sobre “Mejoramiento de un suelo blando de subrasante mediante la adición de cascarilla de arroz y su efecto en el Módulo Resiliente” en donde, se añadió el 2%, 4% y 6% de ceniza de cascarilla de arroz con respecto al suelo natural, en el que se concluyó qué; al adicionar el 4% de ceniza de cascarilla de arroz la resistencia inconfínada del material aumento en más del 100%, también el módulo

resiliente del material incremento, pero con un valor por arriba del 4% de ceniza el módulo resiliente del material decrece [5].

En la Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, en la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental se realizó un estudio sobre “Estabilización de arcillas expansivas de la provincia de Manabí con puzolana extraída de ceniza de cascarilla de arroz” en donde, se añadió el 10%, 20% y 30% de ceniza de cascarilla de arroz con respecto al suelo natural, en el que se concluyó que; la muestra con un porcentaje del 30% de ceniza obtuvo una mayor reducción del potencial de expansión [6].

En la Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú, en la Facultad de Ingeniería se realizó un estudio sobre “Evaluación del potencial de expansión y capacidad portante de suelos arcillosos usados en subrasante al adicionar ceniza de cascarilla de arroz” en donde, se añadió el 4%, 7% y 10% de ceniza de cascarilla de arroz con respecto al suelo natural, en el que se concluyó que; la muestra con un porcentaje del 10% de ceniza el valor de CBR sufrió un descenso del 0.85%, pero en las adiciones del 4% y 7% el valor del CBR aumento de 2.85% a 4.52% y de 2.85% a 7.80% respectivamente [7].

### **1.1.2. Justificación**

A lo largo de la historia Ecuador se ha destacado por todas sus actividades agropecuarias, principalmente en la producción del arroz, donde sus áreas de cultivo con un porcentaje del 98% provienen de tres provincias Guayas, Manabí y Los Ríos según el INEC 2010 [8].

Por la gran producción y consumo de arroz en el país se genera una gran cantidad de cáscara, la misma se ocupa para algunas actividades, por ejemplo, en la industria florícola y para la crianza de animales donde se utiliza el 35% de la producción, pero el sobrante de la cáscara es colocada y quemada en plantas de pilado y en los bordes de las carreteras, también la cáscara es arrojada en ríos y existe un porcentaje mínimo que es llevado por el viento [9].

Se conoce que cada tonelada de arroz genera 200kg de cáscara y cuando comienza con el proceso de combustión produce 40 kg de ceniza aproximadamente [10]. El proceso

de combustión de la cáscara de arroz para obtener como resultado una ceniza puzolánica necesita temperaturas de 500°C a 700°C para su incineración [9], [11].

Según estudios y ensayos en laboratorios, la ceniza de cáscara de arroz presentó un buen índice de actividad puzolánica, debido a esto se lo clasifica como una puzolana y se puede utilizar para mezclas como una adición activa [3]

Barragán y Cuervo\_2019, analizó las propiedades del suelo areno-arcilloso con la adición de 1% de ceniza de arroz donde obtuvo como resultado el incremento del porcentaje del CBR de 1.6% a 1.9% y la disminución de la densidad de 1.726 gr/cm<sup>3</sup> a 1.714 gr/cm<sup>3</sup> [4].

Debido a la gran producción de arroz en el país y con el fin de no solo mejorar las propiedades físico-mecánicas de suelos finos de subrasante, sino también con el compromiso de disminuir la contaminación de ríos, esteros y principalmente del medio ambiente, se propone utilizar la ceniza de cáscara de arroz para la estabilización de suelos finos.

Esta investigación quiere desarrollar un nuevo sistema utilizando las cenizas de cáscara de arroz para ayudar en la estabilización de suelos finos de subrasante como un aditivo activo que ayudaría en el diseño de pavimentos.

Al finalizar esta investigación los datos obtenidos pueden ser de gran ayuda para estudios y trabajos posteriores por parte de profesionales dedicados a la construcción de vías, como también para el aprendizaje de nuevas combinaciones de estabilización de suelos arcillosos para profesores y estudiantes.

### **1.1.3. Fundamentación Teórica**

#### **1.1.3.1. El suelo**

El suelo es una capa delgada de partículas que se encuentra en la corteza terrestre, que provienen de la desintegración y descomposición de las rocas [12].

En Ingeniería Civil, el suelo se lo conoce como sedimentos no consolidados o depósitos de partículas sólidas que se originan por la alteración y desintegración de rocas [13]. El suelo se utiliza como un material de construcción para diferentes

proyectos en el ámbito de ingeniería civil, debido a esto un especialista dedicado a la construcción debe dominar los ensayos y estudios de las propiedades del suelo, con el fin de obtener la capacidad de soporte de carga [14].

### 1.1.3.2. Tamaño de las partículas del suelo

El suelo está compuesto por partículas de diferentes tamaños, por eso algunos actores han clasificado el suelo en grava, arena, limo o arcilla. Algunas organizaciones han desarrollado límites que ayudarían a separar el suelo según su tamaño. Las gravas son aquellas que tienen partículas casuales de cuarzo, feldespato, y otros minerales. La arena está conformada por partículas donde destaca el cuarzo y el feldespato. Los limos son fragmentos de cuarzo demasiado finos. Las arcillas poseen partículas en formas de láminas microscópicas y de minerales de arcilla submicroscópicas [14]. En la Tabla 1 se muestra la separación del suelo por tamaños.

**Tabla 1:** Separación del suelo por tamaños

Nombre de la organización	Tamaño de grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	<0.002
Departamento de Agricultura de E.U. (USDA)	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	<0.002
Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	<0.002
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E.U., Oficina de Reclamación de E.U., Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (p.ej., linos y arcillas) <0.075	

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das.

### **1.1.3.3. Clasificación de los suelos**

Los suelos se pueden clasificar según sus características mecánicas y su comportamiento en grupos y subgrupos. En la actualidad existen dos tipos de sistemas de clasificación de suelos muy elaborados, que principalmente toman en cuenta la distribución granulométrica y la plasticidad del suelo. El primer sistema es el American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) utilizado para la creación de carreteras estatales y del condado, mientras que el segundo es el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) utilizado por los ingenieros geotécnicos en Estados Unidos [14].

#### **1.1.3.3.1. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)**

El sistema AASHTO fue desarrollado en el año 1929, conocido también como el Sistema de Clasificación de Administración de Carreteras. Este sistema utiliza ensayos como: Granulometría, Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad para clasificar el suelo [15].

El suelo es clasificado en siete grupos principales y su nomenclatura va desde el A-1 hasta el A-7 según la Tabla 2 y la Tabla 3.

- Si el 35% o menos de las partículas pasan a través del tamiz #200 es un material granular y se clasifican en los grupos A-1, A-2 y A-3.
- Si más del 35% de las partículas pasan a través del tamiz #200 es un material de tipo arcilla o limo y se clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 [15].

**Tabla 2:** Clasificación de materiales A-1 a A-3

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1			A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes							
	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Limo o grava arcillosa y arena			
Clasificación general de la subrasante			Excelente a bueno				

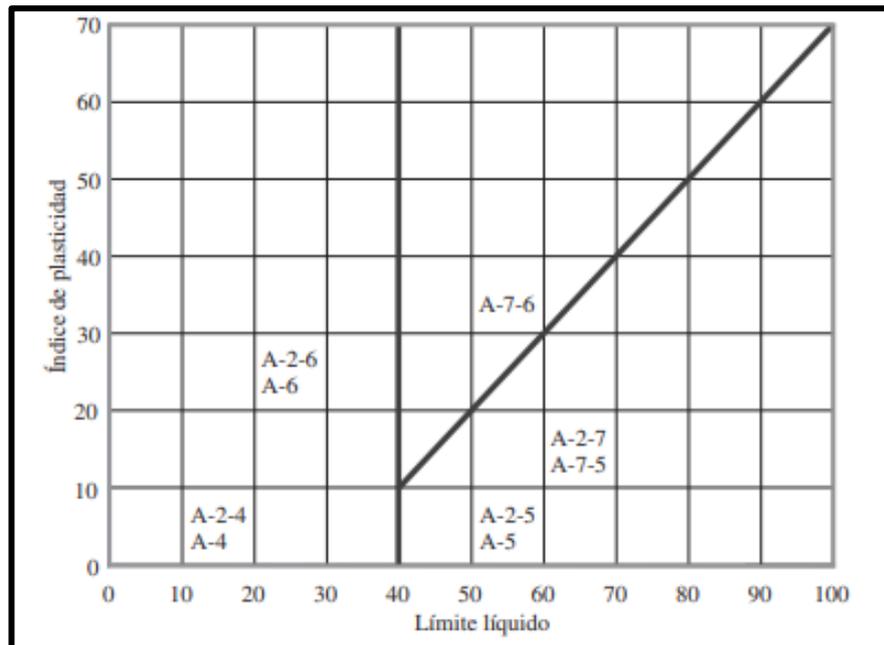
Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das.

**Tabla 3:** Clasificación de materiales A-4 a A-7

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)				A-7
	A-4	A-5	A-6	A-7-5*	A-7-6†
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)					
Núm. 10					
Núm. 40					
Núm. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.		36 mín.
Características de la fracción de paso núm. 40					
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.		41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.		11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes					
	Suelos limosos			Suelos arcillosos	
Clasificación general de la subrasante			Regular a malo		
*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$					
†Para A-7-6, $PI > LL - 30$					

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das.

**Figura 1:** Rango del límite líquido y del índice de plasticidad para suelos en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7.



Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das.

### 1.1.3.3.2. Sistema de Clasificación de Suelos (SUCS)

Este sistema fue presentado por Casagrande en el año de 1948 al Cuerpo de Ingenieros del Ejército para la construcción del aeródromo, en el año de 1952 fue revisado y en la actualidad es muy utilizado por los ingenieros y se la encuentra en la Norma ASTM D-2487.

El sistema clasifica el suelo en 2 grupos:

- Se lo conoce como suelo de grano grueso, si menos del 50% de las partículas para el tamiz #200.
- Se lo conoce como suelo de grano fino, si el 50% o más de las partículas pasa el tamiz #200.

Para la clasificación se utiliza letras que ayudan a identificar el tipo de suelo, donde la primera letra es la inicial del nombre en el idioma inglés del tipo de suelo y la segunda letra es un adjetivo calificativo [15]. En la Tabla 4 se expone el significado de las letras

según el tipo de suelo y en la Tabla 5 se muestra la clasificación de los suelos según la SUCS.

**Tabla 4:** Significado de las letras según la norma ASTM

<b>Primera Letra</b>	<b>Palabra</b>	<b>Segunda Letra</b>	<b>Palabras</b>
G	Grava	W	Bien graduado
S	Arena	P	Mal graduado
M	Limo	M	Limoso
C	Arcilla	C	Arcilloso
O	Orgánicos	L	Baja plasticidad
PT	Turba	H	Alta plasticidad

**Fuente:** American Society of Testing Materials (ASTM).

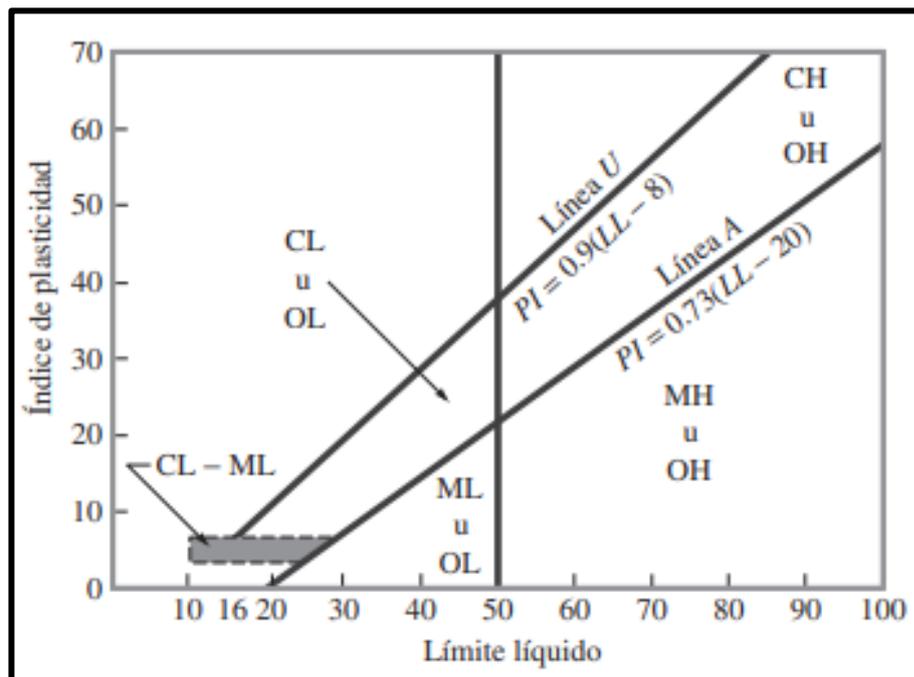
**Tabla 5: Clasificación Unificada de Suelos**

Procedimiento de identificación en el campo				Símbolos del grupo			
(Excluyendo las partículas mayores de 7.6 cm (3") y basando las fracciones en pesos estimados.)							
Suelos de partículas gruesas	Más de la mitad del material es retenido en la malla No. 200	Gravas	Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida en la malla No. 4	Para clasificación visual puede usarse 1/2 cm como equivalente a la abertura de la malla No.4	Gravas limpias (Poco o nada de partículas finas)	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios.	GW
					Gravas con Finos (Cantidad apreciable de partículas finas)	Fracción fina poco o nada plástica (para identificación, véase grupo ML abajo).	GP
					Gravas limpias (Poco o nada de partículas finas)	Fracción fina plástica (para identificación véase grupo CL abajo).	GM
					Gravas con Finos (Cantidad apreciable de partículas finas)	Fracción fina plástica (para identificación véase grupo CL abajo).	GC
					Arenas limpias (Poco o nada de partículas finas)	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios.	SW
					Arenas con Finos (Cantidad apreciable de partículas finas)	Promedio de un tamaño a un tipo de tamaños con ausencia de algunos tamaños intermedios.	SP
					Arenas limpias (Poco o nada de partículas finas)	Fracción fina poco o nada plástica (para identificación véase grupo ML abajo).	SM
					Arenas con Finos (Cantidad apreciable de partículas finas)	Fracción fina plástica (para identificación véase grupo CL abajo).	SC
Suelos de partículas finas	Más de la mitad del material pasa la malla No. 200	Procedimiento de identificación en la fracción que pasa la malla No. 40					
		Límite Límite Limos y arcillas líquido menor de 50	Resistencia en Edo. Seco (Características al rompimiento)	Dilatación Reacción al agitado		Tenacidad (Consistencia cerca del límite plástico)	
			Nula a ligera	Rápida a lenta		Nula	ML
			Media a alta	Nula a muy lenta		Media	CL
			Ligera a media	Lenta		Ligera	OL
		Limos y arcillas Límite líquido mayor de 50	Ligera a media	Lenta a nula		Ligera a media	MH
			Alta a muy alta	Nula		Alta	CH
			Ligera a media	Nula a muy lenta		Ligera a media	OH
Suelos altamente orgánicos					Fácilmente identificados por color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa	Pt	

Fuente: Ingeniería de pavimentos, Alfonso Montejo.

La Carta de plasticidad de Casagrande ayuda a clasificar los suelos finos, para interpretar esta carta debemos conocer que en el eje de las abscisas se encuentra el valor del Límite Líquido y en el eje de las ordenadas se encuentra el valor del Índice de plasticidad. La línea A divide en dos grupos, en la parte superior están las arcillas y en la parte inferior se encuentran los limos y suelos orgánicos. La línea B divide en dos grupos, en el lado izquierdo están los suelos de baja plasticidad y en el lado derecho están los suelos de alta plasticidad [15].

**Figura 2:** Carta de Plasticidad de Casagrande



Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Braja M. Das.

### 1.1.3.3.3. Suelos Granulares

#### 1.1.3.3.3.1. Gravas

Son fragmentos de rocas que tiene un diámetro mayor a 2mm, y se origina por el movimiento de rocas en los lechos del río, debido a este proceso de traslación se genera un desgaste en las aristas de las gravas, obteniendo como resultado gravas redondeadas. Estas gravas se las encuentran como un material suelto. El límite de tamaño de las gravas va desde 2 mm a 7.62cm [12].

#### 1.1.3.3.2. Arenas

Este material se da por la disgregación o la trituración de las rocas, donde el límite de tamaño del diámetro de las partículas varía desde 0.05 mm hasta los 2 mm.

La arena lavada o también conocida como arena limpia se caracteriza por no contraerse al secarse y no son plásticas. La arena que se encuentra en los ríos principalmente está conformada por arcillas y gravas [12].

#### 1.1.3.3.4. Suelos Finos

Los suelos finos están conformados por la mezcla de diferentes minerales arcillosos según la Tabla 6, el color de este tipo de suelo dependerá del mineral que está compuesto, por ejemplo, si el suelo es de color rojo contiene óxidos de hierro y magnesio, si el suelo es amarillo contiene óxidos de hierro hidratado, si el suelo es blanco y gris indica la presencia de cuarzo, yeso y caolín, y si el suelo es de color negro y marrón indica que es material orgánico [16].

**Tabla 6:** Minerales predominantes en suelos finos.

<b>SUELOS FINOS</b>	Silicatos de aluminio hidratado	
	Silicato de magnesio	
	Silicato de hierro	
	Otros silicatos	
	Álcalis	
	Estructura cristalina	Lámina silícica
		Lámina alumínica

**Fuente:** Introducción a la mecánica de suelos, Gonzales Fernando.

#### **1.1.3.3.4.1. Limos**

Este tipo de material se caracteriza por tener poca o ninguna plasticidad y se clasifica en dos grupos que son: limos orgánicos e inorgánicos. El material de tipo orgánico se lo encuentra en los ríos y se caracteriza por tener plasticidad, mientras que el material de tipo inorgánica se lo produce en las canteras. El límite del tamaño del diámetro de los limos varía desde 0.005mm hasta 0.05mm.

Los limos se caracterizan por poseer una permeabilidad muy baja, principalmente en los limos orgánicos, pero a pesar de esto posee una compresión muy alta. Gris claro y gris oscuro puede ser el color de los limos [12].

#### **1.1.3.3.4.2. Arcilla**

La arcilla se define como un mineral que está constituido por silicato de aluminio hidratado. Este material al ser mezclado con agua adquiere mucha plasticidad. Este material está compuesto principalmente por partículas muy fina, es decir presentan un tamaño menor a 0.002mm.

Las características de las arcillas radican en sus propiedades físico-químicas, por eso las propiedades dependen principalmente de:

- Tamaño de partículas
- Su morfología laminar
- Sustituciones isomórficas [17].

#### **1.1.3.3.5. Clasificación de Suelos del Ecuador**

En el Ecuador existe una gran diversidad de suelos debido a su ubicación geográfica y a la existencia de la cordillera de los Andes. El Ecuador está dividido en 4 regiones que poseen diferentes tipos de suelos.

Región Insular: El suelo en esta región está conformadas por 5 islas, 14 islotes y 69 isletas o rocas antiguas, que se formaron por erupciones de volcanes submarinos.

Región Costa: El suelo es de 46000km<sup>2</sup> aproximadamente que va desde la línea costera hasta la pendiente occidental de la cordillera andina. Los materiales predominantes de la región son: rocas volcánicas antiguas y suelos andosoles y molisoles.

Región Sierra: El suelo es de 46000km<sup>2</sup> aproximadamente y se encuentra en las montañas occidentales y orientales andinas. Los suelos andosoles, las cenizas volcánicas y componentes minerales predominan en esta región.

Región Amazonía: La región se encuentra ubicada desde la pendiente oriental de la cordillera de los andes hasta el límite con Perú y se caracteriza por tener un suelo húmedo [18].

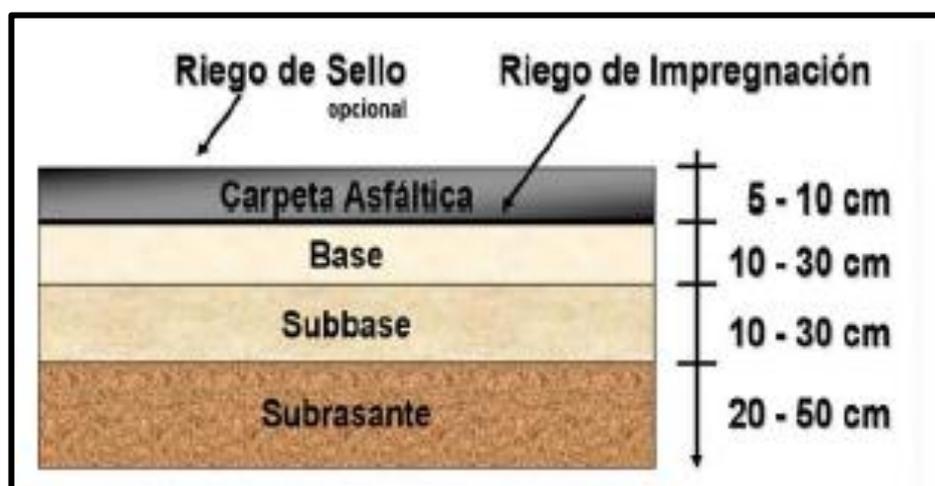
#### 1.1.3.4. Pavimentos

Un pavimento es aquel que se encuentra conformado por un conjunto de capas que cumple una función específica y están diseñadas con un tipo de material diferente adecuadamente compactadas. Esta estructura se encuentra apoyada en la subrasante de una vía, la cual deberá soportar las cargas de los vehículos [2].

##### 1.1.3.4.1. Pavimentos Flexibles

Estos tipos de pavimentos son aquellos que se pueden adaptar a las deformaciones del suelo. Principalmente este pavimento está conformado por una capa bituminosa que se encuentra sobre la base, la subbase y la subrasante que son tres capas no rígidas [2].

**Figura 3:** Estructura de un pavimento flexible



Fuente: Pavimentos, Claudio Giordani & Diego Leone.

### **1.1.3.5. Estructura del Pavimento**

#### **1.1.3.5.1. Capa de Rodadura**

La capa de rodadura tiene como función proteger de las filtraciones del agua de lluvia y evitar el daño o el deterioro de la capa base impermeabilizando su superficie [19], [20].

#### **1.1.3.5.2. Base**

La función principal de la base es de absorber los esfuerzos producidos por las cargas de los vehículos y transmitir los mismos de una manera uniforme a la subbase y a la subrasante. Esta capa puede ser de un material granular, también puede estar constituida por mezclas bituminosas o por mezclas estabilizadas con otro material ligante [19], [20].

#### **1.1.3.5.3. Subbase**

Esta capa está conformada por materiales que cumplen especificaciones concisas por ejemplo, para soportar a la capa base, servir como drenaje del pavimento y controlar la capilaridad del agua. Otro objetivo que tiene la subbase es la de controlar los cambios de volumen y elasticidad [19], [20].

#### **1.1.3.5.4. Subrasante**

A la subrasante se define como la capa de terreno formada por el movimiento de tierra donde se colocará la estructura del pavimento. También se la conoce como la capa superior del terraplén donde se asentará el pavimento y estará formada por suelos específicos compactados para soportar las cargas del tránsito [17].

La subrasante tiene como función principal soportar las cargas que son transmitidas por el pavimento y darle sustentación. Es de gran importancia conocer la calidad de esta capa, porque de ella dependerá el espesor que se colocará de pavimento y el costo de la construcción [18].

Para conocer la capacidad de esta capa se debe realizar el ensayo de Relación de Soporte de California CBR, con estos valores obtenidos se calculará el espesor del

pavimento. Si este valor es mínimo o el terreno es pésimo, se debe retirar o se puede estabilizar mediante procesos de mezclas con diferentes materiales [18].

La subrasante es clasificada gracias al método de CBR, que permite conocer la resistencia del suelo. En la Tabla 7, nos explica cómo se clasifica el suelo de la subrasante.

**Tabla 7:** Clasificación de suelos de subrasante

<b>Clasificación de la subrasante</b>	<b>CBR en %</b>
S 1	2
S 2	3 - 5
S 3	6 – 10
S 4	11 - 20
S 5	>20

**Fuente:** Ingeniería de pavimentos, Alfonso Montejo Fonseca

#### **1.1.3.5.4.1. Propiedades de la Subrasante**

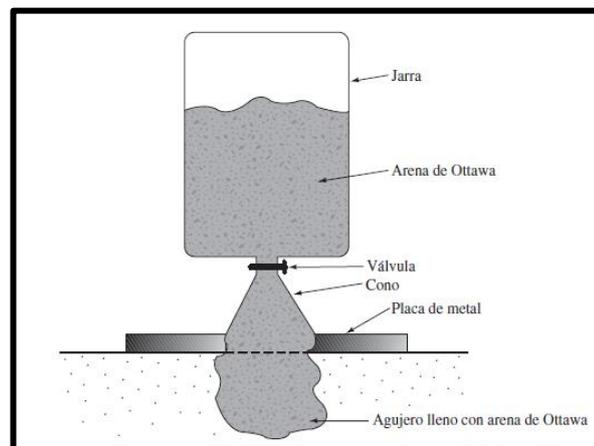
En el diseño de un pavimento es importante conocer las propiedades que tiene el suelo de la subrasante, para certificar si el suelo se encuentra en buenas condiciones o necesita algún tipo de mejoramiento físico, mecánico o químico. Las propiedades del suelo se podrán conocer mediante la elaboración de ensayos [21].

### 1.1.3.6. Ensayos de suelo

#### 1.1.3.6.1. Densidad de Campo

Para este ensayo se ocupa el método del cono de arena propuesto en las normas AASHTO T191-14 y ASTM D1556-07, que ayuda a obtener el volumen del agujero y así conocer el valor de la densidad del terreno y también el grado de compactación in situ. Para conocer el grado de compactación del suelo se utiliza la densidad seca. La arena que se ocupa es la arena de Ottawa que pasa el tamiz #20 y se queda en el tamiz #30 [22].

**Figura 4:** Cono y Arena



Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das.

#### 1.1.3.6.2. Gravedad Específica

Este ensayo ayuda a determinar y conocer la gravedad específica de los sólidos del suelo. La función de este ensayo es de utilizar la gravedad específica para realizar los cálculos sobre la relación de vacíos y el grado de saturación. El equipo a utilizar es un picnómetro de vidrio que posee forma cónica o cilíndrica [22], [23].

#### 1.1.3.6.3. Humedad Natural

Este ensayo es muy rutinario en los laboratorios porque ayuda a determinar la cantidad de agua en una muestra de suelo, todo esto en relación de su peso en seco. La cantidad de agua dependerá de las características y del sitio de donde se encuentra suelo.

También se puede definir el contenido de humedad como la relación que existe entre el peso de agua y el peso total de la muestra de suelo [22].

#### **1.1.3.6.4. Límite Líquido**

El límite líquido se lo define como el contenido de humedad del suelo, que se encuentra expresado mediante el peso del suelo seco y está ubicado entre el estado plástico y el estado líquido. Se utiliza la Copa Casagrande, donde se coloca una muestra con una amplitud en la mitad de  $\frac{1}{2}$ ", la misma se debe cerrar dando golpes por una cápsula de bronce.

Este ensayo se utiliza para conocer el tipo de suelo y estimar los asentamientos y las densidades [22].

**Figura 5:** Copa Casagrande



Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das.

#### **1.1.3.6.5. Límite Plástico**

El límite plástico es el contenido de humedad que se encuentra en el suelo entre el estado plástico y el estado semisólido. Para conocer el límite plástico se debe realizar rollitos o barritas cilíndricas con un diámetro de 3mm aproximadamente.

Para obtener el índice de plasticidad se realiza la diferencia entre los valores del límite líquido y plástico. Si el valor del índice plástico es bajo se llega a la conclusión que el suelo es muy sensible a los diferentes cambios de humedad [22].

#### **1.1.3.6.6. Granulometría**

Para realizar la clasificación de suelos en ingeniería se utiliza un análisis granulométrico. Este tipo de análisis posee una buena aceptabilidad para la construcción de carreteras, aeropistas, presas, diques y terraplenes [22].

El análisis granulométrico nos ayuda a dividir o a separar las partículas según el tamaño del agregado, gracias a un procedimiento que puede ser manual o mecánico. Para separar las partículas se utilizan mallas que poseen aberturas específicas, con el fin de obtener una buena división por tamaño del agregado. En el laboratorio se pesa todas las muestras que se quedaron retenidas en los tamices, para determinar el coeficiente de uniformidad y curvatura, como también para realizar la curva granulométrica [24].

**Figura 6:** Conjunto de tamices



Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das.

#### **1.1.3.6.7. Proctor Modificado**

Este ensayo tiene la función de desarrollar la curva de compactación cuando se aplica una determinada energía, este proceso se lo realiza compactando el suelo para

disminuir la relación de vacíos y agrupar las partículas. En el eje de las abscisas de la curva se encuentra el contenido de humedad y en el eje de las ordenas se encuentra la densidad seca. Al realizar la curva de compactación se obtendrá el valor de la humedad óptima que corresponde al valor de la densidad máxima [25].

**Figura 7:** Equipo para realizar la compactación



Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das.

#### **1.1.3.6.8. Relación de Soporte California CBR**

Este ensayo tiene como función principal clasificar al suelo según su capacidad y así conocer si el material puede ser utilizado como una base o subbase. Para realizar este ensayo de CBR se debe utilizar materiales cuyo diámetro máximo de partículas es de  $\frac{3}{4}$ .

Para realizar un diseño de pavimentos o para planificar cualquier tipo de obra de infraestructura vial, el método de CBR es muy importante para ejecutar una buena evaluación de la resistencia potencial de los materiales que van hacer utilizados como base y subbase de las estructuras viales; además brinda información sobre la expansión de suelos bajo la estructura del pavimento [18]. En la tabla 8 se muestra la clasificación de suelos según el valor del CBR.

**Tabla 8:** Clasificación de suelos según el valor de CBR.

N° CBR	Clasificación General	Usos	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN	
			Unificado	AASHTO
0 - 3	Muy Pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3 - 7	Pobre a regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A8
7 - 20	Regular	Subbase	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20 - 50	Bueno	Base, subbase	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3, A2-6
>50	Excelente	Base	GW, GM	A1a, A2-4, A3

Fuente: Manual de laboratorio de suelos, Joseph Bowles.

### 1.1.3.7. Estabilización del suelo

A la estabilización de suelos se la define como un tratamiento con diferentes procedimientos o mezclas de diferentes materiales que ayuda al mejoramiento de las propiedades físicas-mecánicas del suelo. Este tipo de mejoramiento se lo realiza para disminuir los espesores de las capas de subbase y base.

A la estabilización de suelos se la puede indicar como: un proceso mediante el cual se quiere modificar o cambiar un suelo o también un agregado procesado, para mejorar principalmente su comportamiento como material importante de la estructura de un pavimento. Este proceso tiene como objetivo primordial el de aumentar la capacidad portante del suelo, pero también tiene la función de que el material pueda alcanzar una alta rigidez y, en consecuencia, tenga una gran capacidad para absorber esfuerzos de tracción [1].

Existen diferentes métodos físicos, químicos o mecánicos según la Tabla 9, para estabilizar el suelo ya sea in situ o en rellenos artificiales, los cuales ayudan a mejorar las características iniciales. El tipo de tratamiento dependerá de las propiedades que se requiera mejorar.

El suelo es el protagonista que requiere de mucha atención en el campo de la Ingeniería Civil. En las obras, el ingeniero se puede encontrar con diferentes tipos de suelo con características buenas y malas, que le obligarían a tomar algunas decisiones.

- Si el suelo es bueno, el ingeniero utilizaría el mismo para la implantación de la obra.
- Si el suelo es de baja calidad, el ingeniero puede cambiar el suelo por otro de mejores características.
- El ingeniero también puede alterar mediante la estabilización las propiedades del suelo [26].

**Tabla 9:** Tipos de estabilización de suelos

<b>TIPOS DE SUELOS</b>	<b>MÉTODOS MÁS EFECTIVOS DE ESTABILIZACIÓN</b>
Suelos granulares gruesos	Estabilización mecánica, estabilización con asfalto, suelo cemento, cal-ceniza volante
Suelos granulares finos	Estabilización mecánica, estabilización con asfalto, suelo cemento, cal-ceniza volante, cloruros
Arcillas de baja plasticidad	Estabilización con cemento, estabilización con cal, impermeabilizantes químicos
Arcillas de alta plasticidad	Estabilización con cal

Fuente: MOP Ministerio de obras públicas

#### **1.1.3.7.1. Métodos Físicos**

Este tipo de estabilización emplea mezclas para cambiar las propiedades físicas del suelo, existen diferentes procesos.

##### **1.1.3.7.1.1. Geotextiles**

Los geotextiles se utilizan como filtros que ayudan a controlar la erosión del suelo, debido a que estos materiales son telas semipermeables no biodegradables y que tienen diferentes funciones, por ejemplo.

- Controlar la erosión.
- Mejorar y reforzar la masa de suelo.
- Mejorar el drenaje [26], [27].

##### **1.1.3.7.1.2. Mezcla de suelos**

Este proceso es muy básico porque mezcla dos o más tipos de suelos que poseen propiedades diferentes, de tal manera forman un material con propiedades de mejor calidad. La plasticidad del suelo y la granulometría son las propiedades que principalmente se quieren mejorar en un suelo. Para mejorar la eficiencia de esta técnica y obtener valores adecuados, este proceso va acompañado con la compactación [26].

#### **1.1.3.7.2. Métodos Mecánicos**

Con este tipo de método se ayuda a mejorar el suelo de una manera considerable, sin que se originen reacciones químicas, utilizando de equipos mecánicos para modificar las propiedades iniciales del suelo [26], [27].

##### **1.1.3.7.2.1. Compactación**

Este método ayuda a mejorar las propiedades mecánicas del suelo y su función principal es de aumentar la resistencia, de igual manera se incrementará el valor de la capacidad de carga. Para realizar el proceso de compactación se utiliza rodillos de diferentes tipos, por ejemplo: rodillos de ruedas lisas, rodillos de neumáticos de goma,

rodillos vibratorios, entre otros. Para la densificación de los suelos granulares, los rodillos vibratorios son los más utilizados [14].

**Figura 8:** Rodillo con neumático de caucho

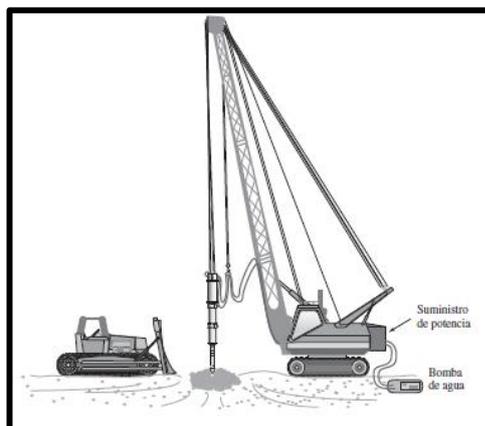


Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das.

#### 1.1.3.7.2.2. Vibro-Flotación

Esta técnica densifica capas de suelos granulares sueltos in situ. El método fue desarrollado en el año de 1930 en Alemania, pero se utilizó por primera vez en Estados Unidos en el año de 1940. La técnica consiste en utilizar un Vibroflot, que es un equipo de 2.1 metros de largo. Este equipo produce una fuerza centrífuga porque posee un peso excéntrico en su interior, lo cual genera vibración de forma horizontal. Está conformada por tuberías en la parte superior e inferior por donde se inyectará chorros de agua que ayudarían en la compactación del suelo [14].

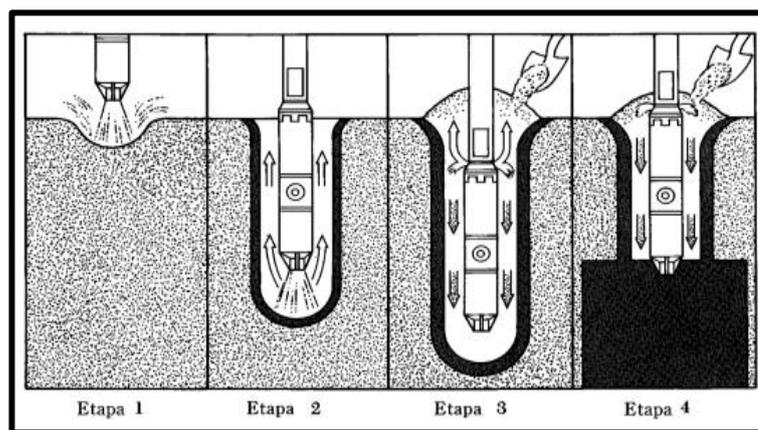
**Figura 9:** Unidad de Vibro-Flotación



Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das.

El método de Vibro-Flotación se divide en cuatro etapas: en la etapa 1 un chorro de agua sale hacia el suelo de la parte inferior del Vibroflot, en la etapa 2 la unidad vibratoria se hunde en el suelo, en la etapa 3 se vierte material granular, donde el chorro de agua sale por la parte superior de la unidad empujando el material hacia el agujero y en la etapa 4 se eleva unos 30 cm la unidad y comienza a vibrar por 30 segundos en cada levantamiento con la finalidad de compactar bien los suelos. En la figura se muestra de mejor manera el proceso.

**Figura 10:** Etapas de vibro-flotación



Fuente: Principios de Ingeniería de Cimentaciones, Braja M. Das.

### 1.1.3.7.2.3. Blasting

Esta técnica también se la conoce como voladura y se ha utilizado para la compactación de los suelos granulares. Este proceso consiste en la detonación de cargas explosivas, que serán colocadas a cierta profundidad del suelo. Generalmente las cargas se encuentran a una profundidad de alrededor de  $2/3$  del espesor de la capa de suelo y están separadas a una distancia de 3 a 10 metros. Para obtener como resultado una buena compactación se realiza entre 3 a 5 detonaciones [14].

### 1.1.3.7.3. Métodos Químicos

Los métodos químicos utilizan aditivos para el mejoramiento de los suelos. La función principal es de mejorar la manejabilidad del suelo, para que sea más fácil su utilización en la construcción. Los aditivos químicos empleados ayudan a reducir la expansión-contracción y también la plasticidad. Existen aditivos para cualquier tipo de suelo según la Tabla 10.

**Tabla 10:** Aditivos recomendados para estabilización de suelos

Area	Suelo	Aditivo recomendado	Restricciones en LL ó IP del suelo	Restricciones del % pasa tamiz 200	Observaciones
1A	SW, SP	asfalto cemento cal-cemento-ceniza	IP <= 25		
1B	SW-SM ó SP-SM ó SW-SC ó SP-SC	Asfalto	IP <= 10		
		Cemento	IP <= 30		
		Cal	IP >= 12		La cal sola no suele conducir a estabilizaciones aptas para capas de base (1)
		cal-cemento-ceniza	IP <= 25		
1C	SM, SC, SM SC	Asfalto	IP <= 10	<= 30%	
		Cemento	IP <= 20 + (50 - PASA200) / 4		
		Cal	IP >= 12		Ver (1)
		cal-cemento-ceniza	IP <= 25		
2A	GW, GP	Asfalto			Solo material bien gradado (2)
		Cemento			El material debe tener 45% o más pasa No. 4 (3)
		cal-cemento-ceniza	IP <= 25		
2B	GW-GM ó GP-GM ó GW-GC ó GP - GC	Asfalto	IP <= 10		Ver (2)
		Cemento			Ver (3)
		Cal	IP >= 12		Ver (1)
		cal-cemento-ceniza	IP <= 25		
2C	GM, GC GM - GC	Asfalto	IP <= 10	<= 30%	Ver (2)
		Cemento	IP <= 20 + (50 - PASA200) / 4		Ver (3)
		Cal	IP >= 12		Ver (1)
		cal-cemento-ceniza	IP <= 25		
3	CH, CL, MH, ML CL - ML CH - MH OL - OH	Cemento	LL < 40, IP < 20		Suelos orgánicos y muy ácidos no son estabilizables por medios convencionales
		Cal	IP >= 12		Ver (1)

Fuente: UPS Universidad Politécnica Salesiana.

### 1.1.3.7.3.1. Estabilización con cal

Es un tipo de estabilización muy utilizado en el mundo, en las 3 últimas décadas ha existido un gran avance en las aplicaciones y técnicas constructivas en la estabilización de suelos con cal. Los tipos de cal más utilizados para estabilizar los suelos granulares finos son la cal hidratada y la cal viva.

Existe un intervalo entre el 5 al 10% de cantidad de cal que se utilizará para la estabilización de suelo, pero este valor dependerá de muchos factores, por ejemplo: el tipo de suelo que se quiere estabilizar, el grado requerido de estabilización y el diseño del pavimento. Para estabilizar el suelo con cal existen tres métodos.

- Mezcla en sitio.
- Mezcla en planta.
- Inyección a presión.

Al emplear cualquier método de estabilización con cal se debe seguir el siguiente proceso.

- Preparar el suelo.
- Esparcir la cal.
- Mezclar y adicionar agua.
- Compactar.
- Curado

Las ventajas que presentan los suelos finos cuando se mezcla con cal son la disminución de su plasticidad, el mejoramiento de su trabajabilidad y la reducción de su susceptibilidad a los cambios de volumen [28].

#### **1.1.3.7.3.2. Estabilización con cemento**

El cemento es el material que más se utiliza en la estabilización de suelos, principalmente en las construcciones de carreteras y presas de tierra. La primera estabilización de suelo con cemento se dio en el año 1935 en Estados Unidos.

Este tipo de estabilización consiste en colocar cemento en un suelo pulverizado, con el objetivo de obtener un endurecimiento gracias a la hidratación del cemento. La mayoría de suelos pueden ser estabilizados con cemento, pero las arenas y las arcillas que tienen un límite líquido menor a 45 y también un índice de plasticidad menor a 25 tienen una mayor eficiencia [14].

El proceso de la mezcla suelo-cemento se hace muy difícil cuando se tiene un índice de plasticidad mayor al 30%. Cuando se quiere estabilizar suelos de muy alta plasticidad se debe seguir el siguiente proceso. Primero se debe colocar cal en suelo para reducir la plasticidad y mejorar la trabajabilidad y después de eso toca mezclar con cemento. La cantidad de cemento por volumen para una buena estabilización según el tipo de suelo se explica en la Tabla 11.

**Tabla 11:** Requerimiento de cemento para una estabilización efectiva

Suelo bajo el sistema unificado de clasificación	Porcentaje de cemento por volumen
GP, SP, SW	6–10
CL, ML, MH	8–12
CL, CH	10–14

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das.

El contenido de cemento, el tiempo y algunas condiciones de curado son algunos factores que pueden modificar las propiedades de los suelos estabilizados. Por eso se puede decir que si se aumenta el contenido de cemento se tiene como resultado valores de densidades y resistencias mayores.

Para la estabilización con cemento existen equipos desde muy simples hasta sofisticados, por ejemplo, las plantas mezcladoras. Al utilizar cualquier equipo se debe seguir el siguiente proceso.

- Escarificación y pulverización
- Mezclado
- Adición de agua
- Compactación
- Compactación final [28].

#### **1.1.3.7.3.3. Estabilización con asfalto**

Este tipo de estabilización utiliza productos bituminosos, los cuales son los asfaltos líquidos, las emulsiones y también el alquitrán. Esta técnica tiene como función principal impermeabilizar los suelos de subrasante y mejorar las propiedades para disminuir el espesor las capas superiores [2].

El asfalto se añade a las partículas del suelo ayudando en su impermeabilización, cabe recalcar que el asfalto y el suelo no reaccionan químicamente. Cuando se estabiliza suelos finos que son susceptibles al agua, el asfalto mejora algunas propiedades mecánicas que son:

- Resistencia al corte
- Módulo elástico
- Compresión
- Flexión
- Tensión.

Existe una mayor experiencia al realizar estabilizaciones en suelos arenosos con asfalto, por eso han llegado a la conclusión de que las arenas y las gravas arenosas son las que tienen un mejor resultado al mezclarse con asfalto.

Existen dos métodos para realizar este tipo de estabilización.

- Mezclados en planta, que puede ser en frío o caliente y se utiliza los cementos asfálticos.
- Mezclados en situ, donde se utiliza los asfaltos cortados y las emulsiones [28].

#### **1.1.3.7.3.4. Estabilización con cenizas volantes**

Las cenizas volantes se producen gracias a la combustión de carbón pulverizado. Este material se define como un polvo fino granulado que está compuesto por sílice, alúmina y diversos óxidos y álcalis.

La ceniza volante se caracteriza por ser puzolánica en la naturaleza y que también tiene la facilidad de reaccionar con cal hidratada para generar algunos productos cementosos.

Las mezclas entre cal y cenizas volantes son muy utilizadas para estabilizar suelos, principalmente se emplea en bases y subbases de carreteras. Para obtener una buena estabilización se prepara la mezcla con un valor del 10 al 35% de ceniza volante más un valor del 2 al 10% de cal. Estas mezclas deben ser compactadas en condiciones controladas, con una humedad adecuada.

En Estados Unidos existe un tipo de ceniza volante que contiene alrededor de un 25% de cal libre, por eso al adicionar agua a la mezcla se da una reacción formando un producto cementoso de Tipo C. Debido a la utilización de esta mezcla se puede eliminar la necesidad de incorporar cal fabricada [14].

### 1.1.3.8. Arroz

El arroz es uno de los cultivos más consumidos en el mundo desde hace más de 10000 años. Este producto en los países asiáticos es la base de la alimentación y a nivel mundial es el segundo producto más utilizado en la alimentación después del trigo. El arroz puede ser cultivado en cualquier parte del mundo por ejemplo en Nepal se cultiva a 3000m de altitud y en otros países se cultiva a nivel del mar.

En el continente asiático se produce más del 90% del arroz del mundo, solo en la China y en la India se concentra más del 50%. Según investigaciones se sabe que la producción anual de arroz es de 497.7 millones de toneladas en el mundo y que solo 37.4 millones de toneladas se comercializan [29]. En la Tabla 12 se muestra los principales países productores y exportadores de arroz.

**Tabla 12:** Principales países productores y exportadores de arroz

Principales países productores	%	Principales países exportadores	%
China	32	Tailandia	36
India	22	Vietnam	18
Indonesia	8	India	18
Vietnam	5	EEUU	12
Bangladesh	6	Pakistán	10
Tailandia	4	China	12
Myanmar	4		
Filipinas	2		
Japón	2		
Brasil	2		
EEUU	2		
Pakistán	1		
Resto	11		

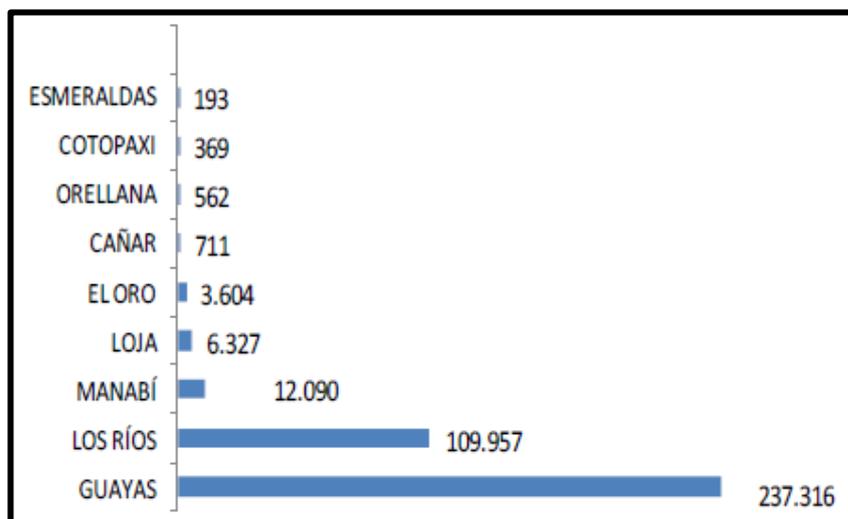
Fuente: USDA

En el Ecuador entre el año 2005 y 2012 el área de cosecha ha variado, donde la tasa de crecimiento tuvo un valor de -1.00%, pero en el año 2012 hubo un crecimiento de 12.49%.

Principalmente en la Región Costa se da el cultivo de arroz, donde las provincias del Guayas y Los Ríos sumaron un valor de 93.56% de la superficie total cosechada. Guayas es la provincia que más se dedica en cultivar este producto, donde la superficie cosechada es del 63.94% y su producción es de 65.78% de las toneladas métricas del

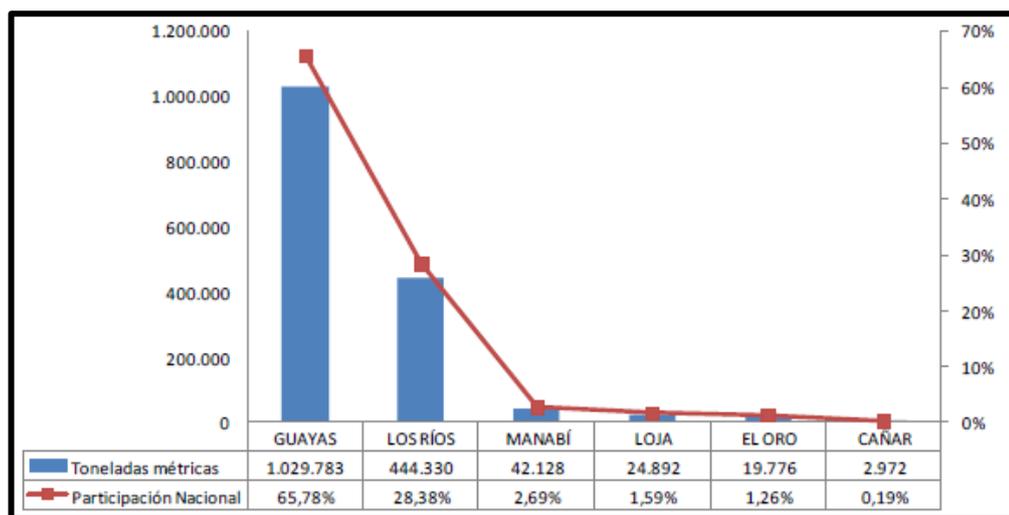
arroz. En cambio, Los Ríos es la segunda provincia donde se concentra el 29.62% de la superficie cosechada y su producción es de 28.38% [30].

**Figura 11: Superficie cosechada**



Fuente: INEC, Unidad de Estadística Agropecuarias.

**Figura 12: Producción**



Fuente: INEC, Unidad de Estadística Agropecuarias.

#### 1.1.3.8.1. Cáscara de arroz

La cascarilla o cáscara de arroz es un tejido vegetal que presenta un buen rendimiento como un producto combustible, porque se encuentra constituido por Celulosa y Sílice.

La cáscara tiene una consistencia quebradiza y su densidad es baja, debido a esto al momento de apilarse ocupa mucho espacio. También el valor del peso específico es de

125 kg/cm<sup>3</sup>. Según la Tabla 13 nos muestra la composición química de la cáscara de arroz [31].

**Tabla 13:** Composición Química de la Cáscara de Arroz

<b>CASCARILLA DE ARROZ</b>	
<b>COMPONENTE</b>	<b>%</b>
Carbono	39.1
Hidrógeno	5.2
Nitrógeno	0.6
Oxígeno	37.2
Azufre	0.1
Cenizas	17.8
<b>Total</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: Una alternativa de aprovechamiento integral, Abelardo Prada & Caroll Cortés.

#### **1.1.3.8.2. Ceniza de la cáscara de arroz**

La cáscara de arroz es un desecho agrícola, la misma representa el 20% de la producción total del arroz en el mudo. La cáscara del arroz por el año de 1970 era quemada de manera anti técnica, es decir de forma no controlada debido a esto, las cenizas producidas tenían un mínimo porcentaje de puzolanas. Al pasar los años la combustión de la cáscara fue cambiando y con la implementación de los hornos industriales se obtuvo un 90% a 95% de sílice.

La ceniza de cáscara de arroz después de ser calcinadas a temperaturas entre 500 y 700°C presenta diferentes propiedades minerales donde el componente con mayor porcentaje es el sílice según la Tabla 14 [9].

**Tabla 14:** Composición Mineral de la Ceniza de Cáscara de arroz.

COMPONENTE	%	COMPONENTE	%
SiO <sub>2</sub>	91.39	S	0.14
K <sub>2</sub> O	2.17	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.79
CaO	0.39	Na <sub>2</sub> O	0.05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.13	Zn	0.02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.37	Cl	0.04
MgO	0.33	Cr	0.01
MnO	0.17	H <sub>2</sub> O	4.00

Fuente: Universidad del Valle, Colombia.

La ceniza de cáscara de arroz que es producida bajo condiciones no satisfactorias va a presentar niveles altos de carbono, esto puede comprometer su actividad puzolánica, pero para mejorar y reducir el contenido de carbón se puede realizar un molido ultra fino.

Según la ASTM C 618-08 indica que el 70% de las puzolanas debe estar compuestos por SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, en este caso cuando se realice a una temperatura de 500°C se obtiene un 88,54% de esta composición [32].

#### **1.1.4. Hipótesis**

Existe algún efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante.

### **1.2. Objetivos**

#### **1.2.1. Objetivo General**

Analizar el efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante.

#### **1.2.2. Objetivos Específicos**

**1.2.2.1.** Realizar la extracción de muestras alteradas de tres lugares distintos del cantón Puyo.

**1.2.2.2.** Determinar las propiedades físico-mecánicas de los suelos finos con adición de cenizas de cáscara de arroz mediante ensayos de laboratorio como; Humedad natural, Densidad de Campo, Gravedad específica, Límites de Atterberg, Granulometría, Proctor modificado y Relación de Soporte California CBR.

**1.2.2.3.** Analizar todos los valores obtenidos de la capacidad de soporte (CBR) de las muestras adicionadas con diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de arroz (0%, 1%, 3%, 5%, 8%).

**1.2.2.4.** Analizar la estructura de un pavimento flexible en suelo de subrasante con adición de cenizas de cáscara de arroz y sin adición.

## CAPÍTULO 2

### 2. METODOLOGÍA

#### 2.1. Materiales y Equipos

**Tabla 15:** Materiales y Equipos

ENSAYO	EQUIPO	MATERIALES	NORMA
Pozo a Cielo Abierto	Pala Barra Flexómetro Protección personal	Muestra in-situ	AASHTO T87-04
Densidad de campo (Método del cono y Arena de Ottawa)	Aparato de Cono y Arena Placa metálica Cinzel Cuchara Balanza Martillo Fundas plásticas Brocha	Muestra in-situ	AASHTO T191-14 ASTM D1556-07
Contenido de Humedad	Recipiente para humedad Horno	Muestra de suelo, 200g aproximadamente.	AASHTO T265-15 ASTM D2216-10
Gravedad específica de los sólidos de un suelo	Tamiz # 4 Picnómetro de 500ml Termómetro graduado de 0 a 100 °C Embudo Recipientes metálicos Pipeta Máquina de baño María Franela Balanza Horno Espátula	Muestra de suelo aproximadamente 50 g que pasa el tamiz #4.  Agua destilada	AASHTO T100-15 ASTM D854-14
Granulometría	Tamizadora Tamiz #4, #8, #10, #16, #30, #40, #60, #100, #200 y fuente Espátula Brocha Recipientes metálicos Horno Balanza	Muestra cuarteada entre 200 a 1000g	AASHTO T88-20 ASTM D422-07

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 16: Materiales y Equipos**

ENSAYO	EQUIPO	MATERIALES	NORMA
Límite Líquido (Copa de Casagrande)	Aparato Copa Casagrande Acanalador o ranurador Espátula Brocha Mortero de porcelana Pistillo con recubrimiento de caucho Tamiz #40 Recipientes para humedad Balanza Horno	Muestra de suelo aproximadamente 150 g que pasa el tamiz #40.  Agua	AASHTO T89-13 ASTM D4318-17
Límite Plástico	Placa de Vidrio templado Espátula Brocha Mortero de porcelana Pistillo con recubrimiento de caucho Tamiz #40 Recipientes para humedad Balanza Horno	Muestra de suelo aproximadamente 150 g que pasa el tamiz #40.  Agua	AASHTO T90-20 ASTM D4318-17
Proctor Modificado	Molde Ø 6'', base y collarín Martillo de compactación de 4.5 kg Probeta graduada de 1000ml Palustre Regleta metálica Bandeja metálica Balanza Calibrador Pie de Rey Brocha Recipientes para humedad Horno	Muestra de suelo aproximadamente 24 kg que pase el tamiz #4.  Agua  Cenizas de cáscara de arroz	AASHTO T180-20 ASTM D1557-12
Relación de Soporte California (CBR)	Máquina de Compresión Molde Ø 6'', base y collarín Martillo de compactación de 4.5 kg Probeta graduada de 1000ml Palustre Regleta metálica Bandeja metálica Balanza Calibrador Pie de Rey Brocha Recipientes para humedad Horno	Muestra de suelo aproximadamente 18 kg que pase el tamiz #4  Agua  Cenizas de cáscara de arroz	AASHTO T193-13 ASTM D1883-16

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Figura 13:** Pozo a Cielo Abierto



Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Figura 14:** Densidad de Campo (Cono y Arena de Ottawa)



Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Figura 15:** Contenido de Humedad



Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Figura 16:** Gravedad Específica de Sólidos



Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Figura 17:** Calibración del Picnómetro



Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Figura 18:** Granulometría



Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Figura 19:** Límite Líquido (Copa Casagrande)



Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Figura 20:** Límite Plástico



Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Figura 21: Proctor Modificado**



**Fuente:** Ronnie Steven Andaluz López

**Figura 22: Relación de Soporte California (CBR)**



**Fuente:** Ronnie Steven Andaluz López

## **2.2. Métodos**

El presente trabajo de titulación corresponde a una investigación experimental, compuesta por varios niveles explicados a continuación:

### **2.2.1. Nivel Exploratorio**

Para este trabajo de titulación se realizó un reconocimiento del cantón Puyo, que permitió la selección de tres lugares diferentes para realizar los ensayos de campo y obtener muestras de suelo para los ensayos de laboratorio, siendo estos lugares: Santa Isabel, Fátima y Veracruz.

Para desarrollar de manera correcta los ensayos de campo y laboratorio, se debe revisar libros, artículo y normas, que servirían de guía para obtener como resultados datos confiables.

### **2.2.2. Nivel Descriptivo**

Al final de los ensayos, los datos obtenidos de los tres sectores serán diferentes por el tipo de suelo, debido a esto los resultados deberán ser analizados, graficados e interpretados dependiendo del sector.

La ceniza de cáscara de arroz (CCA) será adicionada en diferentes porcentajes con relación al peso de la muestra de suelo, esta mezcla será utilizada para realizar los siguientes ensayos: Proctor Modificado y Relación de Soporte California (CBR).

### **2.2.3. Nivel Explicativo**

El trabajo de titulación consiste en una investigación experimental, donde se realizará ensayos de campo y laboratorio, los mismos están relacionados entre sí. Para conocer la clasificación o el tipo de suelo se desarrollará diferentes ensayos, los cuales son: Granulometría, Límites de Atterberg y Gravedad específica. También se realizará el ensayo Densidad de campo, Contenido de humedad y Proctor Modificado, con el fin de obtener el valor del Contenido de Humedad Óptimo y la Densidad Seca Máxima, valores que se utilizará para realizar CBR.

Los valores o resultados obtenidos después de realizar el ensayo de CBR serán utilizados para realizar el diseño de dos pavimentos flexibles, para el primer diseño se utilizará el suelo natural de subrasante y para el segundo se utilizará el suelo más la adición de Cenizas de cáscara de arroz de subrasante.

#### 2.2.4. Población

A la población se la definió como los suelos finos de diferentes sectores del cantón Puyo, provincia de Pastaza.

#### 2.2.5. Muestra

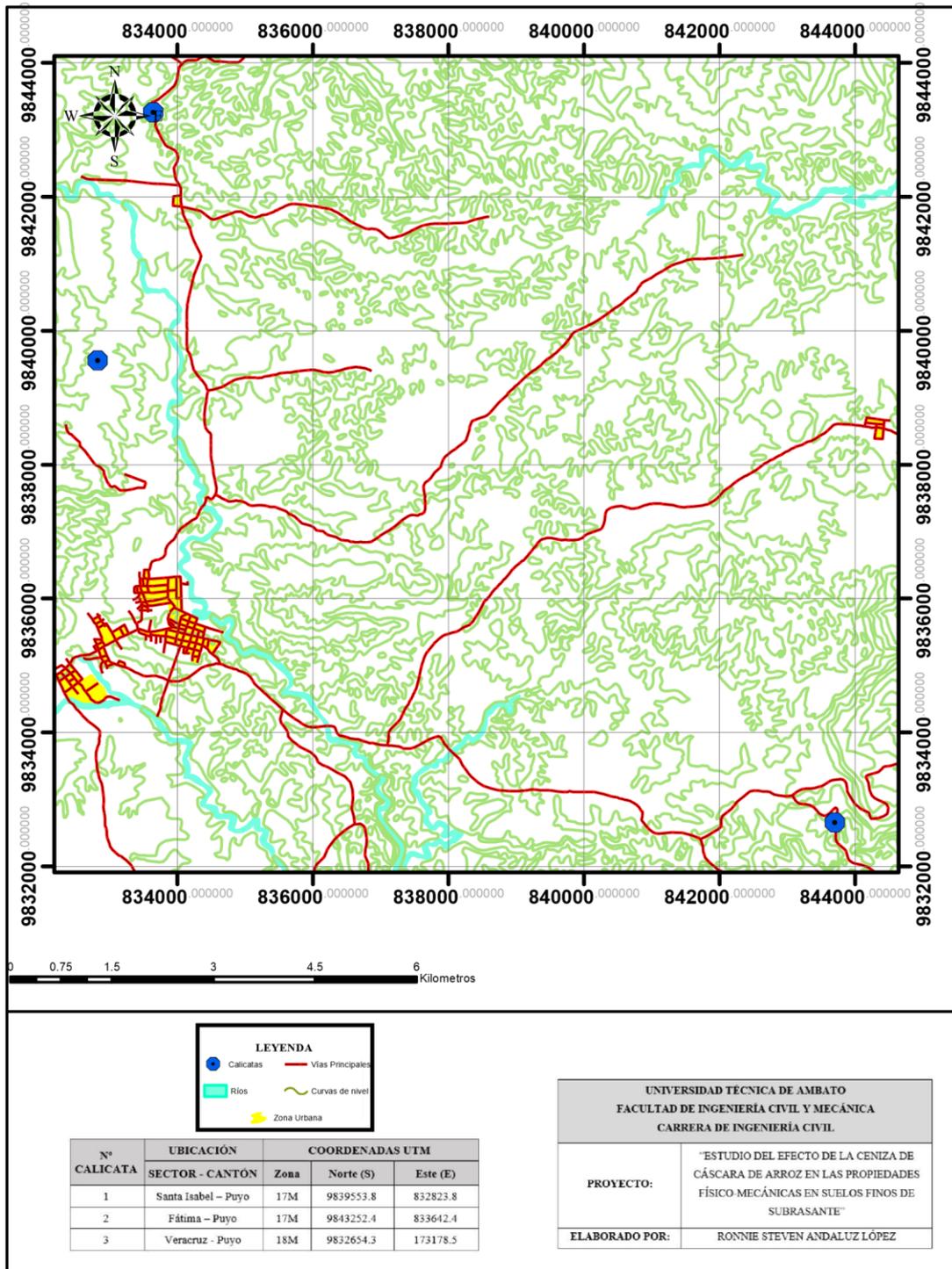
Para realizar los ensayos de laboratorios, se tomó muestras de tres calicatas de diferentes sectores del cantón Puyo, de cada calicata se tomó 5 muestras de 42kg de suelo, obteniendo un total de 15 muestras que serán utilizadas para todos los ensayos mencionados anteriormente, con el fin de estudiar las propiedades físico-mecánicas.

**Tabla 17:** Coordenadas UTM de calicatas

N° CALICATA	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM		
	SECTOR - CANTÓN	Zona	Norte (S)	Este (E)
1	Santa Isabel – Puyo	17M	9839553.8	832823.8
2	Fátima – Puyo	17M	9843252.4	833642.4
3	Veracruz - Puyo	18M	9832654.3	173178.5

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

Figura 23: Mapa de calicatas



Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

### **2.3. Plan de Recolección de Datos**

Para comenzar con el trabajo experimental primero se visitó y se recorrió el cantón Puyo para seleccionar tres lugares diferentes, en los cuales se estableció puntos exactos para realizar las calicatas y extraer muestras de tierra.

En cada punto seleccionado se realizó una calicata de 1.20m x 1.00m, a una profundidad de 60cm. Para realizar la calicata primero se limpió el área a trabajar, donde se retiró la capa vegetal y todos los desechos que se encontraron, continuando con la excavación. Al finalizar la excavación de la calicata, se procede a realizar el primer ensayo que corresponde a Densidad de Campo empleando el método del cono y arena según la norma AASHTO T191-2014. Para conocer el contenido de humedad in-situ, se recogen muestras inalteradas que serán llevadas al laboratorio.

De cada calicata se tomó 5 muestras de suelo de 42 kg para realizar los diferentes ensayos mencionados anteriormente. Estas muestras fueron colocadas en bandejas para su secado.

En laboratorio se procede a realizar el ensayo que corresponde al contenido de humedad según la norma AASHTO T265-2015. Después se desarrolla el ensayo de gravedad específica según la norma AASHTO T100-2015, donde también se realizó la calibración del picnómetro para obtener como resultado el peso del picnómetro más agua a una temperatura específica.

Para conocer el tipo de suelo se procede a desarrollar diferentes ensayos, el primero es el ensayo de granulometría efectuado según la norma AASHTO T88-20, donde se utilizó los siguientes tamices: #4, #8, #10, #16, #30, #40, #50, #60, #100, #200. Continuamos con el ensayo de Límite Líquido en el cual se ocupó la Copa de Casagrande, siguiendo la norma AASHTO T89-20 y por último el ensayo de Límite Plástico según la norma AASHTO T90-20, donde se utilizó el suelo que paso por el tamiz #40.

Para realizar los dos últimos ensayos se utiliza muestras modificadas, donde la ceniza de cáscara de arroz será adicionada con respecto al peso del suelo natural en diferentes porcentajes, los cuales son: 0%, 1%, 3%, 5% y 8%.

Al tener la mezcla del suelo más la ceniza de cáscara de arroz se realiza el ensayo del Proctor Modificado ocupando la norma AASHTO T180-20 y el ensayo de Relación de Soporte California (CBR) según la norma AASHTO T195-20.

Para obtener la ceniza de cáscara de arroz, primero se obtuvo la cáscara de arroz, la misma fue colocada en un recipiente metálico y fue sometido a fuego durante algunos minutos hasta obtener como resultado la ceniza.

## **2.4. Plan de Procesamiento y Análisis de Información**

### **2.4.1. Plan de Procesamiento**

- Análisis de las muestras de suelo de los tres sectores del cantón Puyo para conocer sus propiedades físico-mecánicas, gracias al desarrollo de ensayos de campo y laboratorio.
- Utilización de programas computacionales para tabular los datos conseguidos en cada ensayo.
- Elaboración de tablas y gráficos para una mejor interpretación de los resultados obtenidos.

### **2.4.2. Plan de análisis de la información**

- Clasificación del tipo de suelos de las tres muestras obtenidas en diferentes sectores del cantón Puyo.
- Encontrar el valor máximo de la densidad seca y el contenido de humedad óptimo de la muestra natural y de las muestras adicionadas cenizas de cáscara de arroz en diferentes porcentajes mencionado anteriormente, mediante el ensayo de Proctor Modificado.
- Evaluar los valores de CBR de la muestra natural y de las muestras alteradas con cenizas de cáscara de arroz, para seleccionar el valor de CBR más conveniente y así utilizar para el diseño del pavimento flexible.

- Diseño de dos pavimentos flexibles, el primer diseño se realizará con el valor obtenido gracias al ensayo de CBR con la muestra natural y el segundo diseño se ocupará el valor de CBR más conveniente de las muestras alteradas de los tres sectores.
- Analizar los especímenes de las capas de los dos pavimentos diseñados para concluir si la hipótesis propuesta es correcta o nula.
- Planteamiento de las conclusiones y recomendaciones.

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADO Y DISCUSIONES

#### 3.1. Análisis y discusión de los resultados

En este capítulo se presenta los resultados obtenidos al realizar los diferentes ensayos de campo y de laboratorio. Estos valores serán analizados mediante la utilización de tablas y gráficos, con el fin de conocer los efectos que puede producir la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas de los suelos finos de subrasante.

Los informes de los ensayos realizados en los diferentes lugares del cantón Puyo (Santa Isabel, Fátima, Veracruz), se encuentran en la parte de anexos de una manera más detallada.

Asimismo, con los resultados de CBR se realizará el diseño de dos estructuras de pavimento, donde el primer diseño ocupará el valor de CBR del suelo natural y el segundo diseño ocupará el valor de CBR del suelo más el porcentaje óptimo de ceniza de cáscara de arroz.

##### 3.1.1. Análisis de Propiedades Índice del Suelo

En la siguiente tabla se muestra las propiedades índices del suelo natural.

**Tabla 18:** Propiedades Índices del suelo

PROPIEDADES ÍNDICE						
UBICACIÓN	Humedad Natural	Gravedad Específica	Relación de vacíos	Porosidad	Grado de saturación del agua	Grado de saturación del aire
	(%)	(Gs)	(e)	n (%)	Gw (%)	Ga (%)
Santa Isabel – Puyo	121.51	2.69	3.30	76.73	95.90	4.10
Fátima – Puyo	170.55	2.73	4.67	82.38	98.42	1.58
Veracruz - Puyo	155.29	2.73	4.12	80.48	96.67	3.33

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

Según la tabla 18 se puede observar que el valor de la humedad natural en el sector de Fátima es de 170.55% y es superior en comparación a los valores del sector de Santa Isabel y de Veracruz, pero de igual manera los valores del contenido de humedad de los tres sectores son muy altos en comparación a los suelos de la región Sierra.

En los tres sectores se puede observar que el grado de saturación del agua es muy superior al grado de saturación del aire. Por ejemplo, en el sector de Fátima el grado de saturación del agua es de 98.42 % y el grado de saturación del aire es de 1.58%, por eso se puede decir que estos dos valores son inversamente proporcionales, porque mientras mayor sea el grado de saturación de agua, menor será el grado de saturación del aire.

El valor de la gravedad específica nos ayuda conocer el tipo de suelo que se está utilizando, en los tres sectores los valores se encuentran entre 2.69 a 2.73, dándonos a entender que corresponde a un suelo fino que puede ser limo o arcilla.

### 3.1.2. Análisis de Clasificación de Suelos

**Tabla 19:** Clasificación del Suelo

CLASIFICACIÓN DEL SUELO								
UBICACIÓN	LÍMITES DE ATTERBERG				GRANULOMETRÍA			
	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice Plástico	CLASIFICACIÓN	Grava	Arena	Limo - Arcilla	
	%	%	%		%	%	%	
Santa Isabel – Puyo	48.08	40.77	7.31	SUCS	ML	0	47.72	52.28
				AASHTO	A-5	2	45.72	52.28
Fátima – Puyo	47.98	23.61	24.37	SUCS	CL	0	43.80	56.20
				AASHTO	A-7-6	2	41.80	56.20
Veracruz – Puyo	44.99	17.74	27.25	SUCS	CL	0	49.59	50.48
				AASHTO	A-7-6	2	47.52	50.48

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

### **Clasificación según la norma AASHTO**

El suelo del sector de Santa Isabel corresponde a un suelo fino porque sus partículas pasan más del 35% por el tamiz #200 y según los valores de los Límites de Atterberg se encuentra en el grupo A-5, indicando que es un suelo limoso.

El suelo del sector de Fátima de igual manera corresponde a un suelo fino porque sus partículas pasan el 56.20% por el tamiz #200 y según los límites de Atterberg se encuentra en el subgrupo A-7-6, indicando que es un suelo arcilloso.

El suelo del sector de Veracruz se encuentra en el subgrupo A-7-6 de acuerdo a los valores obtenidos al realizar los ensayos de los límites de Atterberg y según el ensayo de granulometría se clasifica en un suelo fino, porque sus partículas pasan más del 35% por el tamiz #200, indicando que es un suelo arcilloso.

### **Clasificación del suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.**

Los suelos de los tres sectores según la granulometría corresponden a un suelo de grano fino, porque más del 50% de las partículas pasan por el tamiz #200.

De acuerdo la Carta de plasticidad de Casagrande los suelos de los tres sectores se clasifican de la siguiente manera: el suelo de Santa Isabel corresponde a limo de baja plasticidad (ML), el suelo de Fátima corresponde a arcilla de baja plasticidad (CL) y el suelo de Veracruz corresponde a arcilla de baja plasticidad (CL).

### 3.1.3. Análisis de Propiedades Mecánicas

**Tabla 20:** Propiedades Mecánicas del Suelo

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO										
UBICACIÓN	Densidad de Campo $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	N°	ADICIÓN CCA (%)	COMPACTACIÓN PROCTOR			RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA (CBR)			
				Densidad máxima $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	Humedad Óptima w (%)	Porcentaje de Compactación	Densidad seca 95%	CBR 1" (%)	CBR 2" (%)	CBR DISEÑO (%)
Santa Isabel – Puyo 17M, 832823.8 ; 9839553.8	0.615	1	0%	1.241	31.9	49.56%	1.179	7.80	6.60	7.80
		2	1%	1.234	32.5	49.84%	1.172	9.20	7.40	9.20
		3	3%	1.222	33.1	50.33%	1.161	10.20	9.00	10.20
		4	5%	1.219	34.7	50.45%	1.158	11.50	9.80	11.50
		5	8%	1.178	35.0	52.21%	1.119	12.10	10.00	12.10
Fátima – Puyo 17M, 833642.4 ; 9843252.4	0.478	1	0%	1.261	28.0	37.91%	1.198	8.60	7.50	8.60
		2	1%	1.251	28.4	38.21%	1.188	9.90	8.50	9.90
		3	3%	1.236	29.7	38.67%	1.174	12.10	10.00	12.10
		4	5%	1.198	31.5	39.90%	1.138	12.30	10.30	12.30
		5	8%	1.164	32.1	41.07%	1.106	13.20	11.80	13.20
Veracruz – Puyo 18M, 173178.5 ; 9832654.3	0.514	1	0%	1.236	32.5	41.59%	1.174	8.40	6.80	8.40
		2	1%	1.216	32.9	42.27%	1.155	9.00	7.40	9.00
		3	3%	1.183	33.5	43.45%	1.124	10.80	9.00	10.80
		4	5%	1.156	34.2	44.46%	1.098	11.80	9.40	11.80
		5	8%	1.137	35.0	45.21%	1.080	13.50	11.10	13.50

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

En esta tabla se muestra un resumen de todos los resultados obtenidos al realizar los ensayos de Proctor Modificado y los ensayos de Relación de Soporte California (CBR) de cada muestra de suelo.

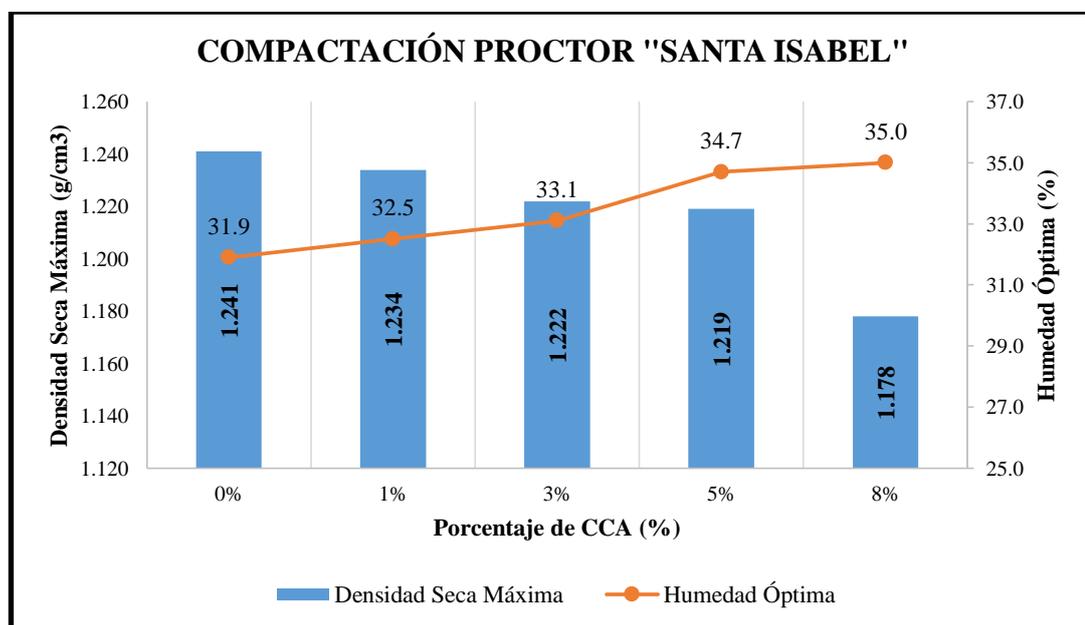
Para una mejor interpretación de los resultados obtenidos en cada ensayo, se realizará gráficos de cada sector.

### 3.1.3.1. Análisis de Proctor Modificado

#### a) Sector Santa Isabel

La gráfica interpreta los valores obtenidos al realizar el ensayo de Proctor Modificado y está formada por tres ejes: densidad seca máxima, humedad óptima y porcentaje de ceniza de cáscara de arroz.

**Figura 24:** Compactación Proctor “Santa Isabel”



Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

La gráfica muestra que el valor de la densidad seca máxima sufre un descenso al aumentar diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de arroz, evidenciando que mientras más porcentaje de ceniza de cáscara de arroz se utiliza, el valor de la densidad seca máxima será menor.

La densidad seca máxima de la muestra de suelo natural es de 1.241g/cm<sup>3</sup>, mientras que el valor del suelo natural más el 8% de ceniza de cáscara de arroz es de 1.178

g/cm<sup>3</sup>, dando a entender que al aumentar el 8% de ceniza se produce una disminución del 5.08% de la densidad seca máxima.

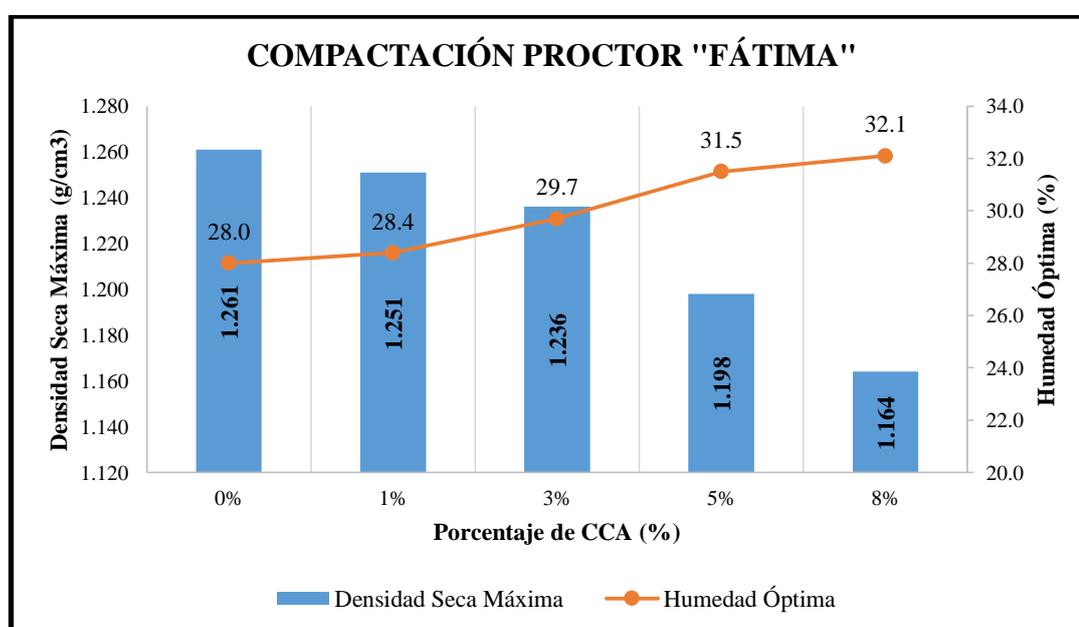
También se puede apreciar que al incorporar la ceniza de cáscara de arroz entre el 1% al 5%, existe una disminución normal del valor de la densidad seca máxima, pero al añadir entre el 5% al 8% se produce un descenso brusco del 3.30% del valor de la densidad seca máxima.

En cambio, el valor del contenido de humedad natural sufre un aumento cuando se adiciona la ceniza de cáscara de arroz. El contenido de humedad de la muestra de suelo natural es de 31.9%, mientras que al añadir el 8% de ceniza de cáscara de arroz el valor del contenido de humedad aumenta al 35%, es decir que se produce un aumento del 3.1% con respecto a la muestra del suelo natural.

#### b) Sector Fátima

La gráfica interpreta los valores obtenidos al realizar el ensayo de Proctor Modificado de la muestra del sector de Fátima y está formada por tres ejes: densidad seca máxima, humedad óptima y porcentaje de ceniza de cáscara de arroz.

**Figura 25:** Compactación Proctor “Fátima”



Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

La gráfica indica que al aumentar diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de arroz el valor de la densidad seca máxima sufre un descenso, evidenciando que estos dos valores son inversamente proporcionales, es decir, mientras más porcentaje de ceniza de cáscara de arroz se utiliza, menor será el valor de la densidad seca máxima.

El valor de la densidad seca máxima del suelo natural es de  $1.261\text{g/cm}^3$ , mientras que del suelo natural más el 8% de ceniza de cáscara de arroz es de  $1.164\text{ g/cm}^3$ , dando a entender que al aumentar el 8% de ceniza se produce una disminución del 7.69% de la densidad seca máxima.

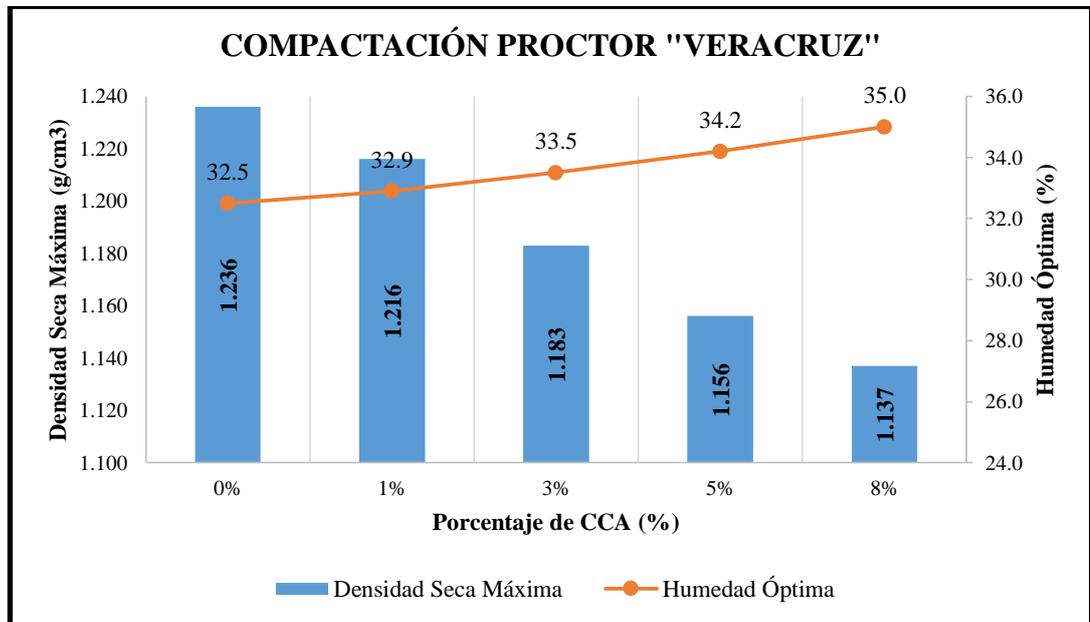
También se puede apreciar que al añadir entre el 3% al 8% se produce un descenso brusco del 5.71% del valor de la densidad seca máxima, mientras que al incorporar entre el 1% al 3% de ceniza de cáscara de arroz existe una disminución normal del valor de la densidad seca máxima.

El valor del contenido de humedad natural también sufre un aumento cuando se adiciona la ceniza de cáscara de arroz. El contenido de humedad de la muestra de suelo natural es de 28%, mientras que al añadir el 8% de ceniza de cáscara de arroz el valor del contenido de humedad aumenta al 32.1%, es decir que se produce un aumento del 4.1%.

### **c) Sector Veracruz**

La gráfica interpreta los valores obtenidos al realizar el ensayo de Proctor Modificado de la muestra del sector de Veracruz y está formada por tres ejes: densidad seca máxima, humedad óptima y porcentaje de ceniza de cáscara de arroz.

**Figura 26:** Compactación Proctor "Veracruz"



Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

La gráfica muestra que el valor de la densidad seca máxima sufre un descenso al aumentar diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de arroz, evidenciando que mientras más porcentaje de ceniza de cáscara de arroz se utiliza, el valor de la densidad seca máxima será menor.

La densidad seca máxima de la muestra de suelo natural es de  $1.236\text{g/cm}^3$ , mientras que el valor del suelo natural más el 8% de ceniza de cáscara de arroz es de  $1.137\text{g/cm}^3$ , dando a entender que al aumentar el 8% de ceniza se produce una disminución del 8.01% de la densidad seca máxima.

También se puede apreciar que al incorporar entre el 1% al 3% de ceniza de cáscara de arroz existe una disminución normal del valor de la densidad seca máxima, pero al añadir entre el 3% al 8% se produce un descenso brusco del 4.29% del valor de la densidad seca máxima.

Por otra parte, se puede apreciar que el valor del contenido de humedad natural sufre un aumento cuando se adiciona la ceniza de cáscara de arroz. El contenido de humedad de la muestra de suelo natural es de 32.5%, mientras que al añadir el 8% de ceniza de

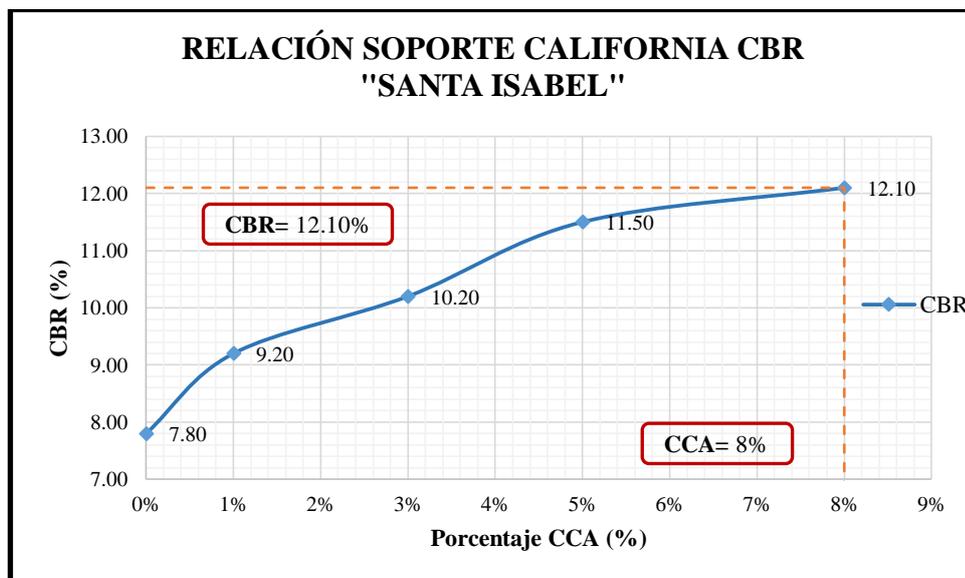
cáscara de arroz el valor del contenido de humedad aumenta al 35%, es decir que se produce un aumento del 2.5%.

### 3.1.3.2. Análisis de CBR

#### a) Sector Santa Isabel

La gráfica plasma los resultados del ensayo Relación Soporte California "CBR" del sector de Santa Isabel y está formada por dos ejes: Valor de CBR y porcentaje de ceniza de cáscara de arroz.

**Figura 27:** CBR "Santa Isabel"



Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

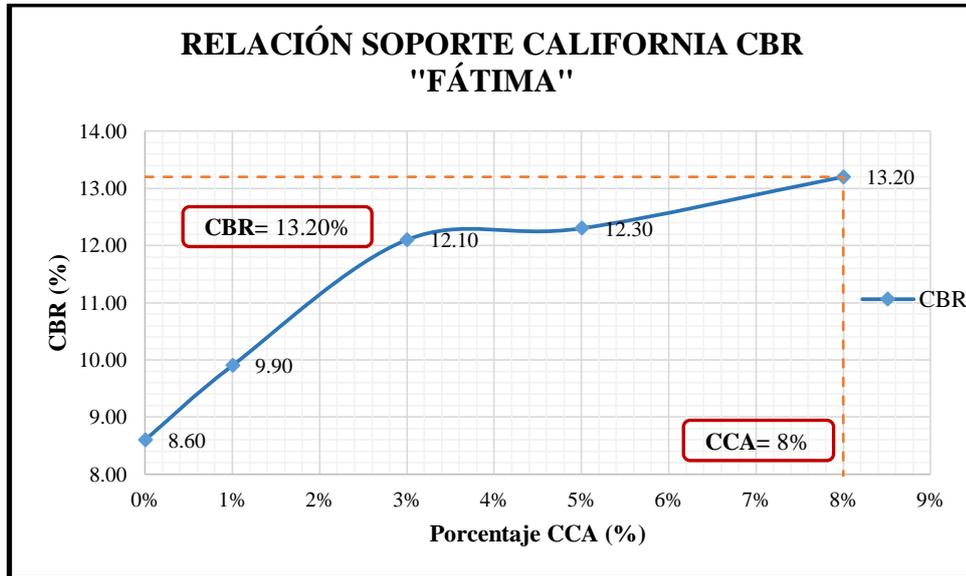
La gráfica muestra que el valor de CBR sufre un ascenso cuando se aumenta el porcentaje de ceniza de cáscara de arroz, demostrando que mientras el rango de aumento del porcentaje de ceniza de cáscara de arroz sea del 0% al 8%, el valor del CBR será mayor.

El valor de CBR de la muestra de suelo natural es de 7.8% y el valor de CBR de la muestra de suelo más el 8% de ceniza de cáscara de arroz es de 12.10%, mostrando un aumento del 4.30%. El suelo se lo clasifica como regular para Subbase según Bowles, por tener un valor de CBR óptimo de 12.10%.

**b) Sector Fátima**

La gráfica plasma los resultados del ensayo Relación Soporte California “CBR” del sector de Fátima y está formada por dos ejes: Valor de CBR y porcentaje de ceniza de cáscara de arroz.

**Figura 28:** CBR “Fátima”



Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

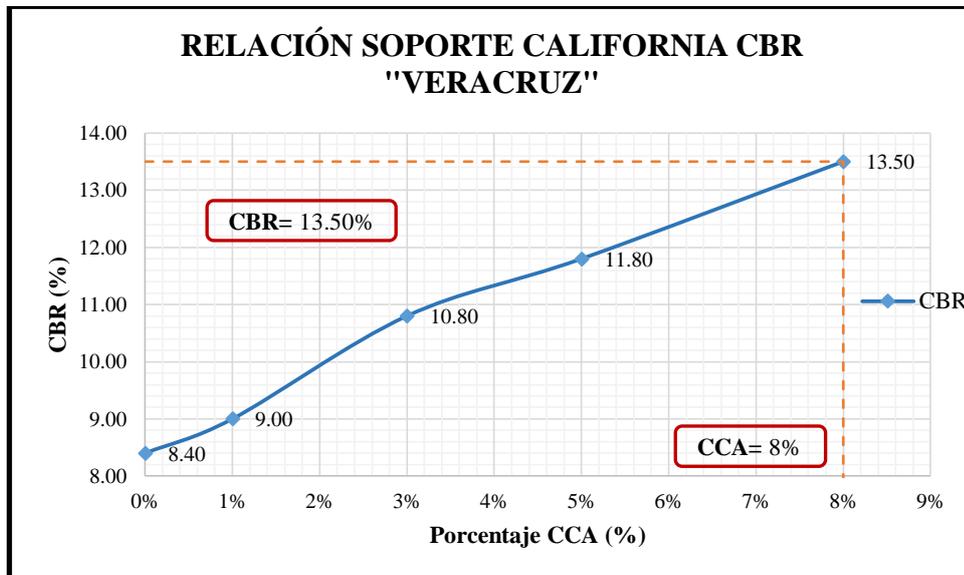
La gráfica detalla que al aumentar el porcentaje de ceniza de cáscara de arroz en un rango del 0% al 8%, el valor de CBR sufre un ascenso.

El valor de CBR óptimo será de 13.20%, debido a esto se lo clasifica como un suelo regular para Subbase según Bowles. La muestra de suelo natural tiene un valor de CBR de 8.60% y la muestra de suelo más el 8% de ceniza de cáscara de arroz tiene un valor de CBR de 13.20%, evidenciando un aumento del 4.60%.

**c) Sector Veracruz**

La gráfica plasma los resultados del ensayo Relación Soporte California “CBR” del sector de Veracruz y está formada por dos ejes: Valor de CBR y porcentaje de ceniza de cáscara de arroz.

**Figura 29:** CBR “Veracruz”



Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

La gráfica detalla que al aumentar la ceniza de cáscara de arroz en un rango del 0% al 8%, el valor del CBR sufre un ascenso.

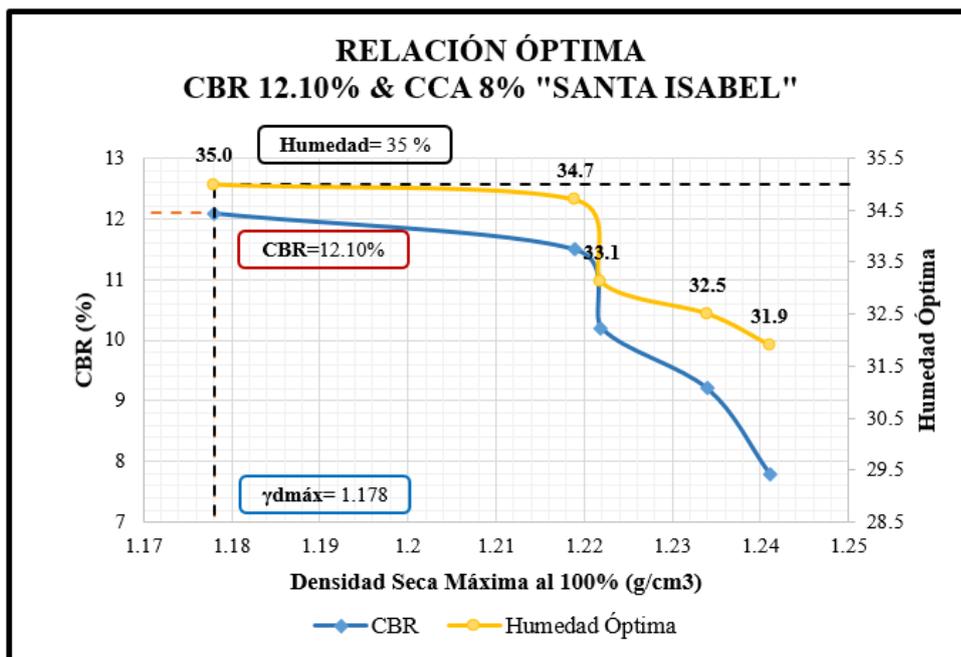
La muestra de suelo natural tiene un valor de CBR de 8.40% y la muestra de suelo más el 8% de ceniza de cáscara de arroz tiene un valor de CBR de 13.50%, evidenciando un aumento del 5.10%. Según Bowles el suelo es regular utilizado para subbase, por tener un valor de CBR óptimo de 13.50%.

### 3.1.3.3. Análisis de CBR ÓPTIMO

#### a) Sector Santa Isabel

La gráfica establece el valor óptimo de CBR y el valor del contenido de humedad con respecto a la densidad seca máxima al 100% de la muestra de suelo más el 8% de ceniza de cáscara de arroz.

Figura 30: CBR Óptimo "Santa Isabel"

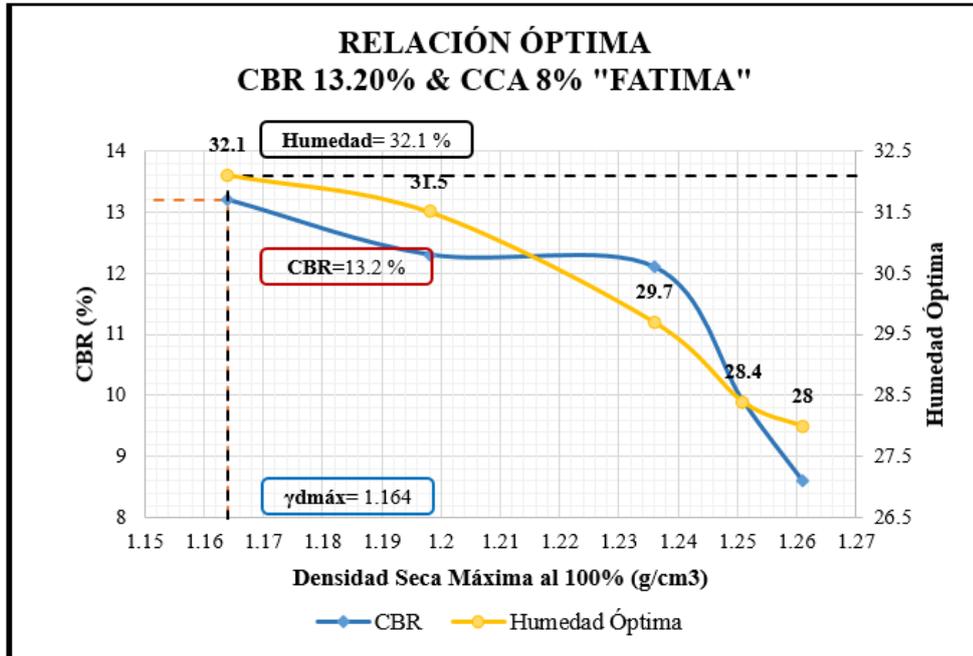


La gráfica detalla que el valor de la Humedad Óptima es del 35% a una densidad seca máxima al 100% de 1.178 g/cm<sup>3</sup> de la muestra de suelo del sector de Santa Isabel más el 8% de ceniza de cáscara de arroz, valores que serán utilizados para obtener el valor de CBR óptimo de 12.10% ocupando el 95% del valor de la densidad seca máxima.

#### b) Sector Fátima

La gráfica establece el valor óptimo de CBR y el valor del contenido de humedad con respecto a la densidad seca máxima al 100% de la muestra de suelo más el 8% de ceniza de cáscara de arroz.

Figura 31: CBR Óptimo "Fátima"



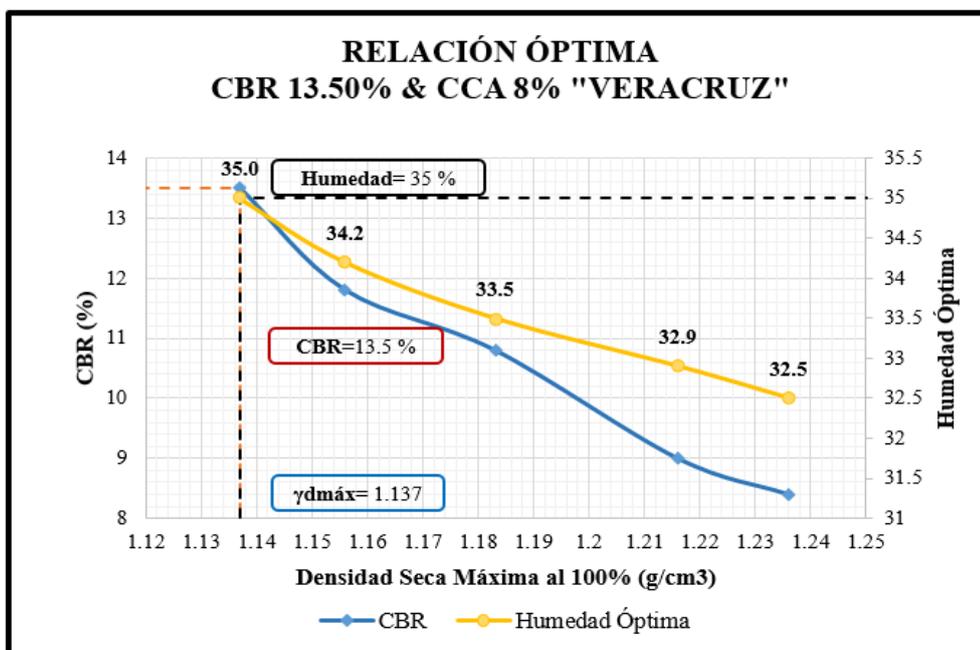
Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

La gráfica detalla que el valor de la Humedad Óptima es del 32.1% a una densidad seca máxima al 100% de 1.164 g/cm<sup>3</sup> de la muestra de suelo del sector de Fátima más el 8% de ceniza de cáscara de arroz, valores que serán utilizados para obtener el valor de CBR óptimo de 13.20% ocupando el 95% del valor de la densidad seca máxima.

### c) Sector Veracruz

La gráfica establece el valor óptimo de CBR y el valor del contenido de humedad con respecto a la densidad seca máxima al 100% de la muestra de suelo más el 8% de ceniza de cáscara de arroz.

**Figura 32: CBR Óptimo "Veracruz"**



Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

La gráfica detalla que el valor de la Humedad Óptima es del 35% a una densidad seca máxima al 100% de 1.137 g/cm<sup>3</sup> de la muestra de suelo del sector de Santa Isabel más el 8% de ceniza de cáscara de arroz, valores que serán utilizados para obtener el valor de CBR óptimo de 13.50% ocupando el 95% del valor de la densidad seca máxima.

### 3.1.4. Análisis de Estabilización de la Subrasante según CBR

Los valores de CBR de las muestras del suelo natural y del suelo modificado serán analizados según el sector.

En el sector de Santa Isabel se obtuvo un CBR con suelo natural de 7.80%, pero al aumentar el 8% de ceniza de cáscara de arroz, el valor de CBR aumento a 12.10% obteniendo una estabilización del 55%.

El valor de CBR con suelo natural del sector de Fátima es de 8.60%, pero al aumentar el 8% de ceniza de cáscara de arroz, hubo un incremento de 4.60% produciendo una estabilización del 53%, siendo este el porcentaje más bajo de estabilización.

Cuando se aumentó el 8% de ceniza de cáscara de arroz en las muestras de suelo del sector de Veracruz, hubo un incremento de 5.10% del valor de CBR, siendo este sector el que tuvo una mejor estabilización del 61% en comparación a las otras muestras.

En la siguiente tabla se puede observar los valores de CBR del suelo natural, del suelo modificado, el incremento de CBR y el valor de la estabilización.

**Tabla 21:** Estabilización del suelo

CBR RESUMEN					
UBICACIÓN	CBR NATURAL	CBR MODIFICADO	PORCENTAJE DE CCA	INCREMENTO CBR	ESTABILIZACIÓN
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Santa Isabel – Puyo	7.80	12.10	8.00	4.30	55
Fátima – Puyo	8.60	13.20	8.00	4.60	53
Veracruz - Puyo	8.40	13.50	8.00	5.10	61

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

### 3.1.5. Análisis del tráfico

#### 3.1.5.1. Conteo Vehicular

El volumen de tráfico nos ayuda a clasificar a los vehículos que transitan por la vía, en un intervalo de tiempo durante algunos días.

Para este proyecto se ocupará solo un valor representativo del volumen de tráfico, el mismo nos ayudará para el diseño del pavimento, cabe recalcar que el proyecto se basa en conocer los especímenes del pavimento y no en el volumen del tráfico.

El estudio de tráfico se lo realizó en la calle Pitágoras perteneciente a la parroquia Picaihua del cantón Ambato. El conteo vehicular se llevó a cabo el día 20 de octubre de 2021 a las 7H00 de la mañana y finalizando a las 7H00 de la tarde, cabe recalcar que se realizó el conteo en ambos sentidos de la vía.

#### 3.1.5.2. Cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)

El método de la treintava hora fue el que se utilizó para realizar el cálculo del TPDA, el cual consiste en conocer la cantidad de vehículos que circulan en una hora pico para dividir a un porcentaje que propone el método.

**Tabla 22:** Conteo del tráfico ambos sentidos

AV. PITÁGORAS (2 SENTIDOS)											
HORA	LIVIANOS	BUSES	PESADOS							TOTAL	ACUMULADO POR HORA
			2DA	2DB	V2DB	3A	3S2	3S3	Σ PESADOS		
07H00-07H15	44	2	0	0	1	1	0	0	2	48	205
07H15-07H30	39	1	0	3	0	0	0	0	3	43	
07H30-07H45	44	4	1	0	0	1	0	0	2	50	
07H45-08H00	59	3	0	1	0	1	0	0	2	64	
08H00-08H15	40	3	1	0	0	0	0	0	1	44	201
08H15-08H30	36	2	0	1	0	0	0	0	1	39	197
08H30-08H45	32	2	3	0	0	0	0	0	3	37	184
08H45-09H00	38	4	3	1	0	0	0	0	4	46	166
09H00-09H15	21	3	1	1	1	0	0	0	3	27	149
09H15-09H30	26	1	2	0	0	0	0	0	2	29	139
09H30-09H45	55	2	1	3	1	2	0	0	7	64	166
09H45-10H00	44	2	0	1	0	1	0	0	2	48	168
10H00-10H15	44	2	2	2	1	1	0	0	6	52	193
10H15-10H30	39	4	3	2	0	0	0	0	5	48	212
10H30-10H45	36	3	4	4	0	0	0	0	8	47	195
10H45-11H00	39	1	3	1	0	0	1	0	5	45	192
11H00-11H15	46	3	0	2	0	0	0	0	2	51	191
11H15-11H30	28	1	2	3	1	0	0	0	6	35	178
11H30-11H45	29	2	2	3	0	0	0	0	5	36	167
11H45-12H00	40	3	0	1	1	0	0	0	2	45	167
12H00-12H15	52	2	1	2	1	0	0	0	4	58	174
12H15-12H30	40	3	1	0	0	0	0	0	1	44	183
12H30-12H45	33	2	0	4	0	0	0	0	4	39	186
12H45-13H00	39	3	1	1	0	0	0	0	2	44	185
13H00-13H15	34	3	1	1	0	0	0	0	2	39	166
13H15-13H30	44	2	2	4	1	0	0	0	7	53	175
13H30-13H45	36	2	2	0	0	1	0	0	3	41	177
13H45-14H00	44	3	0	3	1	0	0	0	4	51	184
14H00-14H15	43	3	2	1	0	0	0	0	3	49	194
14H15-14H30	37	1	1	3	0	0	0	0	4	42	183
14H30-14H45	41	3	0	0	2	0	0	0	2	46	188
14H45-15H00	42	4	2	1	0	0	0	0	3	49	186
15H00-15H15	42	4	3	2	1	0	0	0	6	52	189
15H15-15H30	41	3	2	1	2	0	0	0	5	49	196
15H30-15H45	40	1	2	0	2	0	0	0	4	45	195
15H45-16H00	45	2	0	1	1	0	0	0	2	49	195
16H00-16H15	25	3	1	2	0	0	0	0	3	31	174
16H15-16H30	30	4	3	3	1	0	0	0	7	41	166
16H30-16H45	44	3	1	0	1	0	0	0	2	49	170
16H45-17H00	36	2	3	1	1	0	0	0	5	43	164
17H00-17H15	48	3	3	4	1	0	0	0	8	59	192
17H15-17H30	57	1	2	4	0	0	0	0	6	64	215
17H30-17H45	48	5	3	2	1	0	1	0	7	60	226
17H45-18H00	46	2	1	1	0	0	0	0	2	50	233
18H00-18H15	56	2	3	2	0	0	0	0	5	63	237
18H15-18H30	53	1	4	3	0	0	2	0	9	63	236
18H30-18H45	37	1	1	0	0	0	0	0	1	39	215
18H45-19H00	31	1	0	1	0	0	0	0	1	33	198
Σ Parciales	1943	117							183	2243	
Composición	86.63%	5.22%							8.16%	100%	

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

$$TPDA = \frac{VHP}{K}$$

Donde:

*TPDA*= Tráfico Promedio Diario Anual del año del proyecto.

*VHP*= Volumen Horario Observado (Hora Pico).

*K*= Porcentaje del método (10%).

$$TPDA_{Livianos} = \frac{\sum Parcial}{10\%} = \frac{207}{0.1} = 2070 \text{ veh/día}$$

$$TPDA_{Buses} = \frac{\sum Parcial}{10\%} = \frac{10}{0.1} = 100 \text{ veh/día}$$

$$TPDA_{Pesados} = \frac{\sum Parcial}{10\%} = \frac{20}{0.1} = 200 \text{ veh/día}$$

**Tabla 23:** Hora Pico del flujo vehicular

30va HORA										
HORA	LIVIANOS	BUSES	PESADOS							TOTAL
			2DA	2DB	V2DB	3A	3S2	3S3	Σ PESADOS	
17H15-17H30	57	1	2	4	0	0	0	0	6	64
17H30-17H45	48	5	3	2	1	0	1	0	7	60
17H45-18H00	46	2	1	1	0	0	0	0	2	50
18H00-18H15	56	2	3	2	0	0	0	0	5	63
Σ Parciales	207	10	9	9	1	0	1	0	20	237
%30va Hora	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
TPDA	2070	100	90	90	10	0	10	0	200	2370

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

### 3.1.5.3. Pronóstico del Tráfico Futuro

#### 3.1.5.3.1. Tráfico Existente

$$TPDA_{Livianos} = \frac{\sum Parcial}{10\%} = \frac{207}{0.1} = 2070 \text{ veh/día}$$

$$TPDA_{Buses} = \frac{\sum Parcial}{10\%} = \frac{10}{0.1} = 100 \text{ veh/día}$$

$$TPDA_{Pesados} = \frac{\sum Parcial}{10\%} = \frac{20}{0.1} = 200 \text{ veh/día}$$

### 3.1.5.3.2. Tráfico Atraído (Tat)

Por estar en un buen estado la vía, se considera un 10% para el cálculo del tráfico atraído.

$$T_{at} = 10\% * (TPDA)$$

$$Tat_{Livianos} = 0.1 * 2070 = 207 \text{ veh/día}$$

$$Tat_{Buses} = 0.1 * 100 = 10 \text{ veh/día}$$

$$Tat_{Pesados} = 0.1 * 200 = 20 \text{ veh/día}$$

### 3.1.5.3.3. Tráfico Generado (Tg)

Según la norma MTOP el tráfico generado corresponde al 20% del tráfico existente.

$$T_g = 20\% * (TPDA)$$

$$Tg_{Livianos} = 0.2 * 2070 = 414 \text{ veh/día}$$

$$Tg_{Buses} = 0.2 * 100 = 20 \text{ veh/día}$$

$$Tg_{Pesados} = 0.2 * 200 = 40 \text{ veh/día}$$

### 3.1.5.3.4. Tráfico por Desarrollo (Td)

Según la norma MTOP el tráfico por desarrollo corresponde al 5% del tráfico existente.

$$T_d = 5\% * (TPDA)$$

$$Td_{Livianos} = 0.05 * 2070 = 104 \text{ veh/día}$$

$$Td_{Buses} = 0.05 * 100 = 5 \text{ veh/día}$$

$$Td_{\text{pesados}} = 0.05 * 200 = 10 \text{ veh/día}$$

### 3.1.5.3.5. Tráfico Actual (Ta)

El tráfico actual es la suma del tráfico existente, atraído, generado y por desarrollo.

$$T_a = TPDA + Tat + Tg + Td$$

$$Ta_{\text{Livianos}} = 2070 + 207 + 414 + 104 = 2795 \text{ veh/día}$$

$$Ta_{\text{Buses}} = 100 + 10 + 20 + 5 = 135 \text{ veh/día}$$

$$Ta_{\text{Pesados}} = 200 + 20 + 40 + 10 = 270 \text{ veh/día}$$

**Tabla 24:** Tráfico actual

TRÁFICO ACTUAL									
TRÁFICO	LIVIANOS	BUSES	PESADOS						
			2DA	2DB	V2DB	3A	3S2	3S3	Σ PESADOS
TPDA	2070	100	90	90	10	0	10	0	200
Tráfico atraído	207	10	9	9	1	0	1	0	20
Tráfico Generado	414	20	18	18	2	0	2	0	40
Tráfico por Desarrollo	104	5	5	5	0	0	0	0	10
<b>TRÁFICO ACTUAL</b>	<b>2795</b>	<b>135</b>	<b>122</b>	<b>122</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>270</b>

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

### 3.1.5.3.6. Tráfico Futuro (Tf)

Según la norma MTOP la fórmula para obtener el tráfico futuro es:

$$T_f = T_a * (1 + i)^n$$

Donde:

$T_f$ = Tráfico futuro.

$T_a$ = Tráfico actual.

$i$ = Índice de crecimiento vehicular.

$n$ = Proyección de años de tráfico futuro.

Para el proyecto se utilizó una proyección de 20 años, porque es una vía existente y se trabajó como se fuera una rehabilitación de vía.

### 3.1.5.3.6.1. Índice de crecimiento

Según la norma MTOP, el índice de crecimiento vehicular es:

**Tabla 25:** Índice de crecimiento

ÍNDICE DE CRECIMIENTO			
PERIODO	TIPOS DE VEHÍCULO		
	LIVIANOS (%)	BUSES (%)	PESADOS (%)
2015 - 2020	3.97	1.97	1.94
2020 - 2025	3.57	1.78	1.74
2025 - 2030	3.25	1.62	1.58
2030 - 2035	3.25	1.62	1.58
2035 - 2040	3.25	1.62	1.58
2040 - 2045	3.25	1.62	1.58

Fuente: Normas de diseño geométrico de carreteras, MTOP 2003.

$$T_f = T_a * (1 + i)^n$$

$$Tf_{Livianos} = 2795 * (1 + 0.0325)^{20} = 5299 \text{ veh/día}$$

$$Tf_{Buses} = 135 * (1 + 0.0162)^{20} = 187 \text{ veh/día}$$

$$Tf_{Livianos} = 270 * (1 + 0.0158)^{20} = 370 \text{ veh/día}$$

$$T_f = 5299 + 186 + 369 = 5856 \text{ veh/día}$$

### 3.1.5.3.7. Factor de Daño

Los vehículos por medio de sus llantas transmiten tensiones al pavimento provocando su desgaste, por eso se sugiere ocupar un factor de daño, que se calcula según el número de ejes que posee el vehículo.

**Tabla 26:** Factor de daño

FACTOR DE DAÑO									
TIPO	SIMPLE		SIMPLE DOBLE		TANDEM		TRIDEM		FACTOR DE DAÑO
	Ton	(P/6.6)^4	Ton	(P/8.2)^4	Ton	(P/15)^4	Ton	(P/23)^4	
BUS	4	0.13	8	0.91					1.04
2DA	3	0.04	7	0.53					0.57
2DB	7	1.27	11	3.24					4.51
3A	7	1.27			20	3.16			4.43
V2DB	7	1.27	11	3.24					4.51
3S2	7	1.27			20	6.32			7.59
3S3	7	1.27			20	3.16	24	1.19	5.62

Fuente: Normas de diseño geométrico de carreteras, MTOP 2003.

### 3.1.5.3.8. Ejes Equivalentes

La norma AASHTO propone una fórmula para el cálculo del número de ejes equivalentes a 8.2ton, con el fin de convertir el volumen vehicular a una carga.

$$W_{18} = \left( \sum (TPDA_n * Fd) \right) * 365$$

Donde:

$W_{18}$  = Números de ejes equivalentes a 8.2ton.

$TPDA_n$  = Tráfico promedio diario anual.

$Fd$  = Factor de daño.

#### 3.1.5.3.8.1. Factor de Distribución por Dirección

Para el factor de distribución por Dirección se ocupará el 50% del  $W_{18}$  para cada sentido, cabe recalcar que una carretera consta de dos carriles en distinta dirección.

#### 3.1.5.3.8.2. Factor de Distribución por Carril

La norma AASHTO 93 propone un factor de distribución de Carril, donde se debe conocer de cuantos carriles en la misma dirección estará formada la carretera.

**Tabla 27:** Factor de distribución por carril

<b>FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL</b>	
<b>Número de carriles en cada dirección</b>	<b>Porcentaje de vehículo en carril</b>
1	100%
2	80% -100%
3	60% - 80%
4 o más	50% - 75%

**Fuente:** Guía para el diseño de la Estructura del Pavimentos, AASHTO 1993.

Para el proyecto se ocupó una carreta que está formada de un solo carril por cada dirección y el valor a utilizar es el 100%.

**Tabla 28:** Números de Ejes Equivalentes a 8.2 ton

EJES EQUIVALENTES															
AÑO	% ÍNDICE DE CRECIMIENTO			TRÁFICO PROMEDIO ANUAL (TPDA)										EJES EQUIVALENTES	
	Livianos	Buses	Pesados	Livianos	Buses	PESADOS							TOTAL	Acumulado	Por sentido
						2DA	2DB	V2DB	3A	3S2	3S3	Σ PESADOS			
2021	3.57	1.78	1.74	2795	135	122	122	13	0	13	0	270	3200	334873	167437
2022	3.57	1.78	1.74	2895	138	125	125	14	0	14	0	278	3311	680864	340432
2023	3.57	1.78	1.74	2999	140	127	127	14	0	14	0	282	3421	1031323	515662
2024	3.57	1.78	1.74	3106	143	129	129	14	0	14	0	286	3535	1386629	693315
2025	3.57	1.78	1.74	3217	145	131	131	14	0	14	0	290	3652	1746403	873202
2026	3.25	1.62	1.58	3280	147	132	132	15	0	15	0	294	3721	2113207	1056604
2027	3.25	1.62	1.58	3387	149	135	135	15	0	15	0	300	3836	2486332	1243166
2028	3.25	1.62	1.58	3497	152	137	137	15	0	15	0	304	3953	2864305	1432153
2029	3.25	1.62	1.58	3610	154	139	139	15	0	15	0	308	4072	3246745	1623373
2030	3.25	1.62	1.58	3728	157	141	141	15	0	15	0	312	4197	3634032	1817016
2031	3.25	1.62	1.58	3849	159	143	143	16	0	16	0	318	4326	4030203	2015102
2032	3.25	1.62	1.58	3974	162	145	145	16	0	16	0	322	4458	4431222	2215611
2033	3.25	1.62	1.58	4103	164	148	148	16	0	16	0	328	4595	4838562	2419281
2034	3.25	1.62	1.58	4236	167	150	150	16	0	16	0	332	4735	5250750	2625375
2035	3.25	1.62	1.58	4374	170	152	152	17	0	17	0	338	4882	5672201	2836101
2036	3.25	1.62	1.58	4516	172	155	155	17	0	17	0	344	5032	6099974	3049987
2037	3.25	1.62	1.58	4663	175	157	157	17	0	17	0	348	5186	6532594	3266297
2038	3.25	1.62	1.58	4815	178	160	160	17	0	17	0	354	5347	6971916	3485958
2039	3.25	1.62	1.58	4971	181	162	162	18	0	18	0	360	5512	7420501	3710251
2040	3.25	1.62	1.58	5133	184	165	165	18	0	18	0	366	5683	7875788	3937894
2041	3.25	1.62	1.58	5299	187	167	167	18	0	18	0	370	5856	8335922	4167961

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

### 3.1.6. Análisis de Diseño de Pavimento Flexible

En esta parte se presenta el diseño de dos pavimentos flexibles, el primer diseño ocupará el valor de CBR del suelo natural y el segundo diseño ocupará el valor de CBR del suelo modificado.

Los valores de CBR a ocupar pertenecen al suelo del sector de Veracruz, porque su estabilización presenta un mayor porcentaje en comparación a los otros sectores. Veracruz posee una estabilización del 61%, valor que se obtuvo al realizar los diferentes ensayos en laboratorio.

**Tabla 29:** Porcentajes de CBR del sector de Veracruz

VERACRUZ	
CBR NATURAL %	CBR MODIFICADO %
8.40	13.50

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

#### 3.1.6.1. Parámetros de Diseño

##### 3.1.6.1.1. Ecuación de Diseño Método AASHTO 93

La norma AASHTO propone una ecuación para el diseño de pavimentos flexible, el cual se basa en encontrar un Número Estructural “SN”.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_0 + \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}(M_R) - 8.07$$

*Donde:*

$W_{18}$  = Ejes Equivalentes

$Z_R$  = Desviación estándar normal

$SN$  = Número estructural

$S_0$  = Desviación estándar global

$\Delta PSI =$  Cambio en la Servicialidad

$M_R =$  Módulo de resiliencia

### 3.1.6.1.2. Confiabilidad “R”

Se la conoce como confiabilidad “R” a la probabilidad del comportamiento que tiene toda la estructura de la vía durante el período de diseño adoptado. Este valor se relaciona con el coeficiente de Desviación estándar normal “Zr” y con el factor de Desviación estándar global “So”.

**Tabla 30:** Porcentaje de confiabilidad

Clasificación funcional	Confiabilidad recomendada	
	Urbana	Rural
Interestatales y vías rápidas	85 - 99.9	85 - 99.9
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: Guía para el diseño de la Estructura del Pavimentos, AASHTO 1993.

**Tabla 31:** Desviación Estándar Normal “Zr”

Confiabilidad "R", en Porcentaje	Desviación Estándar Normal "Zr"
50	0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: Guía para el diseño de la Estructura del Pavimentos, AASHTO 1993.

El valor de la Confiabilidad “R” es de 85, ya que corresponde a arterias principales de una zona rural. La Desviación estándar normal “Zr” es de -1.037 y la Desviación estándar global “So” para un pavimento flexible está entre 0.40 a 0.50, pero para el proyecto se ocupa un valor intermedio de 0.45.

#### **3.1.6.1.3. Índice de Serviciabilidad (PSI)**

La norma AASHTO propone una fórmula para la obtención del índice de serviciabilidad.

$$\Delta PSI = PSI \text{ Inicial} - PSI \text{ Final}$$

*Donde:*

*$\Delta PSI$  = Diferencia entre los dos índices.*

*PSI Inicial = Índice de servicio inicial (Para pavimentos flexible se ocupa 4.2).*

*PSI Final = Índice de servicio terminal (Se ocupa 2.5 o 3 para caminos principales y 2 para caminos secundarios).*

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.5$$

$$\Delta PSI = 1.7$$

#### **3.1.6.1.4. Módulo de Resiliencia “Mr”**

La guía de la norma AASHTO propone tres ecuaciones según el valor de CBR para obtener el módulo de Resiliencia “Mr”.

$$Mr_{PSI} = 1500 * CBR \text{ para } CBR < 10\% \text{ (sugerida por AASHTO)}$$

$$Mr_{PSI} = 3000 * CBR^{0.65} \text{ para } CBR \text{ de } 7.2\% \text{ a } 20\% \text{ (desarrollada en Sudáfrica)}$$

$$Mr_{PSI} = 4326 * \ln CBR + 241 \text{ (utilizada para suelos granulares según la AASHTO)}$$

Para un valor de CBR de 8.40% que corresponde al suelo natural del sector de Veracruz.

$$Mr_{PSI} = 1500 * CBR$$

$$Mr_{PSI} = 1500 * 8.40$$

$$Mr_{PSI} = 12600 \text{ psi} = 12.60 \text{ ksi}$$

Para un valor de CBR de 13.50% que corresponde al suelo natural más el 8% de ceniza de cáscara de arroz del sector de Veracruz.

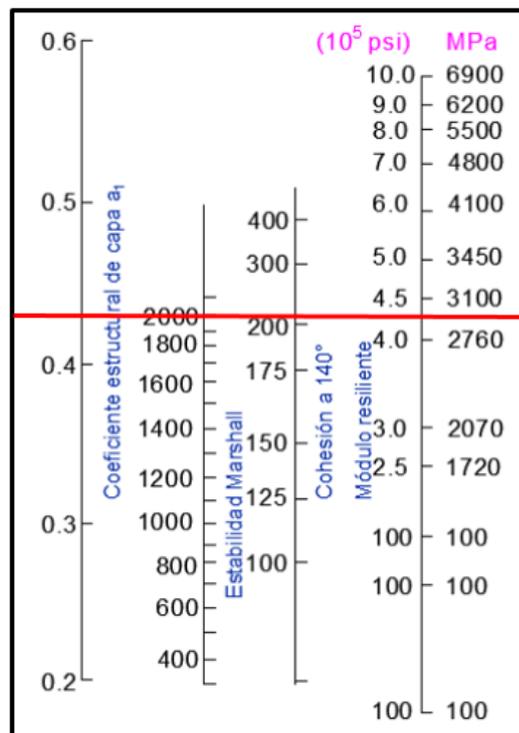
$$Mr_{PSI} = 3000 * CBR^{0.65}$$

$$Mr_{PSI} = 3000 * 13.5^{0.65}$$

$$Mr_{PSI} = 16287 \text{ psi} = 16.287 \text{ ksi}$$

### 3.1.6.1.5. Coeficiente estructural de la Carpeta Asfáltica (a1)

**Figura 33:** Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica

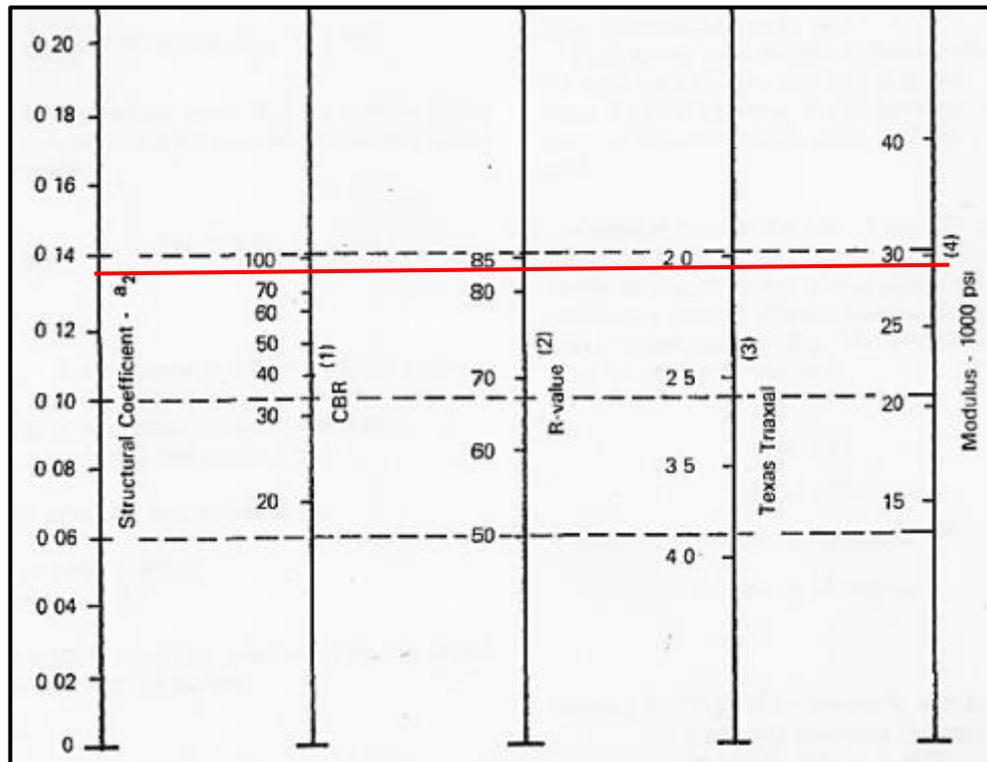


**Fuente:** Guía para el diseño de la Estructura del Pavimentos, AASHTO 1993.

Al tener la estabilidad Marshall de 2000lb, se obtuvo el coeficiente  $a_1$  de 0.42 y el coeficiente de elasticidad de 430000psi (430ksi).

### 3.1.6.1.6. Coeficiente estructural de la Base Granular ( $a_2$ )

**Figura 34:** Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la base granular

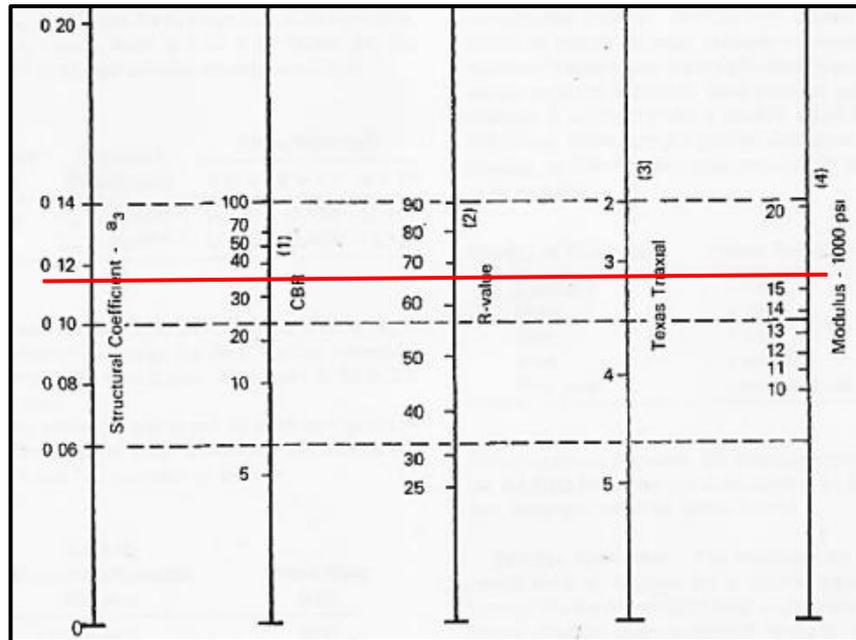


Fuente: Guía para el diseño de la Estructura del Pavimentos, AASHTO 1993.

Según la norma AASHTO el valor mínimo de CBR que se ocupa para la capa base es el 80%, por eso en el nomograma se ocupó el 85%, obteniendo como coeficiente de la Base Granular  $a_2$  un valor de 0.136 y un Módulo de Resiliencia de 29000psi (29ksi).

### 3.1.6.1.7. Coeficiente estructural de la Subbase Granular ( $a_3$ )

**Figura 35:** Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la subbase granular



Fuente: Guía para el diseño de la Estructura del Pavimentos, AASHTO 1993.

Según la norma AASHTO para la capa subbase el valor mínimo de CBR es del 30%, por eso en el nomograma se ocupó el 35%, obteniendo como coeficiente de la Subbase Granular  $a_3$  un valor de 0.115 y un Módulo de Resiliencia de 16000psi (16ksi).

### 3.1.6.1.8. Coeficiente de Drenaje

La calidad de drenaje se la puede definir como el tiempo que se tarda el agua en eliminarse cuando se encuentre en las capas granulares.

**Tabla 32:** Calidad de Drenaje

Calidad del drenaje	50% de saturación en:	85% de saturación en:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	Más de 10 horas
Muy pobre	El agua no drena	Mucho más de 10 horas

Fuente: Guía para el diseño de la Estructura del Pavimentos, AASHTO 1993.

**Tabla 33: Índice de Drenaje**

Calidad del drenaje	% de tiempo en que la estructura de pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	Menos de 1%	1 - 5%	5 - 25%	Más del 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Fuente: Guía para el diseño de la Estructura del Pavimentos, AASHTO 1993.

El valor de  $m_2$  y  $m_3$  que trabajaremos en el proyecto es 0.80.

### 3.1.6.1.9. Espesores por Capa

Al tener el número estructural “SN”, se puede realizar una distribución para capa del pavimento, utilizando la siguiente fórmula propuesta por la norma AASHTO.

$$SN = (a_1 * D_1) + (a_2 * D_2 * m_2) + (a_3 * D_3 * m_3)$$

*Donde:*

$a_1, a_2, a_3$ = Coeficientes estructurales de las capas del pavimento.

$D_1, D_2, D_3$ = Espesores de las capas del pavimento.

$m_2, m_3$ = Coeficiente de drenaje perteneciendo a la base y subbase.

Para tener como referencia un valor mínimo de los espesores  $D_1$  y  $D_2$ , la norma AASHTO propone la siguiente tabla, donde toma como referencia los ejes equivalentes sencillos acumulados.

**Tabla 34:** Espesores mínimos de la Carpeta Asfáltica y de la Capa Base

Tráfico, W18	Concreto Asfáltico, D1	Capa Base, D2
<50000	2.5 cm(o tratamiento Superficial)	10.0 cm
50001 a 150000	5.0 cm	10.0 cm
150001 a 500000	6.5 cm	10.0 cm
500001 a 2000000	7.5 cm	15.0 cm
2000001 a 7000000	9.0 cm	15.0 cm
>7000000	10.0 cm	15.0 cm

Fuente: Guía para el diseño de la Estructura del Pavimentos, AASHTO 1993.

El valor mínimo del espesor de la carpeta asfáltico es de 9cm y de la capa base es de 15cm.

### 3.1.6.2. Diseño del Pavimento

#### 3.1.6.2.1. Subrasante de suelo natural (Diseño 1)

Para realizar el primer diseño del pavimento flexible se utiliza el suelo natural del sector de Veracruz, que posee un CBR de 8.40%. También se ocupa una hoja de Excel para el cálculo de los espesores y un programa para el cálculo del número estructural “SN”.

**Tabla 35:** Datos del Proyecto - Diseño 1

DISEÑO 1	
PARÁMETROS	VALORES
Período de diseño	20 años
Ejes Equivalentes W18	4167961
Confiabilidad "R"	85%
Desviación Estándar Normal "Zr"	-1.037
Desviación Estándar Global "So"	0.45
Índice de Serviciabilidad (Inicial)	4.2
Índice de Serviciabilidad (Final)	2.5
Valor CBR	8.40%
Módulo de Resiliencia "Mr"	12600 psi
Coefficiente estructural de la Carpeta Asfáltica (a1)	0.42
Módulo de elasticidad de la Carpeta Asfáltica	430 ksi
Coefficiente estructural de la Base Granular (a2)	0.136
Módulo de elasticidad de la Base Granular	29 ksi
Coefficiente estructural de la subBase Granular (a3)	0.115
Módulo de elasticidad de la subBase Granular	16 ksi
Coefficiente de drenaje, base (m2)	0.8
Coefficiente de drenaje, subbase (m3)	0.8

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Figura 36:** Cálculo del número estructural (SN) - Diseño 1

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 35: Pavimento Flexible- Diseño 1**

<b>DATOS DE ENTRADA :</b>			
<b>1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES</b>			<b>DATOS</b>
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			430.00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			29.00
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			16.00
<b>2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			4,167,961
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			85%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-1.037
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0.45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			12.60
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			4.2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pf)			2.5
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
<b>3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO</b>			
<b>A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA</b>			
Concreto Asfáltico Convencional (a <sub>1</sub> )			0.420
Base granular (a <sub>2</sub> )			0.136
Subbase (a <sub>3</sub> )			0.115
<b>B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA</b>			
Base granular (m <sub>2</sub> )			0.800
Subbase (m <sub>3</sub> )			0.800
<b>DATOS DE SALIDA :</b>			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>REQ</sub> )	<b>3.46</b>		
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN <sub>CA</sub> )	<b>2.51</b>		
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN <sub>BG</sub> )	<b>0.64</b>		
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN <sub>SB</sub> )	<b>0.31</b>		
<b>ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO</b>			
		<b>PROPUESTA</b>	
	<b>TEORICO</b>	<b>ESPESOR</b>	<b>SN*</b>
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	15.2 cm	<b>10.0 cm</b>	1.65
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	14.9 cm	<b>20.0 cm</b>	0.86
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	8.6 cm	<b>27.0 cm</b>	0.98
ESPESOR TOTAL (cm)		<b>57.0 cm</b>	<b>3.49</b>
DISEÑADO POR : <i>Ronnie Andaluz</i>			<i>fm</i>

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

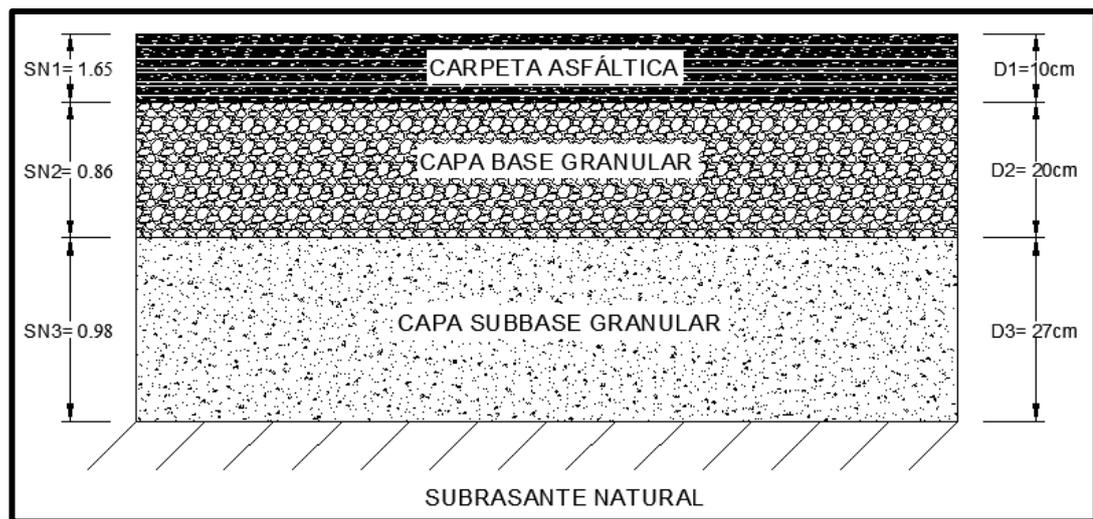
Los valores de los espesores de las capas que conforman el pavimento cuando se tiene el suelo natural con un CBR de 8.40% es:

Carpeta Asfáltica: 10cm

Capa Base Granular: 20cm

Capa Subbase Granular: 27cm

**Figura 37:** Espesores de las capas del pavimento flexible - Diseño 1



Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

### 3.1.6.2.2. Subrasante de suelo estabilizado (Diseño 2)

Para realizar el segundo diseño del pavimento flexible se utiliza el suelo estabilizado (suelo natural más el 8% de ceniza de cáscara de arroz) del sector de Veracruz, que posee un CBR de 13.50%. También se ocupa una hoja de Excel para el cálculo de los espesores y un programa para el cálculo del número estructural “SN”.

**Tabla 36:** Datos del Proyecto - Diseño 2

<b>DISEÑO 2</b>	
<b>PARÁMETROS</b>	<b>VALORES</b>
Período de diseño	20 años
Ejes Equivalentes W18	4167961
Confiabilidad "R"	85%
Desviación Estándar Normal "Zr"	-1.037
Desviación Estándar Global "So"	0.45
Índice de Serviciabilidad (Inicial)	4.2
Índice de Serviciabilidad (Final)	2.5
Valor CBR	13.50%
Módulo de Resiliencia "Mr"	16287 psi
Coefficiente estructural de la Carpeta Asfáltica (a1)	0.42
Módulo de elasticidad de la Carpeta Asfáltica	430 ksi
Coefficiente estructural de la Base Granular (a2)	0.136
Módulo de elasticidad de la Base Granular	29 ksi
Coefficiente estructural de la subbase Granular (a3)	0.115
Módulo de elasticidad de la subbase Granular	16 ksi
Coefficiente de drenaje, base (m2)	0.8
Coefficiente de drenaje, subbase (m3)	0.8

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Figura 38:** Cálculo del número estructural (SN) - Diseño 2

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The 'Tipo de Pavimento' is set to 'Pavimento flexible'. The 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' are set to '85 % Zr=-1.037' and '0.45' respectively. The 'Serviciabilidad inicial y final' are set to 'PSI inicial 4.2' and 'PSI final 2.5'. The 'Módulo resiliente de la subrasante' is set to 'Mr 16287 psi'. The 'Tipo de Análisis' is set to 'Calcular SN', with 'W18 = 4167961' entered. The resulting 'Número Estructural' is 'SN = 3.14'. Buttons for 'Calcular' and 'Salir' are visible at the bottom.

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 37: Pavimento Flexible- Diseño 2**

<b>DATOS DE ENTRADA :</b>			
<b>1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES</b>			<b>DATOS</b>
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			430.00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			29.00
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			16.00
<b>2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			4,167,961
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			85%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-1.037
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0.45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			16.29
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			4.2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)			2.5
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
<b>3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO</b>			
<b>A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA</b>			
Concreto Asfáltico Convencional (a <sub>1</sub> )			0.420
Base granular (a <sub>2</sub> )			0.136
Subbase (a <sub>3</sub> )			0.115
<b>B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA</b>			
Base granular (m <sub>2</sub> )			0.800
Subbase (m <sub>3</sub> )			0.800
<b>DATOS DE SALIDA :</b>			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>REQ</sub> )	<b>3.13</b>		
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN <sub>CA</sub> )	<b>2.51</b>		
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN <sub>BG</sub> )	<b>0.64</b>		
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN <sub>SB</sub> )	<b>-0.02</b>		
<b>ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO</b>			
		<b>PROPUESTA</b>	
	<b>TEORICO</b>	<b>ESPESOR</b>	<b>SN*</b>
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	15.2 cm	<b>10.0 cm</b>	1.65
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	14.9 cm	<b>18.0 cm</b>	0.77
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	-0.6 cm	<b>20.0 cm</b>	0.72
ESPESOR TOTAL (cm)		<b>48.0 cm</b>	<b>3.15</b>
DISEÑADO POR : <i>Ronnie Andalus</i>			<i>fm</i>

Fuente: Ronnie Steven Andalus López

La norma AASHTO propone una fórmula para calcular el espesor del mejoramiento de subrasante, donde se ocupa la diferencia de los números estructurales SN de los dos diseños, también se utilizará un  $m_4$  que será el mismo valor que se utilizó en la otras capas y el coeficiente estructural  $a_4$  se escogerá de la siguiente tabla.

**Tabla 38:** Coeficiente para subrasante mejorada

Coeficiente estructural de la capa subrasante mejorada ( $a_4$ )	Condición para reemplazar
0.024	La subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante regular con CBR 6 - 10%
0.030	La subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante buena con CBR 11 - 19%
0.037	La subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante muy buena con CBR $\geq 20\%$
0.035	La subrasante muy pobre y pobre a una subrasante regular, con la adición mínima de 3% de cal en peso de suelo.

Fuente: Guía para el diseño de la Estructura del Pavimentos, AASHTO 1993.

$$E = \frac{\Delta SN}{a_4 * m_4} = \frac{SN_{DISEÑO1} - SN_{DISEÑO2}}{0.030 * 0.8}$$

$$E = \frac{3.46 - 3.14}{0.030 * 0.8} = 13.33 \cong 14\text{cm}$$

Los valores de los espesores de las capas que conforman el pavimento cuando se tiene el suelo estabilizado con un CBR de 13.50% es:

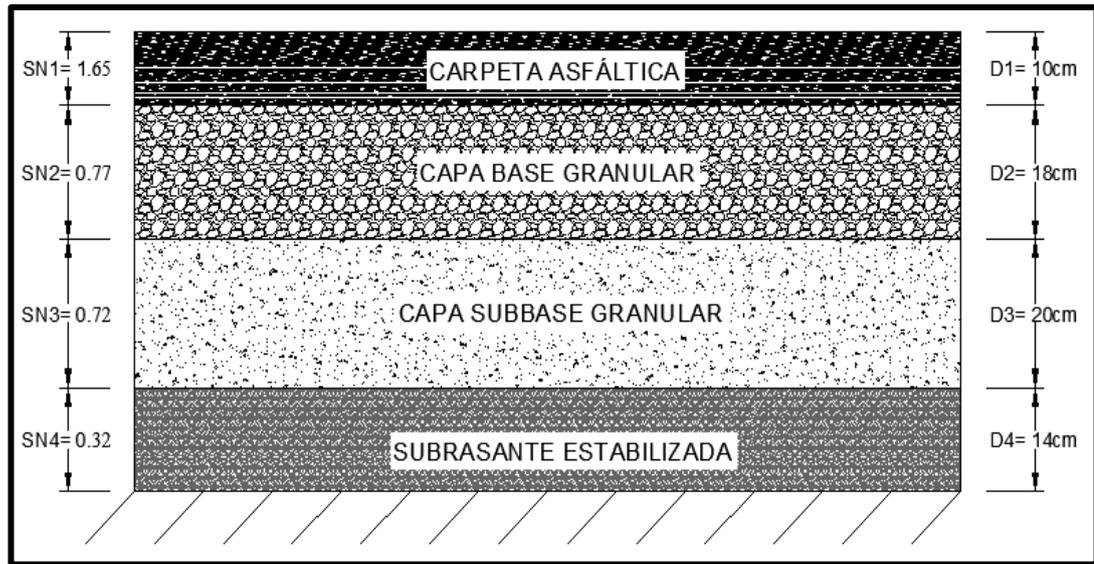
Carpeta Asfáltica: 10cm

Capa Base Granular: 18cm

Capa Subbase Granular: 20cm

Mejoramiento de Subrasante: 14cm

**Figura 39:** Espesores de las capas del pavimento flexible - Diseño 2



Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

### 3.1.6.3. Análisis de los Diseños del Pavimento

**Tabla 39:** Espesores de las capas del pavimento flexible

PAVIMENTOS		
CAPAS DEL PAVIMENTO	DISEÑO 1 (Sin Estabilizar)	DISEÑO 2 (Estabilizado)
Carpeta Asfáltica (cm)	10	10
Capa Base Granular (cm)	20	18
Capa Subbase Granular (cm)	27	20
Total (cm)	57	48

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

En la tabla 39 se puede observar los espesores de las diferentes capas que conforman el pavimento, estos valores corresponden a los dos diseños realizados con diferente valor de CBR.

En el primer diseño se utilizó el CBR del suelo natural, debido a esto se obtuvo un espesor del pavimento de 57cm, pero al realizar el segundo diseño con un CBR que corresponde al suelo natural más la adición de ceniza de cáscara de arroz se obtuvo un

espesor de 48cm. Se puede notar que existe una diferencia de 9cm entre los dos diseños.

### 3.1.7. Análisis Económico

En el análisis económico se tomará en cuenta los espesores de la carpeta asfáltica, la capa base clase II, la capa subbase clase III y la capa de mejoramiento de la subrasante, con el fin de obtener un presupuesto de cada diseño y realizar una comparación entre los mismos.

Para obtener el presupuesto de cada diseño se toma como referencia una carretera de 1km de distancia y un ancho de 7.30m, es decir 3.65m por cada carril. Para realizar el presupuesto del diseño 1 se ocupará los rubros que corresponde a: Sub Base Clase III, Base Clase II y Carpeta Asfáltica de e=10 cm. En el presupuesto del diseño 2 se ocupará los siguientes rubros: Sub Base Clase III, Base Clase II, Carpeta Asfáltica de e=10c m y Mejoramiento de Subrasante.

**Tabla 40:** Presupuesto del diseño 1

<b>DISEÑO 1 (Sin Estabilizar)</b>			
<b>RUBRO N°</b>	1	2	3
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Carpeta Asfáltica de e=10cm	Base Clase II	Sub Base Clase III
<b>UNIDAD</b>	m2	m3	m3
<b>ÁREA</b>	7300	7300	7300
<b>ESPESOR</b>	1.00	0.20	0.27
<b>PRECIO UNITARIO</b>	14.04	14.73	9.33
<b>COSTO</b>	102,492.00	21,505.80	18,389.43
<b>TOTAL</b>	<b>142,387.23</b>		

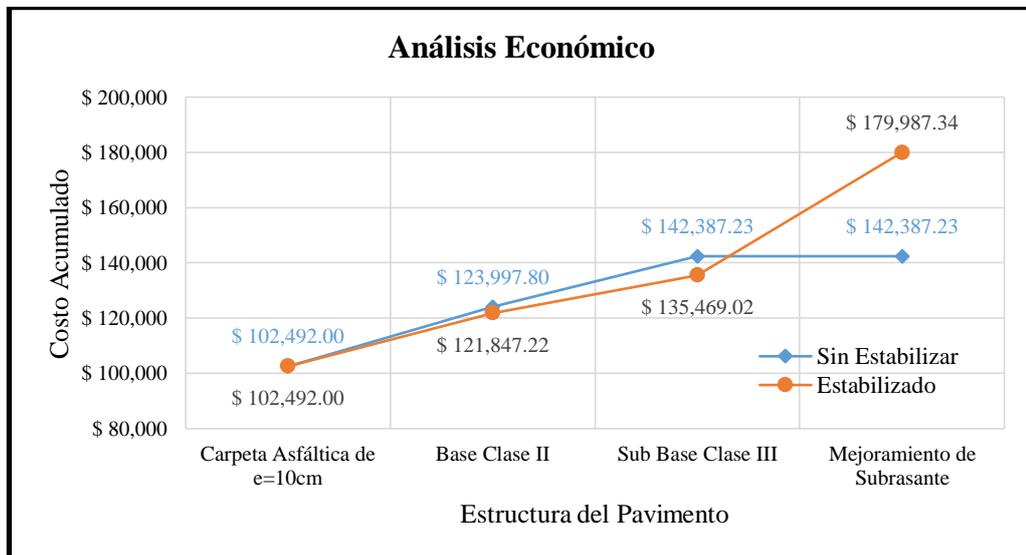
Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 41:** Presupuesto del diseño 1

DISEÑO 2 (Estabilizado)				
RUBRO N°	1	2	3	4
DESCRIPCIÓN	Carpeta Asfáltica de e=10cm	Base Clase II	Sub Base Clase III	Mejoramiento de Subrasante
UNIDAD	m2	m3	m3	m3
ÁREA	7300	7300	7300	7300
ESPESOR	1.00	0.18	0.20	0.14
PRECIO UNITARIO	14.04	14.73	9.33	43.56
COSTO	102,492.00	19,355.22	13,621.80	44,518.32
TOTAL	<b>179,987.34</b>			

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Figura 40:** Análisis económico



Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

La gráfica 40 nos presenta una comparación del presupuesto que se utiliza en cada diseño del pavimento.

La carpeta asfáltica en los dos diseños de pavimento tiene el mismo precio porque el espesor de la capa es de 10cm. En la capa base clase II ya se puede apreciar una variación en el precio, donde se observa que la diferencia entre los dos diseños es de \$2,150.58, dando a entender que el diseño 2 es más conveniente. De igual manera se puede observar que la diferencia aumenta en el costo de la capa subbase clase III,

determinando que el diseño 2 es más económico. Al realizar la comparación entre estas tres capas se puede notar que la diferencia de precio entre el diseño 1 y el diseño 2 es de \$6,918.21, observando que el diseño 2 es más económico.

Para el diseño 2 se ocupará otra capa para obtener el presupuesto, la misma consiste en el mejoramiento de la subrasante con ceniza de cáscara de arroz. Al realizar esta capa el presupuesto del diseño 2 sube de \$135,469.02 a \$179,987.34, dando a entender que existe un aumento significativo. Al comparar el presupuesto final del diseño 1 y del diseño 2, se puede observar que existe una diferencia de \$37,600.11 dando a entender que el diseño 1 es más económico.

Al finalizar este análisis se constató que al comparar solo las tres capas (carpeta asfáltica, base, subbase) el diseño 2 es más económico, pero al realizar la estabilización del suelo de subrasante con ceniza de cáscara de arroz el diseño 2 aumenta en su precio, por lo cual el diseño 1 es más económico.

## **3.2. Verificación de Hipótesis**

**3.2.1.** De acuerdo a los datos obtenidos al finalizar el ensayo de CBR de las muestras que pertenecen a Santa Isabel, Fátima y Veracruz se afirma que al adicionar ceniza de cáscara de arroz su valor de resistencia aumento, como también al realizar el diseño del pavimento, los espesores de las capas base y subbase disminuyó en comparación al diseño realizado con el CBR del suelo natural.

- Santa Isabel, CBR de 7.80% a 12.10%.
- Fátima, CBR de 8.60% a 13.20%.
- Veracruz, CBR de 8.40% a 13.50%.

## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

- Se concluye que el contenido de humedad natural de las muestras inalteradas de los suelos de Santa Isabel (121.51%), Fátima (170.55%) y Veracruz (155.29%) que pertenecen al cantón Puyo contienen una gran cantidad de agua.
- Se determinó que los valores de la densidad humedad y seca in situ del sector de Santa Isabel son de  $1.362\text{g/cm}^3$  y  $0.615\text{g/cm}^3$ , del sector de Fátima son de  $1.292\text{g/cm}^3$  y  $0.478\text{g/cm}^3$  y del sector de Veracruz son de  $1.311\text{g/cm}^3$  y  $0.514\text{g/cm}^3$  respectivamente.
- Se concluye que los resultados obtenidos de la gravedad específica de los suelos de Santa Isabel (2.69), Fátima (2.73) y Veracruz (2.73), se encuentran en el grupo de arcillas y limos que corresponden a la categoría de suelos finos.
- Se determinó que el 52.58% de las partículas del suelo de Santa Isabel, el 56.20% de las partículas del suelo de Fátima y el 50.48% de las partículas del suelo de Veracruz, pasan por el tamiz #200, por tal motivo se clasifican en suelos de granos o partículas finas según la clasificación que propone la norma AASHTO y SUCS.
- Se determinó que los valores del límite líquido y del límite plástico del suelo de Santa Isabel son de 48.08% y 40.77%, los valores del suelo de Fátima son de 48.08% y 40.77% y los valores del suelo de Veracruz son de 48.08% y 40.77% respectivamente.
- Se concluye que según el Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS), el suelo de Santa Isabel pertenece a limos de baja plasticidad (ML) y los suelos de Fátima y Veracruz corresponden a arcillas de baja plasticidad (CL). De acuerdo a la clasificación de la AASHTO, el suelo de Santa Isabel se encuentra en el subgrupo (A-5) y los suelos de Fátima y Veracruz se ubican en el subgrupo (A-7-6).

- Al realizar el ensayo Proctor modificado, se concluye que el valor de la densidad seca máxima disminuye de manera consecutiva, mientras que el valor del contenido de humedad óptimo aumenta cuando se incorpora el 1%, 3%, 5% y 8% de ceniza de cáscara de arroz a la muestra de suelo.
- Se determinó que el valor de la densidad seca máxima y el valor de la humedad óptima del suelo de Santa Isabel es de 1.241 g/cm<sup>3</sup> y del 31.9%, del suelo de Fátima es de 1.261 g/cm<sup>3</sup> y del 28%, y del suelo de Veracruz es de 1.236 g/cm<sup>3</sup> y del 32.5% respectivamente.
- Al obtener el grado de compactación natural del suelo de Santa Isabel (49.56%), del suelo de Fátima (37.91%) y del suelo de Veracruz (41.59%), se concluye que los suelos en estado natural están poco densificados por el alto contenido de humedad natural que poseen.
- Se concluye que al aumentar la ceniza de cáscara de arroz en un rango del 0% al 8% en los suelos del cantón Puyo, la capacidad portante CBR de las muestras analizadas de suelos de subrasante incrementa en el rango de los valores: en el sector de Santa Isabel del 7.80% al 12.10%, en el sector de Fátima del 8.60% al 13.20%, y en el sector de Veracruz del 8.40% al 13.50%.
- Según los resultados obtenidos de los espesores de las capas del pavimento flexible sin estabilizar: subbase (27cm), base (20cm) y carpeta asfáltica (10cm). De las capas del pavimento flexible estabilizado: subbase (20cm), base (18cm) y carpeta asfáltica (10cm), se concluye que la ceniza de cáscara de arroz si reduce los espesores de las diferentes capas del pavimento flexible.
- Se determinó que al realizar la estabilización del suelo de subrasante con ceniza de cáscara de arroz el valor de CBR aumentó para las muestras analizadas, pero al realizar el análisis económico se observó que hubo un incremento del 26.41% del costo total cuando se añadió la ceniza de cáscara de arroz al suelo de subrasante.

## 4.2. Recomendaciones

- Se recomienda leer las normas de los diferentes ensayos, para tener claro que equipos se utilizan y cuál es el procedimiento del mismo y así no tener ningún inconveniente durante la ejecución.
- Para la toma de muestras de suelo se recomienda establecer un sitio específico limpio y si no es el caso limpiar toda la superficie hasta tener una capa sin basura.
- En el ensayo de Cono y Arena se recomienda llevar los implementos necesarios, principalmente una balanza para tomar los pesos en ese mismo momento.
- Se recomienda señalar de una manera clara todas las muestras de suelo que se extraen, con el fin de no equivocarnos cuando llevemos las muestras al laboratorio.
- Para realizar la calibración del picnómetro se recomienda calentar el picnómetro y el agua utilizando el método baño maría, con el fin de tomar lecturas a diferentes temperaturas.
- Para obtener la ceniza de cáscara de arroz se recomienda quemar en recipientes grandes y después del proceso de combustión debemos colocar en bandejas para que se enfríe la ceniza.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. Clavería, D. Triana, and Y. Varon, “Caracterización del Comportamiento Geotécnico de los Suelos de Origen Volcánico estabilizado con Ceniza de Arroz y Bagazo de Caña como material para Subrasante,” Universidad Cooperativa de Colombia, 2018.
- [2] A. Montejo Fonseca, *Ingeniería de pavimentos*. Universidad Católica de Colombia, 2006.
- [3] R. Robayo, P. Matthey, and S. Delvasto, “Comportamiento mecánico de un concreto fluido adicionado con ceniza de cascarilla de arroz (CCA) y reforzado con fibras de acero,” *Rev. la construcción*, vol. 12, no. 2, pp. 139–151, Nov. 2013, doi: 10.4067/S0718-915X2013000200011.
- [4] C. Barragán and H. Cuervo, “Análisis del Comportamiento Físico-Mecánico de la Adicción de Ceniza de Cascarilla de Arroz de la Variedad Blanco a un Suelo Areno-Arcilloso,” Universidad Piloto de Colombia Sección Alto Magdalena, 2019.
- [5] I. Caamaño, “Mejoramiento de un Suelo Blando de Subrasante Mediante la Adicción de Cascarilla de Arroz y su Efecto en el Módulo Resiliente,” *Rev. CENIC. Ciencias Biológicas*, vol. 152, no. 3, p. 28, 2016.
- [6] E. Chicaiza and F. Oña, “Estabilización De Arcillas Expansivas De La Provincia De Manabí Con Puzolana Extraída De Ceniza De Cascarilla De Arroz,” Escuela Politécnica Nacional, 2018.
- [7] L. Y. Llamoga Vásquez, “Evaluación del potencial de expansión y capacidad portante de suelos arcillosos usados en subrasantes al adicionar ceniza de cascarilla de arroz, Camajarca 2016,” Universidad Privada del Norte, 2017.
- [8] M. Alava, J. Poaquiza, and G. Castillo, “La producción arroceras del Ecuador: Caso Samborondón, 2011 – 2015,” *Rev. Espac.*, vol. 39, no. Issn 0798 1015, p. 12, 2018, [Online]. Available: <https://www.revistaespacios.com/a18v39n34/a18v39n34p12.pdf>.

- [9] L. Allauca, H. Amen, and J. Lung, “Uso de Sílice en Hormigones de Alto Desempeño,” Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2009.
- [10] J. Molina, “Adición de Ceniza de Cascarilla de Arroz en Hormigón Compactado con Rodillo,” Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2002.
- [11] L. Behak and W. Peres, “Caracterización de un material compuesto por suelo arenoso, ceniza de cáscara de arroz y cal potencialmente útil para su uso en pavimentación,” *Rev. Ing. Constr.*, vol. 23, no. 1, pp. 34–41, 2008, doi: 10.4067/s0718-50732008000100004.
- [12] C. Crespo Villalaz, *Mecánica de suelos y cimentaciones*. México: Limusa, 2004.
- [13] C. Escobar and G. Duque, *Mecánica de los Suelos*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2002.
- [14] B. Das, *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*, Cuarta. México: Cengage, 2015.
- [15] J. Vargas, “Evaluación de los métodos AASHTO y USCS en la caracterización del suelo del barrio Mochuelo Bajo en la localidad de ciudad Bolívar,” Universidad Minuto de Dios, 2009.
- [16] A. S. Ceballos, “Determinación del límite líquido y plástico de los suelos mediante el uso del penetrómetro,” PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, 2012.
- [17] A. Castro, “Estabilización De Suelos Arcillosos Con Ceniza De Cascara De Arroz Para El Mejoramiento De Subrasante,” Universidad Nacional de Ingeniería, 2017.
- [18] K. Celi, “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS GRANULARES DE SUBRASANTE CON FINOS DE TEREFALATO DE POLIETILENO (PET), POLIPROPILENO (PP) Y POLIETILENO (PE),” Universidad Técnica de Ambato, 2021.

- [19] MTOP, *Manual de Diseño geométrico de carreteras*. Ecuador, 2013.
- [20] F. Moreira, *Pavimentos*. Ambato, 2019.
- [21] J. Figueroa, *GUÍA PARA EL USO DEL MÉTODO DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS NUEVOS SEGÚN MÉTODO AASHTO 2002*. 2005.
- [22] J. Bowles, *Manual de LABORATORIO DE SUELOS en Ingeniería Civil*. México: McGRAW-WILL, 1981.
- [23] J. Sinche and J. Zevallos, “INFLUENCIA DE LAS ESCAMAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (FLAKE PET) EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS SUELOS ARENO-LIMOSOS DEL DISTRITO DE LA MOLINA,” Escuela Profesional de Ingeniería Civil, 2019.
- [24] Universidad Centroamericana, “ANÁLISIS DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS POR TAMIZADO EN AGREGADO FINO Y GRUESO Y DETERMINACIÓN DE MATERIAL MÁS FINO QUE EL TAMIZ No. 200 EN AGREGADO MINERAL POR LAVADO,” Nicaragua.
- [25] INACAP, *Laboratorio de Hormigón y Suelos I. CHILE*.
- [26] M. Sánchez, “Estabilización de suelos expansivos con cal y cemento en el sector calcical del cantón tosaagua provincia de manabí,” PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, 2014.
- [27] V. M. Castaño-meneses, “POLÍMEROS PARA LA ESTABILIZACIÓN VOLUMÉTRICA DE ARCILLAS EXPANSIVAS,” *Rev. Iberoam. Polímeros*, vol. 11, no. 3, pp. 159–168, 2010.
- [28] H. Solminihac T., G. Echeverría G., and G. Thenoux Z., “Estabilización química de suelos: aplicaciones en la construcción de estructuras de pavimentos,” *Rev. Ing. Construcción*, no. 6, p. 24, 1989, [Online]. Available: <http://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/view/323>.

- [29] M. Pincioli, N. Ponzio, and M. Salsamendi, *EL ARROZ: ALIMENTO DE MILLONES*, 1st ed. Tandil: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 2015.
- [30] INEC, “Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2012,” 2012. [Online]. Available: [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac\\_2012/InformeEjecutivo.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2012/InformeEjecutivo.pdf).
- [31] A. Prada and C. Cortés, “La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: Una alternativa de aprovechamiento integral,” *Orinoquía*, vol. 14, no. 2, pp. 155–170, 2010.
- [32] C. Haro, “Análisis Comparativo De La Resistencia a Flexión Entre El Hormigón Tradicional Y Hormigón Adicionado Cenizas De Cascarilla De Arroz (CCA) Y Hormigón Adicionado Con Cenizas De Bagazo De Caña De Azúcar (CBC),” Universidad Técnica de Ambato, 2016.

## **ANEXOS**

### **Anexo A: Ensayos de Santa Isabel**

**Tabla 42:** Gravedad Específica (Santa Isabel)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
<b>Proyecto:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante		
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 832823.8 ; 9839553.8
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm
<b>Sector:</b>	Santa Isabel	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López
<b>Norma:</b>	AASHTO T100-15 ASTM D854-14	<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla
DATOS			
GRAVEDAD ESPECÍFICA			
Símbolo	Ensayo	N°	1
$T$	Temperatura del agua + suelo	C°	21
$W_r$	Peso del recipiente	G	106.30
$W_{rs}$	Peso del recipiente + suelo seco	G	155.30
$W_{bw}$	Peso del picnómetro + agua	G	662.76
$W_s$	Peso del suelo seco	G	49.00
	$W_s + W_{bw}$	G	711.76
$W_{bws}$	Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	G	693.60
$W_w$	Desplazamiento del agua	G	18.16
$K$	Factor de corrección por temperatura	G	0.998
$G_s$	Gravedad específica	--	2.69
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO			
El valor del peso del picnómetro más agua es de 662.76 g a una temperatura de 21°C, de acuerdo a la curva de calibración del picnómetro.			

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 43:** Densidad de campo - Cono y Arena (Santa Isabel)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
<b>Proyecto:</b>		Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante		
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 832823.8 ; 9839553.8	
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm	
<b>Sector:</b>	Santa Isabel	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López	
<b>Norma:</b>	AASHTO T191-14 ASTM D1556-07	<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla	
DATOS				
PESO DEL SUELO EXTRAÍDO				
Símbolo	Muestra	N°	1	
<i>W<sub>mr</sub></i>	Peso del suelo + recipiente	g	842	
<i>W<sub>r</sub></i>	Peso del recipiente (Funda plástica)	g	5.80	
<i>W<sub>m</sub></i>	Peso de la masa de suelo	g	836.20	
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE EXCAVACIÓN				
Símbolo	Muestra	N°	1	
<i>W<sub>ofca</sub></i>	Peso inicial Frasco + Cono + Arena	g	7455	
<i>W<sub>ofca</sub></i>	Peso final Frasco + Cono + Arena	g	6085	
<i>W<sub>ac</sub></i>	Peso arena en el cono (Calibración del cono)	g	399	
<i>W<sub>ah</sub></i>	Peso arena en la excavación	g	971	
$\gamma$	Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)	g/cm3	1.582	
<i>V<sub>m</sub></i>	Volumen de la excavación	cm3	613.78	
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO				
Símbolo	Muestra	N°	1 Inalterado	
<i>r</i>	Recipiente	N°	11	53
<i>W<sub>rh</sub></i>	Recipiente + Suelo Húmedo	g	99.90	104.60
<i>W<sub>rs</sub></i>	Recipiente + Suelo Seco	g	61.50	64.40
<i>W<sub>r</sub></i>	Peso del recipiente	g	30.90	30.20
<i>W<sub>w</sub></i>	Peso del agua	g	38.40	40.20
<i>W<sub>s</sub></i>	Peso del suelo seco	g	30.60	34.20
<i>W</i>	Contenido de Humedad	%	125.49	117.54
Contenido de Humedad Promedio (%):			121.52	
FASES DEL SUELO				
Volúmenes (V)	Peso (W)	Volúmenes (cm3)	Pesos (g)	
<i>V<sub>v</sub></i> =	<i>W<sub>v</sub></i> =	41.92	--	
<i>V<sub>a</sub></i> =	<i>W<sub>a</sub></i> =	1.72	0	
<i>V<sub>w</sub></i> =	<i>W<sub>w</sub></i> =	40.2	40.20	
<i>V<sub>s</sub></i> =	<i>W<sub>s</sub></i> =	12.71	34.20	
<i>V<sub>m</sub></i> =	<i>W<sub>m</sub></i> =	54.63	74.40	
DETERMINACIÓN DENSIDAD HÚMEDA				
Símbolo	Muestra	N°	1	
<i><math>\gamma<sub>m</sub></math></i>	Densidad húmeda ( <i>W<sub>hum</sub>/V<sub>e</sub></i> )	g/cm3	1.362	
DETERMINACIÓN DENSIDAD SECA				
Símbolo	Muestra	N°	1	
<i><math>\gamma<sub>d</sub></math></i>	Densidad seca ( <i>W<sub>seco</sub>/V<sub>e</sub></i> )	g/cm3	0.615	
Relación de vacíos	$E = Vv/Vs$	3.30	Natural	
Porosidad	$n\% = Vv/Vm*100$	76.73	%	
Grado de Saturación de agua	$Gw\% = Vw/Vv*100$	95.9	%	
Grado de Saturación de aire	$Ga\% = Va/Vv*100$	4.1	%	
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO				
El valor de la densidad húmeda ( $\gamma_m$ ) es de 1.362 g/cm3 y de la densidad seca ( $\gamma_d$ ) es de 0.615 g/cm3.				

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 44:** Granulometría (Santa Isabel)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
<b>Proyecto:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante				
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 832823.8 ; 9839553.8		
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad</b>	60cm		
<b>Sector:</b>	Santa Isabel	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López		
<b>Norma:</b>	AASHTO T88-20 ASTM D422-07	<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla		
DATOS					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
W INICIAL (g):			1000		
TAMIZ	mm	W retenido (g)	W ret.acum (g)	%ret.acum	% PASA
# 4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00
# 8	2.36	0.30	0.30	0.10	99.90
# 10	2	0.40	0.70	0.23	99.77
# 16	1.18	4.40	5.10	1.70	98.30
# 30	0.6	8.70	13.80	4.60	95.40
# 40	0.425	12.90	26.70	8.90	91.10
# 50	0.3	16.40	43.10	14.37	85.63
# 60	0.25	12.60	55.70	18.57	81.43
# 100	0.15	39.70	95.40	31.81	68.19
# 200	0.075	47.70	143.10	47.72	52.28
# Fuente	0.03	156.80	299.90	100.00	0.00
COEFICIENTE DEL SUELO					
<i>D</i> 10 (mm)	-	Cu=	$D_{60} / D_{10}$	-	
<i>D</i> 30 (mm)	-	Cc=	$D_{30}^2 / (D_{60} * D_{10})$	-	
<i>D</i> 60 (mm)	0.11	<i>Tamaño Nominal Máximo (TNM) mm</i>		#50	
PORCENTAJE DEL MATERIAL					
		Grava (G%)	Arena (S%)	Limo y Arcilla (Finos %)	
<i>SUCS</i>		0	47.72	52.28	
<i>AASHTO</i>		2	45.72	52.28	

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 45: Límites de Atterberg (Santa Isabel)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
<b>Proyecto:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante							
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 832823.8 ; 9839553.8					
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad</b>	60cm					
<b>Sector:</b>	Santa Isabel	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López					
<b>Norma:</b>	AASHTO T89-13 ASTM D4318-17 AASHTO T90-20 ASTM D4318-17	<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla					
DATOS								
LÍMITE LÍQUIDO								
MUESTRA N°	1		2		3		4	
Recipiente	20	27	14	38	66	18	16	36
Número de Golpes	8		19		27		38	
Peso muestra húmeda + recipiente (g)	26.22	25.19	28.98	26.41	23.35	24.95	27.45	27.88
Peso muestra seca + recipiente (g)	21.10	20.17	23.02	21.54	19.37	20.59	22.28	22.61
Peso Agua (Ww) (g)	5.12	5.02	5.96	4.87	3.98	4.36	5.17	5.27
Peso Recipiente (Wr) (g)	11.33	10.59	11.09	11.75	10.90	11.48	11.12	11.23
Peso Muestra Seca (Ws) (g)	9.77	9.58	11.93	9.79	8.47	9.11	11.16	11.38
Contenido de Humedad (W%)	52.41	52.40	49.96	49.74	46.99	47.86	46.33	46.31
Contenido de Humedad Promedio (PW%)	52.40		49.85		47.42		46.32	
LÍMITE PLÁSTICO								
MUESTRA N°	1	2	3	4	5			
Recipiente N°	P3	111	P1	202	18B			
Peso muestra húmeda + recipiente (g)	11.59	11.46	11.47	11.54	11.57			
Peso muestra seca + recipiente (g)	11.34	11.25	11.27	11.34	11.36			
Peso Agua (Ww) (g)	0.25	0.21	0.20	0.20	0.21			
Peso Recipiente (Wr) (g)	10.72	10.75	10.77	10.80	10.79			
Peso Muestra Seca (Ws) (g)	0.62	0.50	0.50	0.54	0.57			
Contenido de Humedad (W%)	40.32	42.00	40.00	37.04	36.84			
Contenido de Humedad Promedio (PW%)	40.77							

<b>LÍMITES DE ATTERBERG</b>		
<b>Límite líquido:</b>	<b>48.08</b>	<b>%</b>
<b>Límite plástico:</b>	<b>40.77</b>	<b>%</b>
<b>Índice plástico:</b>	<b>7.31</b>	<b>%</b>

<b>CLASIFICACIÓN DE SUELO ANALIZADO</b>		
<b>SISTEMA</b>	<b>AASHTO</b>	<b>A-5</b>
	<b>SUCS</b>	<b>ML</b>

**Fuente:** Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 46: Proctor Modificado + 0% CCA (Santa Isabel)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
<b>Proyecto:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante							
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 832823.8 ; 9839553.8					
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm					
<b>Sector:</b>	Santa Isabel	<b>Ceniza CA:</b>	0%					
<b>Norma:</b>	AASHTO T89-13 ASTM D4318-17	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López					
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla					
DATOS								
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C								
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18	Ø Diámetro interno	15.14	cm		
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10	h altura:	12.91	cm		
Energía de Compactación (lb*ft/ft <sup>3</sup> ):	55986	Peso del Molde:	12774	Volumen del Molde:	2324	cm <sup>3</sup>		
Peso Inicial de Muestra:	6000	6000	6000	6000				
PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3	4				
Peso molde + Suelo húmedo (g)	16352	16538	16666	16661				
Peso suelo húmedo Wm (g)	3578	3764	3892	3887				
Peso unitario húmedo γm (g/cm <sup>3</sup> )	1.540	1.620	1.675	1.673				
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD								
Identificación del recipiente	5	10	35	87	89	90	103	108
Peso del recipiente (Wr) (g)	32.50	29.90	31.10	29.00	31.70	31.50	30.70	30.20
Recipiente + suelo húmedo (Wr + Wh) (g)	145.10	168.70	164.10	154.30	193.70	175.00	207.60	191.50
Recipiente + suelo seco (Wr + Ws) (g)	122.70	139.10	133.10	124.80	149.80	137.70	154.40	145.70
Peso sólidos (Ws) (g)	90.20	109.20	102.00	95.80	118.10	106.20	123.70	115.50
Peso del agua (Ww) (g)	22.40	29.60	31.00	29.50	43.90	37.30	53.20	45.80
Contenido de Humedad (w%)	24.83	27.11	30.39	30.79	37.17	35.12	43.01	39.65
Promedio Contenido de Humedad (w%)	25.97		30.59		36.15		41.33	
Densidad Seca γd (g/cm <sup>3</sup> )	1.222		1.240		1.230		1.183	
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD DEL MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
<p style="text-align: center;"><b>CURVA DE COMPACTACIÓN</b></p> <p style="text-align: center;">W% Óptimo = 31.9 % γd máximo = 1.241 g/cm<sup>3</sup></p>								
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO								
El valor de la densidad seca γd es de 1.241 g/cm <sup>3</sup> , con un contenido de humedad óptimo de 31.9%, de acuerdo a la curva de compactación.								

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 47: Proctor Modificado + 1% CCA (Santa Isabel)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
<b>Proyecto:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante							
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 832823.8 ; 9839553.8					
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm					
<b>Sector:</b>	Santa Isabel	<b>Ceniza CA:</b>	1%					
<b>Norma:</b>	AASHTO T89-13 ASTM D4318-17	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López					
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla					
DATOS								
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C								
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18	Ø Diámetro interno	15.14	cm		
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10	h altura:	12.91	cm		
Energía de Compactación (lb*ft/ft <sup>3</sup> ):	55986	Peso del Molde:	12774	Volumen del Molde:	2324	cm <sup>3</sup>		
Peso Inicial de Muestra:	6000	6000	6000	6000				
PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3	4				
Peso molde + Suelo húmedo (g)	16090	16439	16602	16538				
Peso suelo húmedo Wm (g)	3316	3665	3828	3764				
Peso unitario húmedo γm (g/cm <sup>3</sup> )	1.427	1.577	1.647	1.620				
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD								
Identificación del recipiente	5	10	35	87	89	90	103	108
Peso del recipiente (Wr) (g)	32.50	29.90	31.10	29.00	31.70	31.50	30.70	30.20
Recipiente + suelo húmedo (Wr + Wh) (g)	192.20	182.20	178.90	163.00	201.10	183.30	203.90	196.60
Recipiente + suelo seco (Wr + Ws) (g)	159.50	153.20	145.00	132.40	157.90	144.70	151.70	145.80
Peso sólidos (Ws) (g)	127.00	123.30	113.90	103.40	126.20	113.20	121.00	115.60
Peso del agua (Ww) (g)	32.70	29.00	33.90	30.60	43.20	38.60	52.20	50.80
Contenido de Humedad (w%)	25.75	23.52	29.76	29.59	34.23	34.10	43.14	43.94
Promedio Contenido de Humedad (w%)	24.63		29.68		34.17		43.54	
Densidad Seca γd (g/cm <sup>3</sup> )	1.145		1.216		1.228		1.128	
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD DEL MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
<p style="text-align: center;"><b>CURVA DE COMPACTACIÓN</b></p> <p style="text-align: center;">W% Óptimo = 32.5 % γd máximo = 1.234 g/cm<sup>3</sup></p>								
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO								
El valor de la densidad seca γd es de 1.234 g/cm <sup>3</sup> , con un contenido de humedad óptimo de 32.5%, de acuerdo a la curva de compactación.								

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 48: Proctor Modificado + 3% CCA (Santa Isabel)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
<b>Proyecto:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante							
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 832823.8 ; 9839553.8					
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm					
<b>Sector:</b>	Santa Isabel	<b>Ceniza CA:</b>	3%					
<b>Norma:</b>	AASHTO T89-13 ASTM D4318-17	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López					
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla					
DATOS								
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C								
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18	Ø Diámetro interno	15.14	cm		
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10	h altura:	12.91	cm		
Energía de Compactación (lb*ft/ft <sup>3</sup> ):	55986	Peso del Molde:	12774	Volumen del Molde:	2324	cm <sup>3</sup>		
Peso Inicial de Muestra:	6000	6000	6000	6000				
PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3	4				
Peso molde + Suelo húmedo (g)	15905	16335	16575	16550				
Peso suelo húmedo Wm (g)	3131	3561	3801	3776				
Peso unitario húmedo γm (g/cm <sup>3</sup> )	1.347	1.532	1.636	1.625				
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD								
Identificación del recipiente	5	10	35	87	89	90	103	108
Peso del recipiente (Wr) (g)	32.50	29.90	31.10	29.00	31.70	31.50	30.70	30.20
Recipiente + suelo húmedo (Wr + Wh) (g)	187.50	176.20	175.90	187.20	188.80	187.90	191.80	212.80
Recipiente + suelo seco (Wr + Ws) (g)	156.30	147.00	142.40	152.20	149.20	148.10	145.60	160.30
Peso sólidos (Ws) (g)	123.80	117.10	111.30	123.20	117.50	116.60	114.90	130.10
Peso del agua (Ww) (g)	31.20	29.20	33.50	35.00	39.60	39.80	46.20	52.50
Contenido de Humedad (w%)	25.20	24.94	30.10	28.41	33.70	34.13	40.21	40.35
Promedio Contenido de Humedad (w%)	25.07		29.25		33.92		40.28	
Densidad Seca γd (g/cm <sup>3</sup> )	1.077		1.185		1.221		1.158	
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD DEL MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <h3 style="text-align: center;">CURVA DE COMPACTACIÓN</h3> <p style="text-align: center;">W% Óptimo = 33.1 % γd máximo = 1.222 g/cm<sup>3</sup></p> </div>								
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO								
El valor de la densidad seca γd es de 1.222 g/cm <sup>3</sup> , con un contenido de humedad óptimo de 33.1%, de acuerdo a la curva de compactación.								

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 49:** Proctor Modificado + 5% CCA (Santa Isabel)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
<b>Proyecto:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante							
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 832823.8 ; 9839553.8					
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm					
<b>Sector:</b>	Santa Isabel	<b>Ceniza CA:</b>	5%					
<b>Norma:</b>	AASHTO T89-13 ASTM D4318-17	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López					
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla					
DATOS								
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C								
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18	Ø Diámetro interno	15.14	cm		
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10	h altura:	12.91	cm		
Energía de Compactación (lb*ft/ft <sup>3</sup> ):	55986	Peso del Molde:	12774	Volumen del Molde:	2324	cm <sup>3</sup>		
Peso Inicial de Muestra:	6000	6000	6000	6000				
PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3	4				
Peso molde + Suelo húmedo (g)	15872	16458	16623	16587				
Peso suelo húmedo Wm (g)	3098	3684	3849	3813				
Peso unitario húmedo $\gamma_m$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.333	1.585	1.656	1.641				
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD								
Identificación del recipiente	5	10	35	87	89	90	103	108
Peso del recipiente (Wr) (g)	32.50	29.90	31.10	29.00	31.70	31.50	30.70	30.20
Recipiente + suelo húmedo (Wr + Wh) (g)	197.10	186.70	168.30	172.30	194.10	195.40	217.00	245.80
Recipiente + suelo seco (Wr + Ws) (g)	162.60	153.80	133.90	138.20	150.80	150.80	158.70	179.10
Peso sólidos (Ws) (g)	130.10	123.90	102.80	109.20	119.10	119.30	128.00	148.90
Peso del agua (Ww) (g)	34.50	32.90	34.40	34.10	43.30	44.60	58.30	66.70
Contenido de Humedad (w%)	26.52	26.55	33.46	31.23	36.36	37.38	45.55	44.80
Promedio Contenido de Humedad (w%)	26.54		32.35		36.87		45.17	
Densidad Seca $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.053		1.198		1.210		1.130	
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD DEL MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
<p style="text-align: center;"><b>CURVA DE COMPACTACIÓN</b></p> <p style="text-align: center;">W% Óptimo = 34.7 %  <math>\gamma_d</math> máximo = 1.219 g/cm<sup>3</sup></p>								
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO								
El valor de la densidad seca $\gamma_d$ es de 1.219 g/cm <sup>3</sup> , con un contenido de humedad óptimo de 34.7%, de acuerdo a la curva de compactación.								

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 50: Proctor Modificado + 8% CCA (Santa Isabel)**

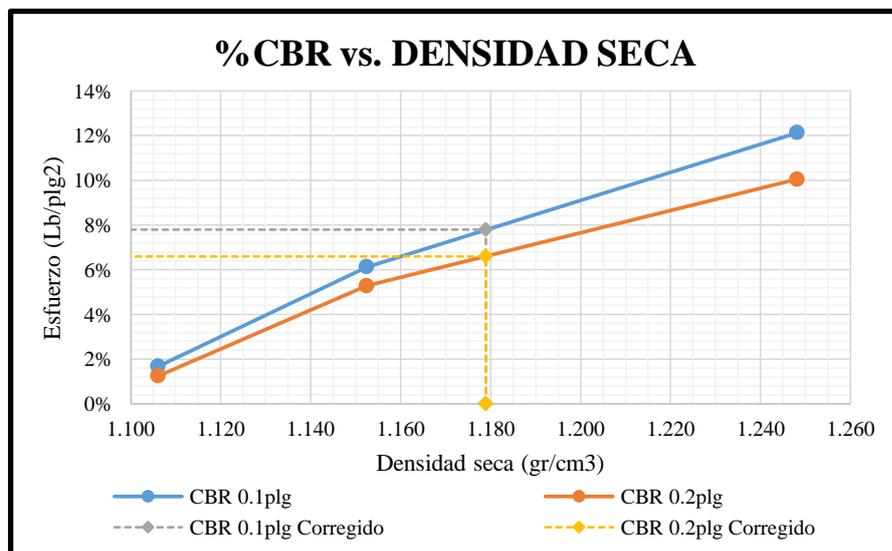
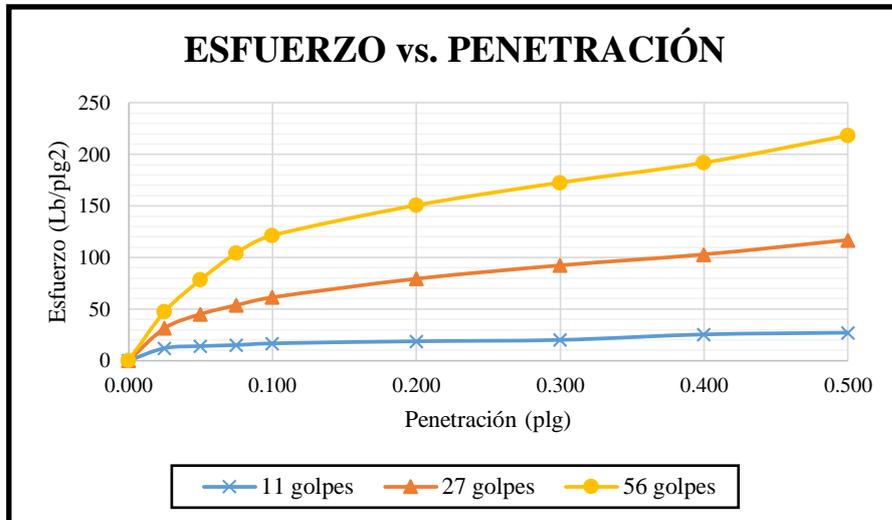
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
<b>Proyecto:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante							
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 832823.8 ; 9839553.8					
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm					
<b>Sector:</b>	Santa Isabel	<b>Ceniza CA:</b>	8%					
<b>Norma:</b>	AASHTO T89-13 ASTM D4318-17	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López					
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla					
DATOS								
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C								
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18	Ø Diámetro interno		15.14	cm	
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10	h altura:		12.91	cm	
Energía de Compactación (lb*ft/ft <sup>3</sup> ):	55986	Peso del Molde:	12774	Volumen del Molde:		2324	cm <sup>3</sup>	
Peso Inicial de Muestra:	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3	4				
Humedad Inicial Deseada	10	15	20	25				
Peso molde + Suelo húmedo (g)	15763	16317	16495	16482				
Peso suelo húmedo Wm (g)	2989	3543	3721	3708				
Peso unitario húmedo γm (g/cm <sup>3</sup> )	1.286	1.525	1.601	1.596				
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD								
Identificación del recipiente	5	10	35	87	89	90	103	108
Peso del recipiente (Wr) (g)	32.50	29.90	31.10	29.00	31.70	31.50	30.70	30.20
Recipiente + suelo húmedo (Wr + Wh) (g)	186.80	198.00	174.00	175.10	193.50	177.20	209.80	190.00
Recipiente + suelo seco (Wr + Ws) (g)	154.30	162.40	139.90	139.40	150.90	137.90	156.80	142.30
Peso sólidos (Ws) (g)	121.80	132.50	108.80	110.40	119.20	106.40	126.10	112.10
Peso del agua (Ww) (g)	32.50	35.60	34.10	35.70	42.60	39.30	53.00	47.70
Contenido de Humedad (w%)	26.68	26.87	31.34	32.34	35.74	36.94	42.03	42.55
Promedio Contenido de Humedad (w%)	26.78		31.84		36.34		42.29	
Densidad Seca γd (g/cm <sup>3</sup> )	1.015		1.156		1.174		1.121	
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD DEL MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
<p style="text-align: center;"><b>CURVA DE COMPACTACIÓN</b></p> <p style="text-align: center;">W% Óptimo = 35.0 % γd máximo = 1.178g/cm<sup>3</sup></p>								
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO								
El valor de la densidad seca γd es de 1.178 g/cm <sup>3</sup> , con un contenido de humedad óptimo de 35.0%, de acuerdo a la curva de compactación.								

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 51: CBR + 0% CCA (Santa Isabel)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
<b>PROYECTO:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante					
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 832823.8 ; 9839553.8			
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm			
<b>Sector:</b>	Santa Isabel	<b>Ceniza CA:</b>	0%			
<b>Norma:</b>	AASHTO T193-13	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López			
	ASTM D1883-16	<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla			
DATOS						
MOLDE	2		7		6	
DIMENSIONES	Diámetro	15.18	Diámetro	15.11	Diámetro	15.14
	Altura	12.70	Altura	12.71	Altura	12.91
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	12672		10198		9589	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	3354		3464		3824	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.459		1.520		1.645	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	98	88	84	85	3	1
Masa del recipiente	32.6	32.6	32.4	33.2	33.4	31.6
Masa suelo hum+recip. (gr)	190.3	181.3	201.2	192.9	201.7	201.7
Masa suelo seco+recip. (gr)	153.1	144.4	163.6	151.4	162.1	159.6
Masa de agua (gr)	37.2	36.9	37.6	41.5	39.6	42.1
Masa suelo seco (gr)	120.5	111.8	131.2	118.2	128.7	128
Contenido de humedad W%	30.87%	33.01%	28.66%	35.11%	30.77%	32.89%
Promedio W%	31.94%		31.88%		31.83%	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1.106		1.152		1.248	
DESPÚES DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	12974		10602		9829	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	3656		3868		4064	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.591		1.697		1.749	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	5	10	35	87	89	90
Masa del recipiente	32.50	29.90	31.10	29.00	31.70	31.50
Masa suelo hum+recip. (gr)	156	171.4	167.4	159.2	157.3	160.1
Masa suelo seco+recip. (gr)	112.2	123.7	122.8	114.9	117.8	118.3
Masa de agua (gr)	43.8	47.7	44.6	44.3	39.5	41.8
Masa suelo seco (gr)	79.7	93.8	91.7	85.9	86.1	86.8
Contenido de humedad W%	54.96%	50.85%	48.64%	51.57%	45.88%	48.16%
Promedio W%	52.90%		50.10%		47.02%	
ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg2		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	36	12.00	94	31.33	142	47.33
0.050	42	14.00	135	45.00	235	78.33
0.075	45	15.00	161	53.67	313	104.33
0.100	50	16.67	184	61.33	364	121.33
0.200	56	18.67	238	79.33	452	150.67
0.300	60	20.00	277	92.33	518	172.67
0.400	76	25.33	309	103.00	576	192.00
0.500	81	27.00	351	117.00	655	218.33

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
N° MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	16.67	1.67%	1.106	18.67	1.24%	1.106
B	61.33	6.13%	1.152	79.33	5.29%	1.152
C	121.33	12.13%	1.248	150.67	10.04%	1.248
<b>Densidad Seca Máxima</b>	1.241					
<b>DSM</b>	%CBR 0.1plg		%CBR 0.2plg		%CBR MAYOR	
95%	1.179	7.80%	6.60%	7.80%		



**DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO**

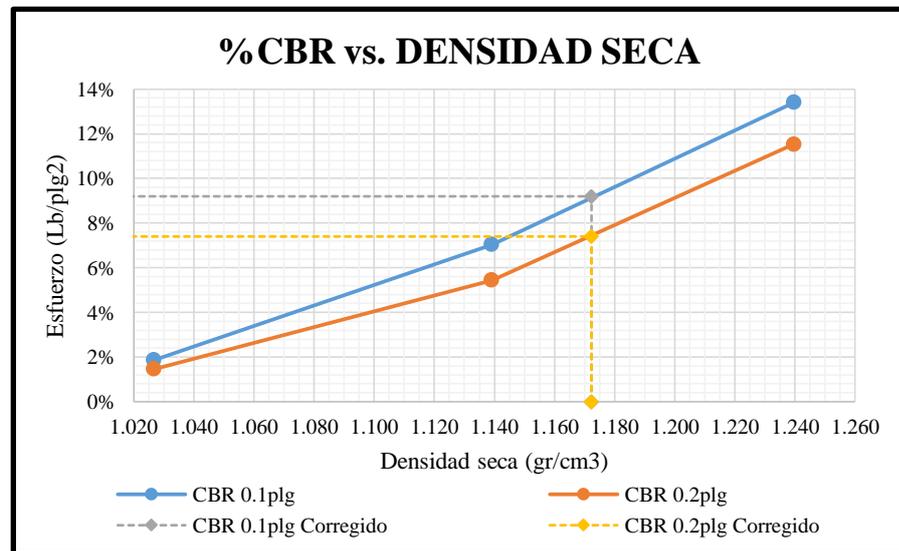
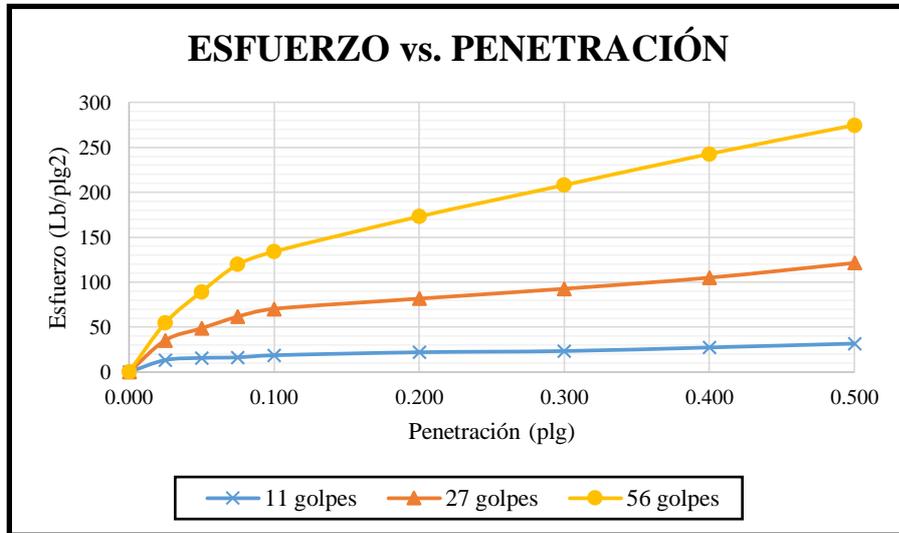
El valor del CBR es 7.80%.

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 52: CBR + 1% CCA (Santa Isabel)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
<b>PROYECTO:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante					
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 832823.8 ; 9839553.8			
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm			
<b>Sector:</b>	Santa Isabel	<b>Ceniza CA:</b>	1%			
<b>Norma:</b>	AASHTO T193-13 ASTM D1883-16	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López			
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla			
DATOS						
MOLDE	2		7		6	
DIMENSIONES	Diámetro	15.18	Diámetro	15.11	Diámetro	15.14
	Altura	12.70	Altura	12.71	Altura	12.91
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	12450		10176		9576	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	3132		3442		3811	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.363		1.510		1.640	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	103	108	84	85	3	1
Masa del recipiente	30.7	30.2	32.4	33.2	33.4	31.6
Masa suelo hum+recip. (gr)	191.9	190.2	194.9	185.6	207.7	190.8
Masa suelo seco+recip. (gr)	152.1	150.8	154.8	148.3	164.8	152.3
Masa de agua (gr)	39.8	39.4	40.1	37.3	42.9	38.5
Masa suelo seco (gr)	121.4	120.6	122.4	115.1	131.4	120.7
Contenido de humedad W%	32.78%	32.67%	32.76%	32.41%	32.65%	31.90%
Promedio W%	32.73%		32.58%		32.27%	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1.027		1.139		1.240	
DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	12959		10535		9822	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	3641		3801		4057	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.584		1.668		1.746	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	88	98	5	10	87	89
Masa del recipiente	32.60	32.60	32.50	29.90	29.00	31.70
Masa suelo hum+recip. (gr)	189.7	180.4	172.9	169.2	185.5	168.9
Masa suelo seco+recip. (gr)	133.6	130	126.4	123.7	135.1	125.7
Masa de agua (gr)	56.1	50.4	46.5	45.5	50.4	43.2
Masa suelo seco (gr)	101	97.4	93.9	93.8	106.1	94
Contenido de humedad W%	55.54%	51.75%	49.52%	48.51%	47.50%	45.96%
Promedio W%	53.64%		49.01%		46.73%	
ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg2		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	40	13.33	106	35.33	164	54.67
0.050	47	15.67	146	48.67	268	89.33
0.075	49	16.33	185	61.67	359	119.67
0.100	56	18.67	211	70.33	402	134.00
0.200	66	22.00	245	81.67	519	173.00
0.300	70	23.33	278	92.67	624	208.00
0.400	82	27.33	315	105.00	728	242.67
0.500	95	31.67	364	121.33	824	274.67

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
N° MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	18.67	1.87%	1.027	22.00	1.47%	1.027
B	70.33	7.03%	1.139	81.67	5.44%	1.139
C	134.00	13.40%	1.240	173.00	11.53%	1.240
<b>Densidad Seca Máxima</b>	1.234					
<b>DSM</b>	<b>%CBR 0.1plg</b>	<b>%CBR 0.2plg</b>		<b>%CBR MAYOR</b>		
95%	1.172	9.20%	7.40%		9.20%	



#### DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

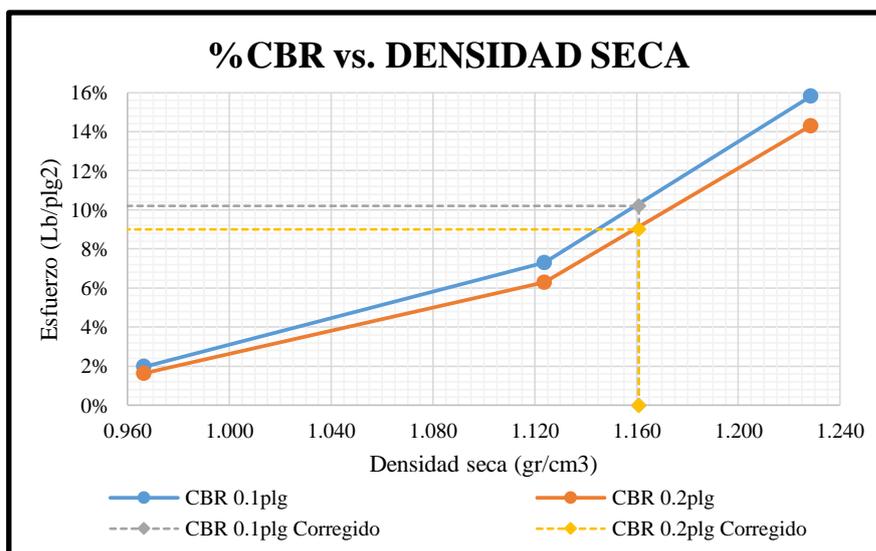
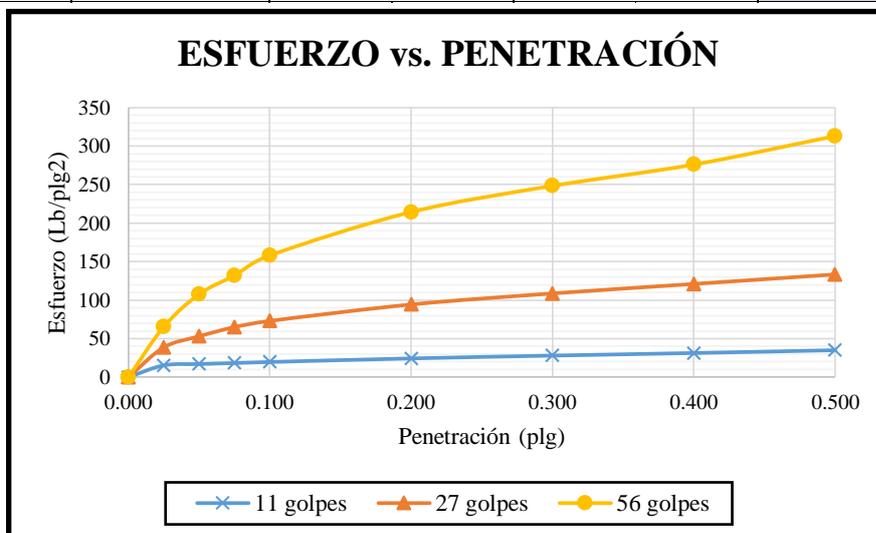
El valor del CBR es 9.20%.

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 53: CBR + 3% CCA (Santa Isabel)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
<b>PROYECTO:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante					
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 832823.8 ; 9839553.8			
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm			
<b>Sector:</b>	Santa Isabel	<b>Ceniza CA:</b>	3%			
<b>Norma:</b>	AASHTO T193-13 ASTM D1883-16	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López			
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla			
DATOS						
MOLDE	2		7		6	
DIMENSIONES	Diámetro	15.18	Diámetro	15.11	Diámetro	15.14
	Altura	12.70	Altura	12.71	Altura	12.91
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	12348		10079		9560	
Masa Molde (gr)	9408		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	2940		3345		3795	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.279		1.468		1.633	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	108	103	1	84	90	35
Masa del recipiente	30.2	30.7	31.6	32.4	31.5	31.1
Masa suelo hum+recip. (gr)	184.7	181.3	183.6	200.8	192.8	198.8
Masa suelo seco+recip. (gr)	147.1	144.3	147.4	162	152.8	157.3
Masa de agua (gr)	37.6	37	36.2	38.8	40	41.5
Masa suelo seco (gr)	116.9	113.6	115.8	129.6	121.3	126.2
Contenido de humedad W%	32.16%	32.57%	31.26%	29.94%	32.98%	32.88%
Promedio W%	32.37%		30.60%		32.93%	
Peso unitario seco (gr/cm3)	0.966		1.124		1.228	
DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	12872		10448		9808	
Masa Molde (gr)	9408		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	3464		3714		4043	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.507		1.630		1.740	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	103	108	84	85	1	3
Masa del recipiente	30.70	30.20	32.40	33.20	31.60	33.40
Masa suelo hum+recip. (gr)	167.1	172.2	171.9	175.2	190.2	166.4
Masa suelo seco+recip. (gr)	116.9	121.9	123.9	126.5	135.7	124.9
Masa de agua (gr)	50.2	50.3	48	48.7	54.5	41.5
Masa suelo seco (gr)	86.2	91.7	91.5	93.3	104.1	91.5
Contenido de humedad W%	58.24%	54.85%	52.46%	52.20%	52.35%	45.36%
Promedio W%	56.54%		52.33%		48.85%	
ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg2		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	46	15.33	116	38.67	196	65.33
0.050	51	17.00	159	53.00	323	107.67
0.075	55	18.33	195	65.00	396	132.00
0.100	59	19.67	219	73.00	474	158.00
0.200	73	24.33	283	94.33	643	214.33
0.300	84	28.00	326	108.67	745	248.33
0.400	94	31.33	363	121.00	828	276.00
0.500	105	35.00	400	133.33	939	313.00

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
N° MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	19.67	1.97%	0.966	24.33	1.62%	0.966
B	73.00	7.30%	1.124	94.33	6.29%	1.124
C	158.00	15.80%	1.228	214.33	14.29%	1.228
<b>Densidad Seca Máxima</b>	1.222					
<b>DSM</b>	<b>%CBR 0.1plg</b>	<b>%CBR 0.2plg</b>	<b>%CBR MAYOR</b>			
95%	1.161	10.20%	9.00%	10.20%		



#### DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

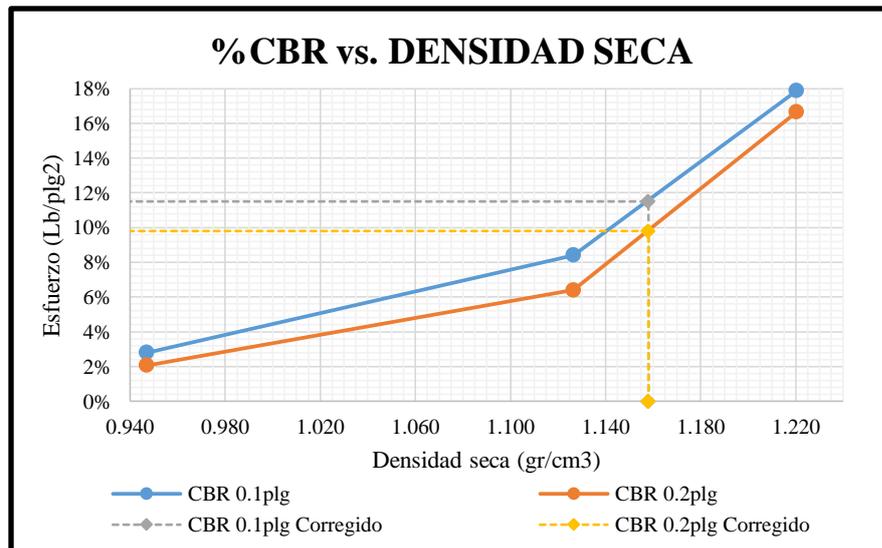
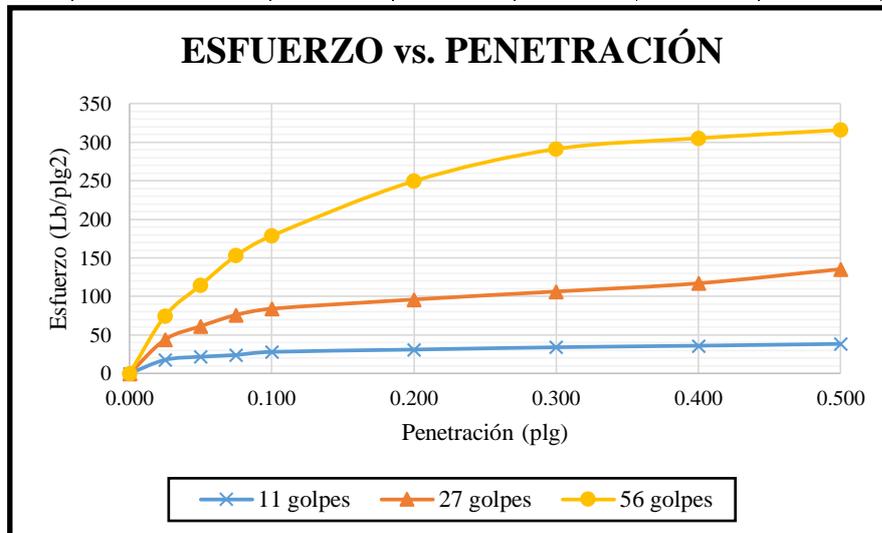
El valor del CBR es 10.20%.

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 54: CBR + 5% CCA (Santa Isabel)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
<b>PROYECTO:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante					
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 832823.8 ; 9839553.8			
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm			
<b>Sector:</b>	Santa Isabel	<b>Ceniza CA:</b>	5%			
<b>Norma:</b>	AASHTO T193-13 ASTM D1883-16	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López			
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla			
DATOS						
MOLDE	2		7		6	
DIMENSIONES	Diámetro	15.18	Diámetro	15.11	Diámetro	15.14
	Altura	12.70	Altura	12.71	Altura	12.91
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	12313		10249		9574	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	2995		3515		3809	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.303		1.542		1.639	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	88	89	10	87	35	90
Masa del recipiente	32.6	31.7	29.9	29	31.1	31.5
Masa suelo hum+recip. (gr)	201.7	179.5	192.4	188.9	192	185.8
Masa suelo seco+recip. (gr)	155.3	139.3	148.9	145.5	150.9	146.4
Masa de agua (gr)	46.4	40.2	43.5	43.4	41.1	39.4
Masa suelo seco (gr)	122.7	107.6	119	116.5	119.8	114.9
Contenido de humedad W%	37.82%	37.36%	36.55%	37.25%	34.31%	34.29%
Promedio W%	37.59%		36.90%		34.30%	
Peso unitario seco (gr/cm3)	0.947		1.127		1.220	
DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	12862		10484		9757	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	3544		3750		3992	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.542		1.645		1.718	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	1	108	5	98	3	84
Masa del recipiente	31.60	30.20	32.50	32.60	33.40	32.40
Masa suelo hum+recip. (gr)	189.5	188.7	187	196.1	189.3	178.1
Masa suelo seco+recip. (gr)	131.4	132.1	134.9	141.9	139.7	130.2
Masa de agua (gr)	58.1	56.6	52.1	54.2	49.6	47.9
Masa suelo seco (gr)	99.8	101.9	102.4	109.3	106.3	97.8
Contenido de humedad W%	58.22%	55.54%	50.88%	49.59%	46.66%	48.98%
Promedio W%	56.88%		50.23%		47.82%	
ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg2		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	53	17.67	132	44.00	224	74.67
0.050	65	21.67	184	61.33	344	114.67
0.075	72	24.00	228	76.00	459	153.00
0.100	84	28.00	252	84.00	536	178.67
0.200	93	31.00	288	96.00	749	249.67
0.300	102	34.00	319	106.33	874	291.33
0.400	108	36.00	351	117.00	916	305.33
0.500	115	38.33	406	135.33	948	316.00

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
N° MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	28.00	2.80%	0.947	31.00	2.07%	0.947
B	84.00	8.40%	1.127	96.00	6.40%	1.127
C	178.67	17.87%	1.220	249.67	16.64%	1.220
<b>Densidad Seca Máxima</b>			1.219			
<b>DSM</b>		<b>%CBR 0.1plg</b>	<b>%CBR 0.2plg</b>	<b>%CBR MAYOR</b>		
95%	1.158	11.50%	9.80%	11.50%		



#### DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

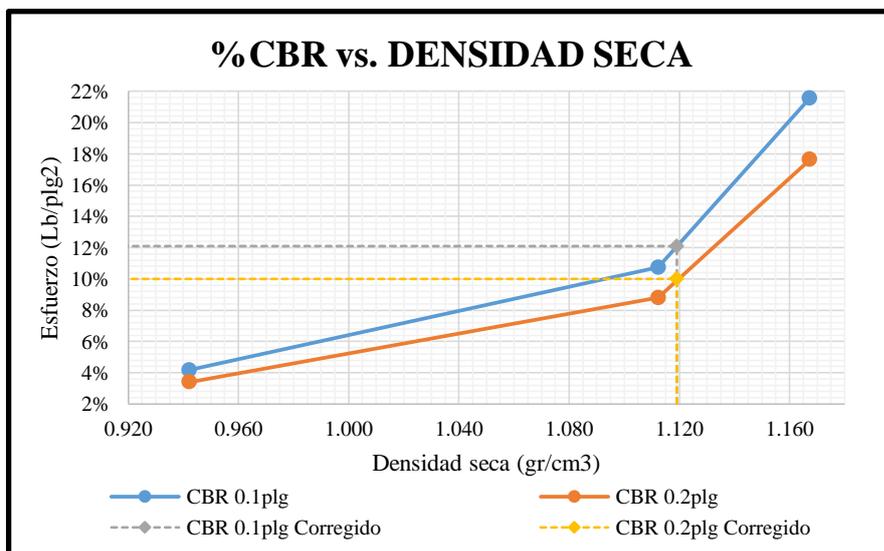
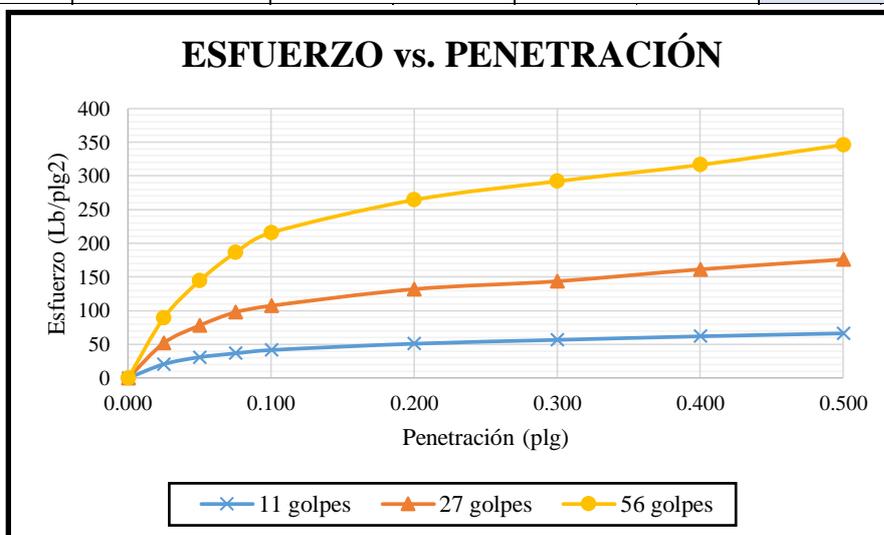
El valor del CBR es 11.50%.

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 55: CBR + 8% CCA (Santa Isabel)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
<b>PROYECTO:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante					
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 832823.8 ; 9839553.8			
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm			
<b>Sector:</b>	Santa Isabel	<b>Ceniza CA:</b>	8%			
<b>Norma:</b>	AASHTO T193-13 ASTM D1883-16	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López			
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla			
DATOS						
MOLDE	2		7		6	
DIMENSIONES	Diámetro	15.18	Diámetro	15.11	Diámetro	15.14
	Altura	12.70	Altura	12.71	Altura	12.91
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	12187		10149		9432	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	2869		3415		3667	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.248		1.498		1.578	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	103	85	35	89	90	88
Masa del recipiente	30.7	33.2	31.1	31.7	31.5	32.6
Masa suelo hum+recip. (gr)	151.1	175.7	164.9	153	173.1	182.5
Masa suelo seco+recip. (gr)	121.7	140.6	130.7	121.5	134.7	145.2
Masa de agua (gr)	29.4	35.1	34.2	31.5	38.4	37.3
Masa suelo seco (gr)	91	107.4	99.6	89.8	103.2	112.6
Contenido de humedad W%	32.31%	32.68%	34.34%	35.08%	37.21%	33.13%
Promedio W%	32.49%		34.71%		35.17%	
Peso unitario seco (gr/cm3)	0.942		1.112		1.167	
DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	12761		10410		9634	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	3443		3676		3869	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.498		1.613		1.665	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	1	5	10	87	98	108
Masa del recipiente	31.60	32.50	29.90	29.00	32.60	30.20
Masa suelo hum+recip. (gr)	170.9	187.8	159.2	161.2	193.2	160.7
Masa suelo seco+recip. (gr)	119.4	131.9	113.2	118.9	138.7	120.5
Masa de agua (gr)	51.5	55.9	46	42.3	54.5	40.2
Masa suelo seco (gr)	87.8	99.4	83.3	89.9	106.1	90.3
Contenido de humedad W%	58.66%	56.24%	55.22%	47.05%	51.37%	44.52%
Promedio W%	57.45%		51.14%		47.94%	
ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg2		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	62	20.67	156	52.00	268	89.33
0.050	93	31.00	234	78.00	433	144.33
0.075	110	36.67	293	97.67	558	186.00
0.100	125	41.67	322	107.33	647	215.67
0.200	153	51.00	396	132.00	793	264.33
0.300	170	56.67	431	143.67	876	292.00
0.400	186	62.00	484	161.33	949	316.33
0.500	199	66.33	528	176.00	1038	346.00

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
N° MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	41.67	4.17%	0.942	51.00	3.40%	0.942
B	107.33	10.73%	1.112	132.00	8.80%	1.112
C	215.67	21.57%	1.167	264.33	17.62%	1.167
<b>Densidad Seca Máxima</b>			1.178			
<b>DSM</b>		<b>%CBR 0.1plg</b>	<b>%CBR 0.2plg</b>	<b>%CBR MAYOR</b>		
95%	1.119	12.10%	10.00%	12.10%		



#### DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

El valor del CBR es 12.10%.

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

## **Anexo B: Ensayos de Fátima**

**Tabla 56:** Gravedad Específica (Fátima)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
<b>Proyecto:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante		
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 833642.4 ; 9843252.4
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad</b>	60cm
<b>Sector:</b>	Fátima	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López
<b>Norma:</b>	AASHTO T100-15 ASTM D854-14	<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla
DATOS			
GRAVEDAD ESPECÍFICA			
Símbolo	Ensayo	N°	1
<i>T</i>	Temperatura del agua + suelo	C°	18
<i>W<sub>r</sub></i>	Peso del recipiente	G	145.30
<i>W<sub>rs</sub></i>	Peso del recipiente + suelo seco	G	195.10
<i>W<sub>bw</sub></i>	Peso del picnómetro + agua	G	662.99
<i>W<sub>s</sub></i>	Peso del suelo seco	G	49.80
	<i>W<sub>s</sub></i> + <i>W<sub>bw</sub></i>	G	712.79
<i>W<sub>bws</sub></i>	Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	G	694.60
<i>W<sub>w</sub></i>	Desplazamiento del agua	G	18.19
<i>K</i>	Factor de corrección por temperatura	G	0.9986
<i>G<sub>s</sub></i>	Gravedad específica	--	2.73
CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO			
<p>El gráfico muestra una serie de puntos de datos que siguen una tendencia decreciente. Una línea de tendencia cuadrática se ajusta a los datos. Un recuadro azul indica la ecuación <math>y = -0.0019x^2 - 0.0016x + 663.63</math> y el coeficiente de determinación <math>R^2 = 0.9928</math>. Otro recuadro azul indica el punto de calibración: <math>W_{bw} = 662.99 \text{ g}</math> a <math>18^\circ\text{C}</math>.</p>			
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO			
El valor del peso del picnómetro más agua es de 662.99 g a una temperatura de 18°C, de acuerdo a la curva de calibración del picnómetro.			

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 57:** Densidad de campo - Cono y Arena (Fátima)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
<b>Proyecto:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante			
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 833642.4 ; 9843252.4	
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad</b>	60cm	
<b>Sector:</b>	Fátima	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López	
<b>Norma:</b>	AASHTO T191-14 ASTM D1556-07	<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla	
DATOS				
PESO DEL SUELO EXTRAÍDO				
Símbolo	Muestra	N°	1	
<i>Wmr</i>	Peso del suelo + recipiente	g	829	
<i>Wr</i>	Peso del recipiente (Funda plástica)	g	5.80	
<i>Wm</i>	Peso de la masa de suelo	g	823.20	
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE EXCAVACIÓN				
Símbolo	Muestra	N°	1	
<i>Wofca</i>	Peso inicial Frasco + Cono + Arena	g	7758	
<i>Wofca</i>	Peso final Frasco + Cono + Arena	g	6351	
<i>Wac</i>	Peso arena en el cono (Calibración del cono)	g	399	
<i>Wah</i>	Peso arena en la excavación	g	1008	
$\gamma$	Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)	g/cm3	1.582	
<i>Vm</i>	Volumen de la excavación	cm3	637.17	
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO				
Símbolo	Muestra	N°	1 Inalterado	
<i>r</i>	Recipiente	N°	78	79
<i>Wrh</i>	Recipiente + Suelo Húmedo	g	114.30	113.50
<i>Wrs</i>	Recipiente + Suelo Seco	g	61.90	61.20
<i>Wr</i>	Peso del recipiente	g	30.80	30.90
<i>Ww</i>	Peso del agua	g	52.40	52.30
<i>Ws</i>	Peso del suelo seco	g	31.10	30.30
<i>W</i>	Contenido de Humedad	%	168.49	172.61
Contenido de Humedad Promedio (%):			170.55	
FASES DEL SUELO				
Volúmenes (V)	Peso (W)	Volúmenes (cm3)	Pesos (g)	
<i>Vv</i> =	<i>Wv</i> =	53.24	--	
<i>Va</i> =	<i>Wa</i> =	0.84	0	
<i>Vw</i> =	<i>Ww</i> =	52.4	52.40	
<i>Vs</i> =	<i>Ws</i> =	11.39	31.10	
<i>Vm</i> =	<i>Wm</i> =	64.63	83.50	
DETERMINACIÓN DENSIDAD HÚMEDA				
Símbolo	Muestra	N°	1	
<i>ym</i>	Densidad húmeda ( $W_{hum}/V_e$ )	g/cm3	1.292	
DETERMINACIÓN DENSIDAD SECA				
Símbolo	Muestra	N°	1	
<i>yd</i>	Densidad seca ( $W_{seco}/V_e$ )	g/cm3	0.478	
Relación de vacíos	$E = V_v/V_s$	4.67	Natural	
Porosidad	$n\% = V_v/V_m * 100$	82.38	%	
Grado de Saturación de agua	$G_w\% = V_w/V_v * 100$	98.42	%	
Grado de Saturación de aire	$G_a\% = V_a/V_v * 100$	1.58	%	
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO				
El valor de la densidad húmeda ( $\gamma_m$ ) es de 1.292 g/cm3 y de la densidad seca ( $\gamma_d$ ) es de 0.478 g/cm3.				

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 58: Granulometría (Fátima)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
<b>Proyecto:</b> Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante					
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 833642.4 ; 9843252.4		
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm		
<b>Sector:</b>	Fátima	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López		
<b>Norma:</b>	AASHTO T88-20 ASTM D422-07	<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla		
DATOS					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
W INICIAL (g):			1000		
TAMIZ	mm	W retenido (g)	W ret.acum (g)	%ret.acum	% PASA
# 4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00
# 8	2.36	0.00	0.00	0.00	100.00
# 10	2	0.20	0.20	0.07	99.93
# 16	1.18	2.30	2.50	0.83	99.17
# 30	0.6	6.90	9.40	3.13	96.87
# 40	0.425	8.80	18.20	6.07	93.93
# 50	0.3	13.50	31.70	10.57	89.43
# 60	0.25	6.20	37.90	12.63	87.37
# 100	0.15	45.30	83.20	27.73	72.27
# 200	0.075	48.20	131.40	43.80	56.20
# Fuente	0	168.60	300.00	100.00	0.00
COEFICIENTE DEL SUELO					
D10 (mm)	-	Cu=	$D60 / D10$		-
D30 (mm)	-	Cc=	$D30^2 / (D60 * D10)$		-
D60 (mm)	0.09	Tamaño Nominal Máximo (TNM) mm			#60
PORCENTAJE DEL MATERIAL					
		Grava (G%)	Arena (S%)	Limo y Arcilla (Finos %)	
SUCS		0	43.80	56.20	
AASHTO		2	41.80	56.20	

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 59: Límites de Atterberg (Fátima)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
<b>Proyecto:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante							
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 833642.4 ; 9843252.4					
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm					
<b>Sector:</b>	Fátima	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López					
<b>Norma:</b>	AASHTO T89-13 ASTM D4318-17 AASHTO T90-20 ASTM D4318-17	<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla					
DATOS								
LÍMITE LÍQUIDO								
MUESTRA N°	1		2		3		4	
Recipiente	33	17	64	28	23	75	25	35
Número de Golpes	7		18		24		35	
Peso muestra húmeda + recipiente (g)	24.76	24.64	28.72	25.88	25.81	26.47	28.10	25.58
Peso muestra seca + recipiente (g)	19.75	19.81	22.84	20.85	21.12	21.52	22.68	21.04
Peso Agua (Ww) (g)	5.01	4.83	5.88	5.03	4.69	4.95	5.42	4.54
Peso Recipiente (Wr) (g)	11.06	11.41	11.28	11.21	11.12	10.85	10.84	11.25
Peso Muestra Seca (Ws) (g)	8.69	8.40	11.56	9.64	10.00	10.67	11.84	9.79
Contenido de Humedad (W%)	57.65	57.50	50.87	52.18	46.90	46.39	45.78	46.37
Contenido de Humedad Promedio (PW%)	57.58		51.52		46.65		46.08	
LÍMITE PLÁSTICO								
MUESTRA N°	1	2	3	4	5			
Recipiente N°	1P	2E	3A	4A	12I			
Peso muestra húmeda + recipiente (g)	11.50	11.36	11.69	11.28	11.59			
Peso muestra seca + recipiente (g)	11.33	11.21	11.51	11.14	11.40			
Peso Agua (Ww) (g)	0.17	0.15	0.18	0.14	0.19			
Peso Recipiente (Wr) (g)	10.60	10.56	10.77	10.54	10.61			
Peso Muestra Seca (Ws) (g)	0.73	0.65	0.74	0.60	0.79			
Contenido de Humedad (W%)	23.29	23.08	24.32	23.33	24.05			
Contenido de Humedad Promedio (PW%)	23.61							

<b>LÍMITES DE ATTERBERG</b>		
<b>Límite líquido:</b>	<b>47.98</b>	<b>%</b>
<b>Límite plástico:</b>	<b>23.61</b>	<b>%</b>
<b>Índice plástico:</b>	<b>24.37</b>	<b>%</b>

<b>CLASIFICACIÓN DE SUELO ANALIZADO</b>		
<b>SISTEMA</b>	<b>AASHTO</b>	<b>A-7-6</b>
	<b>SUCS</b>	<b>CL</b>

**Fuente:** Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 60:** Proctor Modificado + 0% CCA (Fátima)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
<b>Proyecto:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante							
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 833642.4 ; 9843252.4					
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm					
<b>Sector:</b>	Fátima	<b>Ceniza CA:</b>	0%					
<b>Norma:</b>	AASHTO T89-13 ASTM D4318-17	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López					
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla					
DATOS								
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C								
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18	Ø Diámetro interno	15.14	cm		
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10	h altura:	12.91	cm		
Energía de Compactación (lb*ft/ft <sup>3</sup> ):	55986	Peso del Molde:	12774	Volumen del Molde:	2324	cm <sup>3</sup>		
Peso Inicial de Muestra:	6000	6000	6000	6000	6000			
PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3	4				
Peso molde + Suelo húmedo (g)	16166	16419	16556	16647				
Peso suelo húmedo Wm (g)	3392	3645	3782	3873				
Peso unitario húmedo $\gamma_m$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.460	1.568	1.627	1.667				
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD								
Identificación del recipiente	5	10	35	87	89	90	103	108
Peso del recipiente (Wr) (g)	32.50	29.90	31.10	29.00	31.70	31.50	30.70	30.20
Recipiente + suelo húmedo (Wr + Wh) (g)	211.30	170.80	204.20	202.30	221.10	194.10	229.90	230.20
Recipiente + suelo seco (Wr + Ws) (g)	182.40	143.30	169.40	166.90	176.80	158.70	178.00	179.60
Peso sólidos (Ws) (g)	149.90	113.40	138.30	137.90	145.10	127.20	147.30	149.40
Peso del agua (Ww) (g)	28.90	27.50	34.80	35.40	44.30	35.40	51.90	50.60
Contenido de Humedad (w%)	19.28	24.25	25.16	25.67	30.53	27.83	35.23	33.87
Promedio Contenido de Humedad (w%)	21.76		25.42		29.18		34.55	
Densidad Seca $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.199		1.251		1.260		1.239	
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD DEL MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
<p style="text-align: center;"><b>CURVA DE COMPACTACIÓN</b></p> <p style="text-align: center;">W% Óptimo = 28.0 % γd máximo = 1.261 g/cm<sup>3</sup></p>								
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO								
El valor de la densidad seca $\gamma_d$ es de 1.261 g/cm <sup>3</sup> , con un contenido de humedad óptimo de 28%, de acuerdo a la curva de compactación.								

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 61:** Proctor Modificado + 1% CCA (Fátima)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
<b>Proyecto:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante							
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 833642.4 ; 9843252.4					
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm					
<b>Sector:</b>	Fátima	<b>Ceniza CA:</b>	1%					
<b>Norma:</b>	AASHTO T89-13 ASTM D4318-17	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López					
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla					
DATOS								
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C								
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18	Ø Diámetro interno		15.14	cm	
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10	h altura:		12.91	cm	
Energía de Compactación (lb*ft/ft <sup>3</sup> ):	55986	Peso del Molde:	12774	Volumen del Molde:		2324	cm <sup>3</sup>	
Peso Inicial de Muestra:	6000	6000	6000	6000				
PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3	4				
Humedad Inicial Deseada	10	15	20	25				
Peso molde + Suelo húmedo (g)	16096	16369	16537	16618				
Peso suelo húmedo Wm (g)	3322	3595	3763	3844				
Peso unitario húmedo γm (g/cm <sup>3</sup> )	1.429	1.547	1.619	1.654				
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD								
Identificación del recipiente	5	10	35	87	89	90	103	108
Peso del recipiente (Wr) (g)	32.50	29.90	31.10	29.00	31.70	31.50	30.70	30.20
Recipiente + suelo húmedo (Wr + Wh) (g)	200.40	165.10	191.80	179.60	242.10	217.10	205.40	201.90
Recipiente + suelo seco (Wr + Ws) (g)	170.70	142.80	159.20	150.10	192.80	175.90	158.60	155.70
Peso sólidos (Ws) (g)	138.20	112.90	128.10	121.10	161.10	144.40	127.90	125.50
Peso del agua (Ww) (g)	29.70	22.30	32.60	29.50	49.30	41.20	46.80	46.20
Contenido de Humedad (w%)	21.49	19.75	25.45	24.36	30.60	28.53	36.59	36.81
Promedio Contenido de Humedad (w%)	20.62		24.90		29.57		36.70	
Densidad Seca γd (g/cm <sup>3</sup> )	1.185		1.238		1.250		1.210	
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD DEL MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
<p style="text-align: center;"><b>CURVA DE COMPACTACIÓN</b></p> <p style="text-align: center;">W% Óptimo = 28.4 % γd máximo = 1.251 g/cm<sup>3</sup></p>								
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO								
El valor de la densidad seca γd es de 1.251 g/cm <sup>3</sup> , con un contenido de humedad óptimo de 28.4 %, de acuerdo a la curva de compactación.								

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 62: Proctor Modificado + 3% CCA (Fátima)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
<b>Proyecto:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante							
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 833642.4 ; 9843252.4					
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm					
<b>Sector:</b>	Fátima	<b>Ceniza CA:</b>	3%					
<b>Norma:</b>	AASHTO T89-13 ASTM D4318-17	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López					
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla					
DATOS								
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C								
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18	Ø Diámetro interno	15.14	cm		
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10	h altura:	12.91	cm		
Energía de Compactación (lb*ft/ft <sup>3</sup> ):	55986	Peso del Molde:	12774	Volumen del Molde:	2324	cm <sup>3</sup>		
Peso Inicial de Muestra:	6000	6000	6000	6000				
PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3	4				
Peso molde + Suelo húmedo (g)	15993	16324	16510	16591				
Peso suelo húmedo Wm (g)	3219	3550	3736	3817				
Peso unitario húmedo $\gamma_m$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.385	1.528	1.608	1.642				
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD								
Identificación del recipiente	5	10	35	87	89	90	103	108
Peso del recipiente (Wr) (g)	32.50	29.90	31.10	29.00	31.70	31.50	30.70	30.20
Recipiente + suelo húmedo (Wr + Wh) (g)	188.20	178.40	201.20	192.40	210.80	187.20	218.40	203.30
Recipiente + suelo seco (Wr + Ws) (g)	160.70	151.60	166.90	157.30	169.10	151.30	169.70	155.20
Peso sólidos (Ws) (g)	128.20	121.70	135.80	128.30	137.40	119.80	139.00	125.00
Peso del agua (Ww) (g)	27.50	26.80	34.30	35.10	41.70	35.90	48.70	48.10
Contenido de Humedad (w%)	21.45	22.02	25.26	27.36	30.35	29.97	35.04	38.48
Promedio Contenido de Humedad (w%)	21.74		26.31		30.16		36.76	
Densidad Seca $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.138		1.209		1.235		1.201	
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD DEL MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
<p style="text-align: center;"><b>CURVA DE COMPACTACIÓN</b></p> <p style="text-align: center;">W% Óptimo = 29.7 %  <math>\gamma_d</math> máximo = 1.236 g/cm<sup>3</sup></p>								
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO								
El valor de la densidad seca $\gamma_d$ es de 1.236 g/cm <sup>3</sup> , con un contenido de humedad óptimo de 29.7%, de acuerdo a la curva de compactación.								

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 63:** Proctor Modificado + 5% CCA (Fátima)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
<b>Proyecto:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante							
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 833642.4 ; 9843252.4					
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm					
<b>Sector:</b>	Fátima	<b>Ceniza CA:</b>	5%					
<b>Norma:</b>	AASHTO T89-13 ASTM D4318-17	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López					
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla					
DATOS								
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C								
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18	Ø Diámetro interno	15.14	cm		
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10	h altura:	12.91	cm		
Energía de Compactación (lb*ft/ft <sup>3</sup> ):	55986	Peso del Molde:	12774	Volumen del Molde:	2324	cm <sup>3</sup>		
Peso Inicial de Muestra:	6000	6000	6000	6000				
PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3	4				
Peso molde + Suelo húmedo (g)	15895	16232	16433	16511				
Peso suelo húmedo Wm (g)	3121	3458	3659	3737				
Peso unitario húmedo γ <sub>m</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	1.343	1.488	1.574	1.608				
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD								
Identificación del recipiente	5	10	35	87	89	90	103	108
Peso del recipiente (Wr) (g)	32.50	29.90	31.10	29.00	31.70	31.50	30.70	30.20
Recipiente + suelo húmedo (Wr + Wh) (g)	186.80	190.70	202.40	190.90	201.10	195.20	206.60	199.60
Recipiente + suelo seco (Wr + Ws) (g)	159.10	161.70	166.30	156.10	160.80	155.90	159.00	154.20
Peso sólidos (Ws) (g)	126.60	131.80	135.20	127.10	129.10	124.40	128.30	124.00
Peso del agua (Ww) (g)	27.70	29.00	36.10	34.80	40.30	39.30	47.60	45.40
Contenido de Humedad (w%)	21.88	22.00	26.70	27.38	31.22	31.59	37.10	36.61
Promedio Contenido de Humedad (w%)	21.94		27.04		31.40		36.86	
Densidad Seca γ <sub>d</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	1.101		1.171		1.198		1.175	
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD DEL MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
<div style="text-align: center;"> <h3>CURVA DE COMPACTACIÓN</h3> <p>Densidad Seca γ<sub>d</sub> (g/cm<sup>3</sup>)</p> <p>Contenido de humedad (%)</p> <p>W% Óptimo = 31.5 % γ<sub>d</sub> máximo = 1.198 g/cm<sup>3</sup></p> </div>								
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO								
El valor de la densidad seca γ <sub>d</sub> es de 1.198 g/cm <sup>3</sup> , con un contenido de humedad óptimo de 31.5 %, de acuerdo a la curva de compactación.								

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 64:** Proctor Modificado + 8% CCA (Fátima)

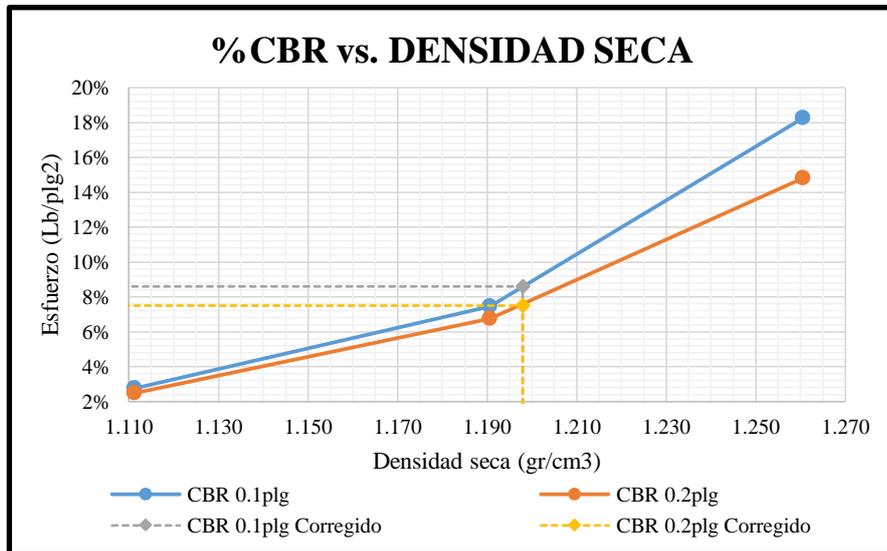
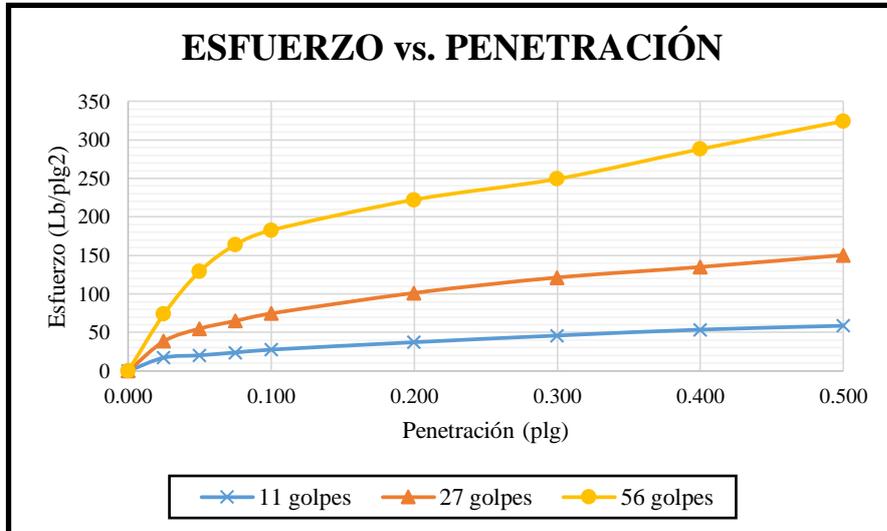
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
<b>Proyecto:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante							
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 833642.4 ; 9843252.4					
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm					
<b>Sector:</b>	Fátima	<b>Ceniza CA:</b>	8%					
<b>Norma:</b>	AASHTO T89-13 ASTM D4318-17	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López					
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla					
DATOS								
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C								
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18	Ø Diámetro interno	15.14	cm		
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10	h altura:	12.91	cm		
Energía de Compactación (lb*ft/ft <sup>3</sup> ):	55986	Peso del Molde:	12774	Volumen del Molde:	2324	cm <sup>3</sup>		
Peso Inicial de Muestra:	6000	6000	6000	6000				
PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3	4				
Peso molde + Suelo húmedo (g)	15843	16192	16362	16464				
Peso suelo húmedo Wm (g)	3069	3418	3588	3690				
Peso unitario húmedo $\gamma_m$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.321	1.471	1.544	1.588				
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD								
Identificación del recipiente	5	10	35	87	89	90	103	108
Peso del recipiente (Wr) (g)	32.50	29.90	31.10	29.00	31.70	31.50	30.70	30.20
Recipiente + suelo húmedo (Wr + Wh) (g)	180.30	188.40	155.10	174.10	215.90	200.10	197.10	181.80
Recipiente + suelo seco (Wr + Ws) (g)	152.60	158.40	128.10	141.50	171.10	158.20	150.70	138.90
Peso sólidos (Ws) (g)	120.10	128.50	97.00	112.50	139.40	126.70	120.00	108.70
Peso del agua (Ww) (g)	27.70	30.00	27.00	32.60	44.80	41.90	46.40	42.90
Contenido de Humedad (w%)	23.06	23.35	27.84	28.98	32.14	33.07	38.67	39.47
Promedio Contenido de Humedad (w%)	23.21		28.41		32.60		39.07	
Densidad Seca $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.072		1.145		1.164		1.142	
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD DEL MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
<p style="text-align: center;"><b>CURVA DE COMPACTACIÓN</b></p> <p style="text-align: center;">W% Óptimo = 32.1 % γd máximo = 1.164 g/cm<sup>3</sup></p>								
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO								
El valor de la densidad seca $\gamma_d$ es de 1.164 g/cm <sup>3</sup> , con un contenido de humedad óptimo de 32.1%, de acuerdo a la curva de compactación.								

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 65: CBR + 0% CCA (Fátima)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
<b>PROYECTO:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante					
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 833642.4 ; 9843252.4			
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm			
<b>Sector:</b>	Fátima	<b>Ceniza CA:</b>	0%			
<b>Norma:</b>	AASHTO T193-13	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López			
	ASTM D1883-16	<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla			
DATOS						
MOLDE	2		7		6	
DIMENSIONES	Diámetro	15.18	Diámetro	15.11	Diámetro	15.14
	Altura	12.70	Altura	12.71	Altura	12.91
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	12590		10192		9504	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	3272		3458		3739	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.424		1.517		1.609	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	84	88	89	85	103	35
Masa del recipiente	32.4	32.6	31.7	33.2	30.7	31.1
Masa suelo hum+recip. (gr)	191.1	196.6	189.8	175.6	203.4	183
Masa suelo seco+recip. (gr)	156.1	160.8	155.8	144.9	165.7	150.4
Masa de agua (gr)	35	35.8	34	30.7	37.7	32.6
Masa suelo seco (gr)	123.7	128.2	124.1	111.7	135	119.3
Contenido de humedad W%	28.29%	27.93%	27.40%	27.48%	27.93%	27.33%
Promedio W%	28.11%		27.44%		27.63%	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1.111		1.191		1.261	
DESPÚES DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	13089		10633		9987	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	3771		3899		4222	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.641		1.711		1.817	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	1	3	5	90	98	108
Masa del recipiente	31.60	33.40	32.50	31.5	32.60	30.20
Masa suelo hum+recip. (gr)	180.6	175.3	199.2	175.3	176.7	172.5
Masa suelo seco+recip. (gr)	129	127.8	142.2	130	132.9	132.4
Masa de agua (gr)	51.6	47.5	57	45.3	43.8	40.1
Masa suelo seco (gr)	97.4	94.4	109.7	98.5	100.3	102.2
Contenido de humedad W%	52.98%	50.32%	51.96%	45.99%	43.67%	39.24%
Promedio W%	51.65%		48.97%		41.45%	
ENSAYO DE CARGA – PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg2		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	52	17.33	116	38.67	222	74.00
0.050	61	20.33	165	55.00	388	129.33
0.075	72	24.00	195	65.00	492	164.00
0.100	83	27.67	224	74.67	548	182.67
0.200	112	37.33	304	101.33	667	222.33
0.300	138	46.00	364	121.33	748	249.33
0.400	161	53.67	405	135.00	864	288.00
0.500	176	58.67	451	150.33	973	324.33

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
N° MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	27.67	2.77%	1.111	37.33	2.49%	1.111
B	74.67	7.47%	1.191	101.33	6.76%	1.191
C	182.67	18.27%	1.261	222.33	14.82%	1.261
<b>Densidad Seca Máxima</b>	1.261					
<b>DSM</b>	%CBR 0.1plg		%CBR 0.2plg		%CBR MAYOR	
95%	1.198	8.60%	7.50%	8.60%		



**DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO**

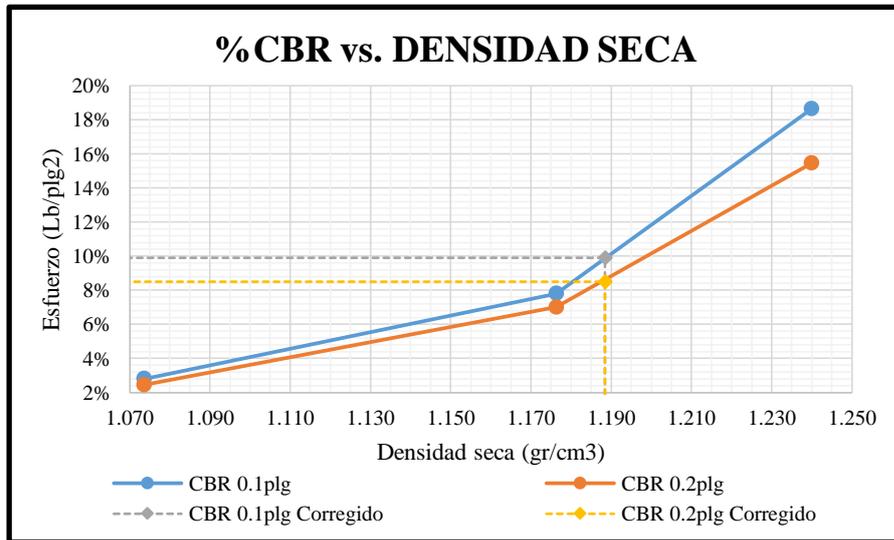
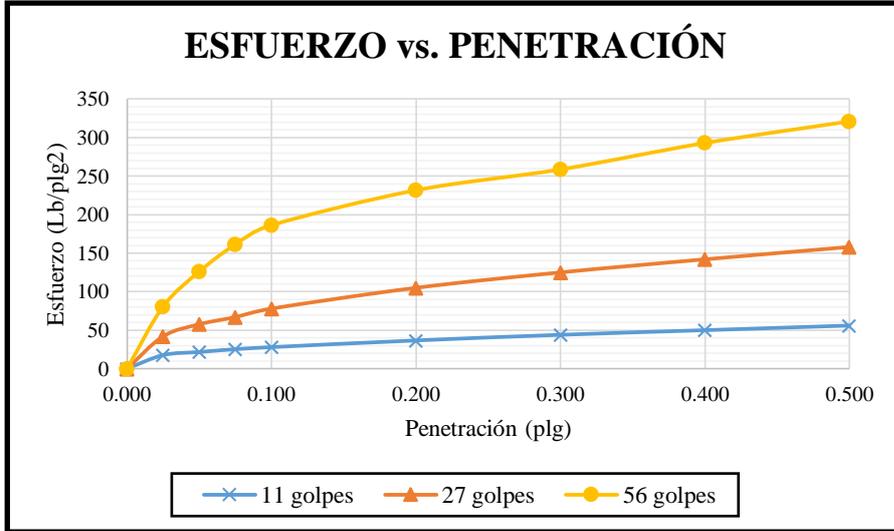
El valor del CBR es 8.60%.

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 66: CBR + 1% CCA (Fátima)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
<b>PROYECTO:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante					
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 833642.4 ; 9843252.4			
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm			
<b>Sector:</b>	Fátima	<b>Ceniza CA:</b>	1%			
<b>Norma:</b>	AASHTO T193-13	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López			
	ASTM D1883-16	<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla			
DATOS						
MOLDE	2		7		6	
DIMENSIONES	Diámetro	15.18	Diámetro	15.11	Diámetro	15.14
	Altura	12.70	Altura	12.71	Altura	12.91
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	12475		10182		9479	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	3157		3448		3714	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.374		1.513		1.598	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	84	10	87	103	85	88
Masa del recipiente	32.4	29.9	29	30.7	33.2	32.6
Masa suelo hum+recip. (gr)	199.4	183.9	195.5	183.4	192	202.6
Masa suelo seco+recip. (gr)	162.8	150.4	158.6	149.3	156.6	164.3
Masa de agua (gr)	36.6	33.5	36.9	34.1	35.4	38.3
Masa suelo seco (gr)	130.4	120.5	129.6	118.6	123.4	131.7
Contenido de humedad W%	28.07%	27.80%	28.47%	28.75%	28.69%	29.08%
Promedio W%	27.93%		28.61%		28.88%	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1.074		1.176		1.240	
DESPÚES DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	13039		10607		9874	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	3721		3873		4109	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.619		1.699		1.768	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	3	1	90	108	5	98
Masa del recipiente	33.40	31.60	31.50	30.20	32.50	32.60
Masa suelo hum+recip. (gr)	213.8	213.4	204	215.9	196.7	176.3
Masa suelo seco+recip. (gr)	151.3	147.7	145.5	151.1	140.9	133.4
Masa de agua (gr)	62.5	65.7	58.5	64.8	55.8	42.9
Masa suelo seco (gr)	117.9	116.1	114	120.9	108.4	100.8
Contenido de humedad W%	53.01%	56.59%	51.32%	53.60%	51.48%	42.56%
Promedio W%	54.80%		52.46%		47.02%	
ENSAYO DE CARGA – PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg2		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	53	17.67	126	42.00	242	80.67
0.050	65	21.67	173	57.67	378	126.00
0.075	76	25.33	201	67.00	484	161.33
0.100	84	28.00	234	78.00	559	186.33
0.200	110	36.67	315	105.00	695	231.67
0.300	132	44.00	375	125.00	776	258.67
0.400	150	50.00	426	142.00	879	293.00
0.500	168	56.00	474	158.00	963	321.00

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
N° MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	28.00	2.80%	1.074	36.67	2.44%	1.074
B	78.00	7.80%	1.176	105.00	7.00%	1.176
C	186.33	18.63%	1.240	231.67	15.44%	1.240
<b>Densidad Seca Máxima</b>	1.251					
<b>DSM</b>	%CBR 0.1plg		%CBR 0.2plg		%CBR MAYOR	
95%	1.188	9.90%	8.50%	9.90%		



**DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO**

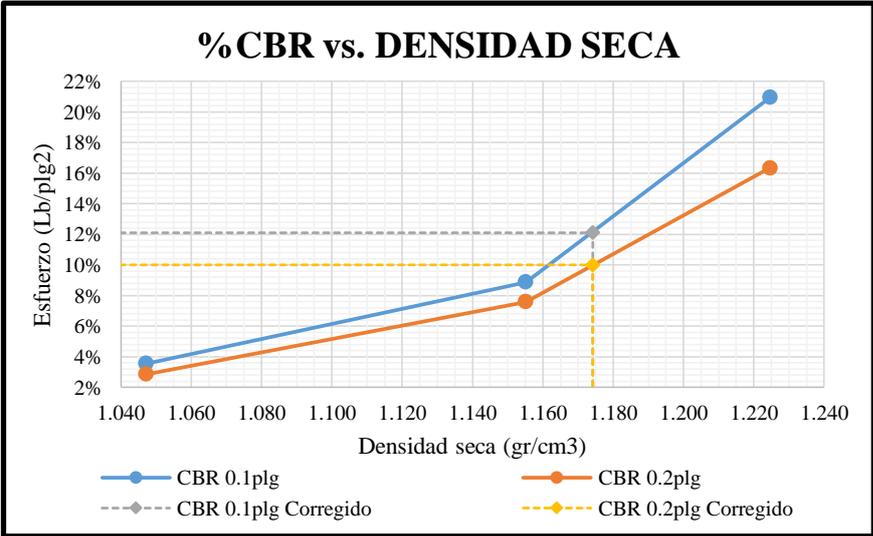
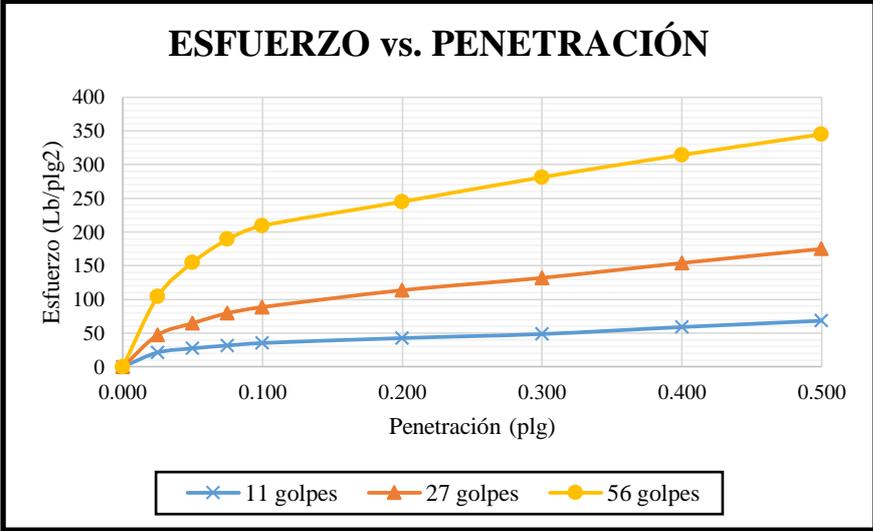
El valor del CBR es 9.90%.

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 67: CBR + 3% CCA (Fátima)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
<b>PROYECTO:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante					
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 833642.4 ; 9843252.4			
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm			
<b>Sector:</b>	Fátima	<b>Ceniza CA:</b>	3%			
<b>Norma:</b>	AASHTO T193-13	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López			
	ASTM D1883-16	<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla			
DATOS						
MOLDE	2		7		6	
DIMENSIONES	Diámetro	15.18	Diámetro	15.11	Diámetro	15.14
	Altura	12.70	Altura	12.71	Altura	12.91
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	12411		10153		9451	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	3093		3419		3686	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.346		1.500		1.586	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	88	84	85	87	89	35
Masa del recipiente	32.6	32.4	33.2	29	31.7	31.1
Masa suelo hum+recip. (gr)	192.7	187.3	192	177.6	196.4	190.2
Masa suelo seco+recip. (gr)	157.1	153	155.5	143.4	158.6	154.2
Masa de agua (gr)	35.6	34.3	36.5	34.2	37.8	36
Masa suelo seco (gr)	124.5	120.6	122.3	114.4	126.9	123.1
Contenido de humedad W%	28.59%	28.44%	29.84%	29.90%	29.79%	29.24%
Promedio W%	28.52%		29.87%		29.52%	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1.047		1.155		1.225	
DESPÚES DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	13032		10580		9826	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	3714		3846		4061	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.616		1.688		1.747	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	88	35	89	98	10	103
Masa del recipiente	32.60	31.10	31.70	32.60	29.90	30.70
Masa suelo hum+recip. (gr)	205.6	196.2	190.4	187.6	186.1	196.1
Masa suelo seco+recip. (gr)	144.5	138.6	135.1	135.4	134.9	141.3
Masa de agua (gr)	61.1	57.6	55.3	52.2	51.2	54.8
Masa suelo seco (gr)	111.9	107.5	103.4	102.8	105	110.6
Contenido de humedad W%	54.60%	53.58%	53.48%	50.78%	48.76%	49.55%
Promedio W%	54.09%		52.13%		49.15%	
ENSAYO DE CARGA – PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg2		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	64	21.33	142	47.33	313	104.33
0.050	82	27.33	194	64.67	464	154.67
0.075	95	31.67	239	79.67	567	189.00
0.100	106	35.33	266	88.67	628	209.33
0.200	128	42.67	341	113.67	735	245.00
0.300	146	48.67	396	132.00	844	281.33
0.400	177	59.00	462	154.00	943	314.33
0.500	205	68.33	525	175.00	1035	345.00

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
N° MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	35.33	3.53%	1.047	42.67	2.84%	1.047
B	88.67	8.87%	1.155	113.67	7.58%	1.155
C	209.33	20.93%	1.225	245.00	16.33%	1.225
<b>Densidad Seca Máxima</b>	1.236					
<b>DSM</b>	<b>% CBR 0.1plg</b>	<b>% CBR 0.2plg</b>		<b>% CBR MAYOR</b>		
95%	1.174	12.10%	10.00%	12.10%		



**DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO**

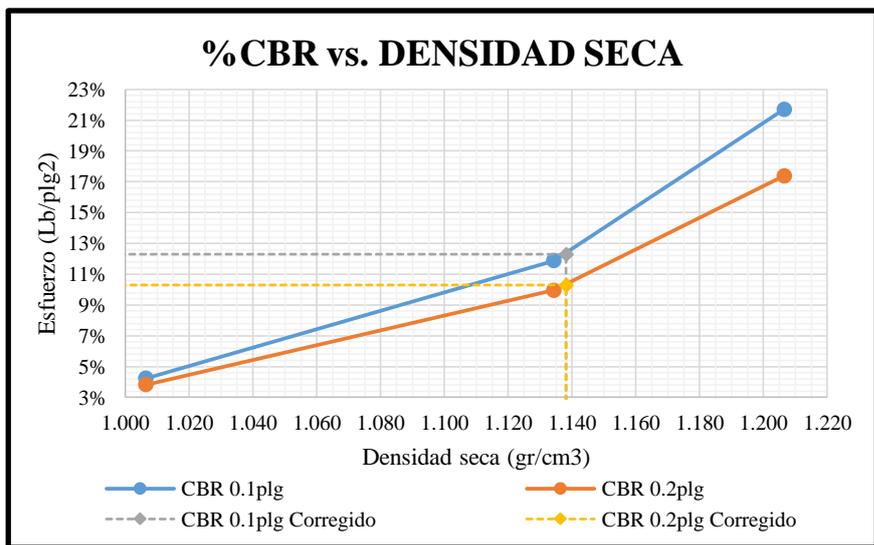
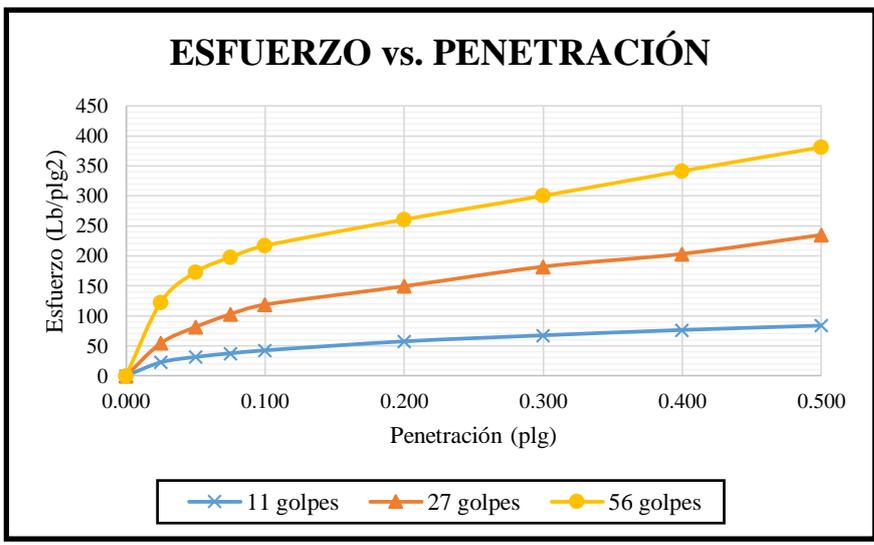
El valor del CBR es 12.1%.

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 68: CBR + 5% CCA (Fátima)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
<b>PROYECTO:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante					
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 833642.4 ; 9843252.4			
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm			
<b>Sector:</b>	Fátima	<b>Ceniza CA:</b>	5%			
<b>Norma:</b>	AASHTO T193-13	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López			
	ASTM D1883-16	<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla			
DATOS						
MOLDE	2		7		6	
DIMENSIONES	Diámetro	15.18	Diámetro	15.11	Diámetro	15.14
	Altura	12.70	Altura	12.71	Altura	12.91
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	12344		10112		9441	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	3026		3378		3676	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.317		1.482		1.582	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	1	5	3	84	108	90
Masa del recipiente	31.6	32.5	33.4	32.4	30.2	31.5
Masa suelo hum+recip. (gr)	168.8	190.2	174.5	190.7	162.1	180
Masa suelo seco+recip. (gr)	136.6	152.9	141.6	153.3	130.8	144.8
Masa de agua (gr)	32.2	37.3	32.9	37.4	31.3	35.2
Masa suelo seco (gr)	105	120.4	108.2	120.9	100.6	113.3
Contenido de humedad W%	30.67%	30.98%	30.41%	30.93%	31.11%	31.07%
Promedio W%	30.82%		30.67%		31.09%	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1.006		1.134		1.207	
DESPÚES DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	12931		10542		9809	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	3613		3808		4044	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.572		1.671		1.740	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	90	1	5	108	3	84
Masa del recipiente	31.50	31.60	32.50	30.20	33.40	32.40
Masa suelo hum+recip. (gr)	204.8	210.8	203.5	201.5	186.5	197.1
Masa suelo seco+recip. (gr)	142.1	147	141.8	146.8	141.1	140.1
Masa de agua (gr)	62.7	63.8	61.7	54.7	45.4	57
Masa suelo seco (gr)	110.6	115.4	109.3	116.6	107.7	107.7
Contenido de humedad W%	56.69%	55.29%	56.45%	46.91%	42.15%	52.92%
Promedio W%	55.99%		51.68%		47.54%	
ENSAYO DE CARGA – PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg2		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	67	22.33	163	54.33	368	122.67
0.050	94	31.33	244	81.33	519	173.00
0.075	112	37.33	308	102.67	593	197.67
0.100	127	42.33	356	118.67	651	217.00
0.200	172	57.33	448	149.33	782	260.67
0.300	202	67.33	546	182.00	901	300.33
0.400	229	76.33	610	203.33	1025	341.67
0.500	251	83.67	705	235.00	1144	381.33

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
N° MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	42.33	4.23%	1.006	57.33	3.82%	1.006
B	118.67	11.87%	1.134	149.33	9.96%	1.134
C	217.00	21.70%	1.207	260.67	17.38%	1.207
<b>Densidad Seca Máxima</b>	1.198					
<b>DSM</b>	%CBR 0.1plg		%CBR 0.2plg		%CBR MAYOR	
95%	1.138	12.30%	10.30%	12.30%		



**DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO**

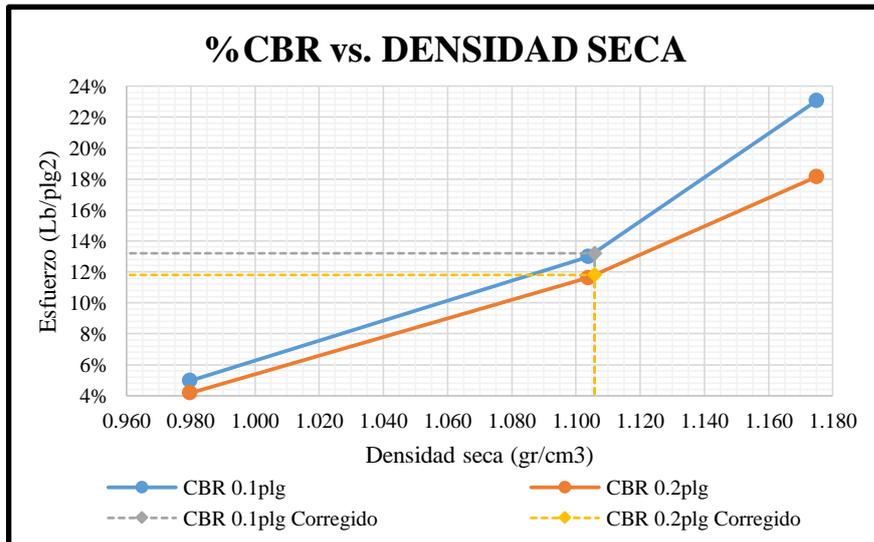
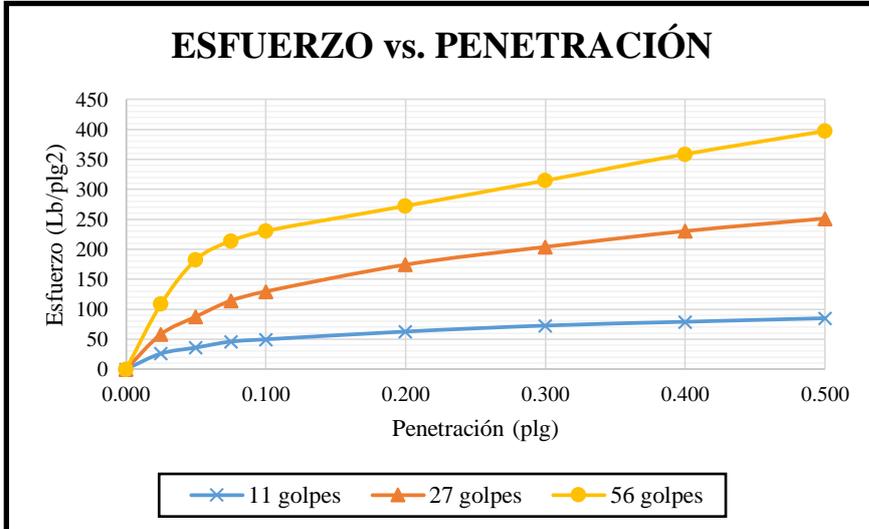
El valor del CBR es 12.3%.

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 69: CBR + 8% CCA (Fátima)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
<b>PROYECTO:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante					
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	17M, 833642.4 ; 9843252.4			
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm			
<b>Sector:</b>	Fátima	<b>Ceniza CA:</b>	8%			
<b>Norma:</b>	AASHTO T193-13	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López			
	ASTM D1883-16	<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla			
DATOS						
MOLDE	2		7		6	
DIMENSIONES	Diámetro	15.18	Diámetro	15.11	Diámetro	15.14
	Altura	12.70	Altura	12.71	Altura	12.91
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	12253		10015		9368	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	2935		3281		3603	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.277		1.440		1.550	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	89	87	85	88	98	10
Masa del recipiente	31.7	29	33.2	32.6	32.6	29.9
Masa suelo hum+recip. (gr)	186	172	165.1	177.2	186	178.5
Masa suelo seco+recip. (gr)	150.1	138.7	134.3	143.5	148.9	142.5
Masa de agua (gr)	35.9	33.3	30.8	33.7	37.1	36
Masa suelo seco (gr)	118.4	109.7	101.1	110.9	116.3	112.6
Contenido de humedad W%	30.32%	30.36%	30.46%	30.39%	31.90%	31.97%
Promedio W%	30.34%		30.43%		31.94%	
Peso unitario seco (gr/cm3)	0.980		1.104		1.175	
DESPÚES DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	12826		10396		9696	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	3508		3662		3931	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.526		1.607		1.691	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	10	98	89	88	87	85
Masa del recipiente	29.90	32.60	31.70	32.60	29.00	33.20
Masa suelo hum+recip. (gr)	183.8	211.1	189.4	186.1	187.5	169.7
Masa suelo seco+recip. (gr)	144.5	138.6	135.1	135.4	134.9	141.3
Masa de agua (gr)	39.3	72.5	54.3	50.7	52.6	28.4
Masa suelo seco (gr)	114.6	106	103.4	102.8	105.9	108.1
Contenido de humedad W%	34.29%	68.40%	52.51%	49.32%	49.67%	26.27%
Promedio W%	51.34%		50.92%		37.97%	
ENSAYO DE CARGA – PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg2		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	78	26.00	175	58.33	326	108.67
0.050	108	36.00	263	87.67	548	182.67
0.075	138	46.00	343	114.33	642	214.00
0.100	149	49.67	389	129.67	692	230.67
0.200	188	62.67	523	174.33	817	272.33
0.300	218	72.67	612	204.00	944	314.67
0.400	237	79.00	691	230.33	1076	358.67
0.500	255	85.00	754	251.33	1192	397.33

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
N° MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	49.67	4.97%	0.980	62.67	4.18%	0.980
B	129.67	12.97%	1.104	174.33	11.62%	1.104
C	230.67	23.07%	1.175	272.33	18.16%	1.175
<b>Densidad Seca Máxima</b>	1.164					
<b>DSM</b>	<b>% CBR 0.1plg</b>	<b>% CBR 0.2plg</b>		<b>% CBR MAYOR</b>		
95%	1.106	13.20%	11.80%	13.20%		



#### DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

El valor del CBR es 13.2%.

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

## **Anexo C: Ensayos de Veracruz**

**Tabla 70: Gravedad Específica (Veracruz)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
<b>Proyecto:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante		
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	18M, 173178.5 ; 9832654.3
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad</b>	60cm
<b>Sector:</b>	Veracruz	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López
<b>Norma:</b>	AASHTO T100-15 ASTM D854-14	<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla
DATOS			
GRAVEDAD ESPECÍFICA			
Símbolo	Ensayo	Nº	1
$T$	Temperatura del agua + suelo	Cº	20
$W_r$	Peso del recipiente	g	106.20
$W_{rs}$	Peso del recipiente + suelo seco	g	154.50
$W_{bw}$	Peso del picnómetro + agua	g	662.84
$W_s$	Peso del suelo seco	g	48.30
	$W_s + W_{bw}$	g	711.14
$W_{bws}$	Peso picnómetro + agua + suelo sumergido	g	693.50
$W_w$	Desplazamiento del agua	g	17.64
$K$	Factor de corrección por temperatura	g	0.9982
$G_s$	Gravedad específica	--	2.73
CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO			
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO			
El valor del peso del picnómetro más agua es de 662.84 g a una temperatura de 20°C, de acuerdo a la curva de calibración del picnómetro.			

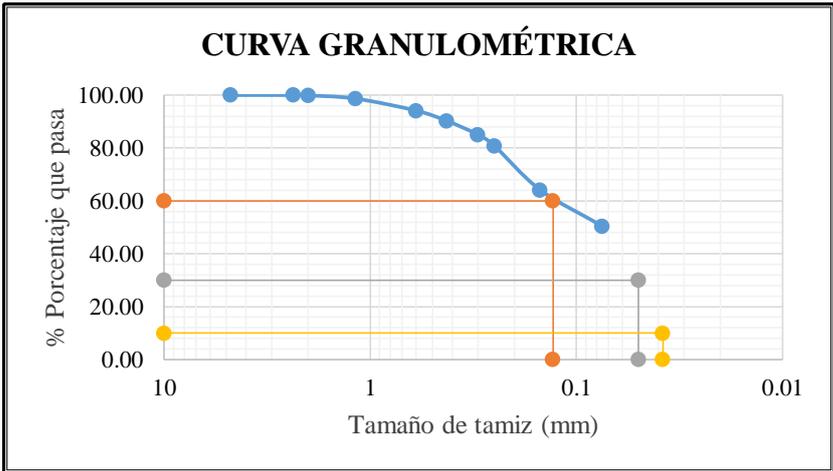
Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 71: Densidad de campo - Cono y Arena (Veracruz)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
<b>Proyecto:</b>		Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante		
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	18M, 173178.5 ; 9832654.3	
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm	
<b>Sector:</b>	Veracruz	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López	
<b>Norma:</b>	AASHTO T191-14 ASTM D1556-07	<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla	
DATOS				
PESO DEL SUELO EXTRAÍDO				
Símbolo	Muestra	Nº	1	
<i>W<sub>mr</sub></i>	Peso del suelo + recipiente	g	2122	
<i>W<sub>r</sub></i>	Peso del recipiente (Funda plástica)	g	5.80	
<i>W<sub>m</sub></i>	Peso de la masa de suelo	g	2116.20	
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE EXCAVACIÓN				
Símbolo	Muestra	Nº	1	
<i>W<sub>ofca</sub></i>	Peso inicial Frasco + Cono + Arena	g	7261	
<i>W<sub>ofca</sub></i>	Peso final Frasco + Cono + Arena	g	3181	
<i>W<sub>ac</sub></i>	Peso arena en el cono (Calibración del cono)	g	1526	
<i>W<sub>ah</sub></i>	Peso arena en la excavación	g	2554	
$\gamma$	Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)	g/cm3	1.582	
<i>V<sub>m</sub></i>	Volumen de la excavación	cm3	1614.41	
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO				
Símbolo	Muestra	Nº	1 Inalterado	
<i>r</i>	Recipiente	Nº	83	101
<i>W<sub>rh</sub></i>	Recipiente + Suelo Húmedo	g	113.20	128.20
<i>W<sub>rs</sub></i>	Recipiente + Suelo Seco	g	62.00	70.70
<i>W<sub>r</sub></i>	Peso del recipiente	g	30.90	31.30
<i>W<sub>w</sub></i>	Peso del agua	g	51.20	57.50
<i>W<sub>s</sub></i>	Peso del suelo seco	g	31.10	39.40
<i>W</i>	Contenido de Humedad	%	164.63	145.94
Contenido de Humedad Promedio (%):			155.29	
FASES DEL SUELO				
Volúmenes (V)	Peso (W)	Volúmenes (cm3)	Pesos (g)	
<i>V<sub>v</sub></i> =	<i>W<sub>v</sub></i> =	59.48	--	
<i>V<sub>a</sub></i> =	<i>W<sub>a</sub></i> =	1.98	0	
<i>V<sub>w</sub></i> =	<i>W<sub>w</sub></i> =	57.5	57.50	
<i>V<sub>s</sub></i> =	<i>W<sub>s</sub></i> =	14.43	39.40	
<i>V<sub>m</sub></i> =	<i>W<sub>m</sub></i> =	73.91	96.90	
DETERMINACIÓN DENSIDAD HÚMEDA				
Símbolo	Muestra	Nº	1	
<i>\gamma<sub>m</sub></i>	Densidad húmeda ( <i>W<sub>hum</sub>/V<sub>e</sub></i> )	g/cm3	1.311	
DETERMINACIÓN DENSIDAD SECA				
Símbolo	Muestra	Nº	1	
<i>\gamma<sub>d</sub></i>	Densidad seca ( <i>W<sub>seco</sub>/V<sub>e</sub></i> )	g/cm3	0.514	
Relación de vacíos	$E = V_v/V_s$	4.12	Natural	
Porosidad	$n\% = V_v/V_m * 100$	80.48	%	
Grado de Saturación de agua	$G_w\% = V_w/V_v * 100$	96.67	%	
Grado de Saturación de aire	$G_a\% = V_a/V_v * 100$	3.33	%	
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO				
El valor de la densidad húmeda ( $\gamma_m$ ) es de 1.311 g/cm3 y de la densidad seca ( $\gamma_d$ ) es de 0.514 g/cm3.				

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 72: Granulometría (Veracruz)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
<b>Proyecto:</b>		Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante			
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	18M, 173178.5 ; 9832654.3		
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm		
<b>Sector:</b>	Veracruz	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López		
<b>Norma:</b>	AASHTO T88-20 ASTM D422-07	<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla		
DATOS					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
W INICIAL (g):			1000		
TAMIZ	mm	W retenido (g)	W ret.acum (g)	%ret.acum	% PASA
# 4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00
# 8	2.36	0.00	0.00	0.00	100.00
# 10	2	0.40	0.40	0.13	99.87
# 16	1.18	3.60	4.00	1.33	98.67
# 30	0.6	13.60	17.60	5.87	94.13
# 40	0.425	11.70	29.30	9.77	90.23
# 50	0.3	15.60	44.90	14.97	85.03
# 60	0.25	12.50	57.40	19.14	80.86
# 100	0.15	50.10	107.50	35.85	64.15
# 200	0.075	41.00	148.50	49.52	50.48
# Fuente	0.03	151.40	299.90	100.00	0.00
					
COEFICIENTE DEL SUELO					
D10 (mm)	-	Cu=	D60 / D10		-
D30 (mm)	-	Cc=	D30 <sup>2</sup> / (D60 * D10)		-
D60 (mm)	0.13	Tamaño Nominal Máximo (TNM) mm		#50	
PORCENTAJE DEL MATERIAL					
	Grava (G%)	Arena (S%)	Limo y Arcilla (Finos %)		
SUCS	0	49.52	50.48		
AASHTO	2	47.52	50.48		

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 73: Límites de Atterberg (Veracruz)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
<b>Proyecto:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante							
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	18M, 173178.5 ; 9832654.3					
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm					
<b>Sector:</b>	Veracruz	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López					
<b>Norma:</b>	AASHTO T89-13 ASTM D4318-17 AASHTO T90-20 ASTM D4318-17	<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla					
DATOS								
LÍMITE LÍQUIDO								
MUESTRA N°	1		2		3		4	
Recipiente	78	70	47	13	39	21	1	32
Número de Golpes	3		18		29		38	
Peso muestra húmeda + recipiente (g)	30.60	27.87	27.19	26.55	22.98	24.97	23.73	23.20
Peso muestra seca + recipiente (g)	23.79	21.81	21.90	21.42	19.58	20.72	20.05	19.66
Peso Agua (Ww) (g)	6.81	6.06	5.29	5.13	3.40	4.25	3.68	3.54
Peso Recipiente (Wr) (g)	11.54	10.84	10.96	11.06	11.65	11.07	11.30	11.19
Peso Muestra Seca (Ws) (g)	12.25	10.97	10.94	10.36	7.93	9.65	8.75	8.47
Contenido de Humedad (W%)	55.59	55.24	48.35	49.52	42.88	44.04	42.06	41.79
Contenido de Humedad Promedio (PW%)	55.42		48.94		43.46		41.93	
LÍMITE PLÁSTICO								
MUESTRA N°	1	2	3	4	5			
Recipiente N°	23	8	30	16	97			
Peso muestra húmeda + recipiente (g)	8.32	8.25	8.15	8.14	8.31			
Peso muestra seca + recipiente (g)	8.20	8.13	8.04	8.02	8.18			
Peso Agua (Ww) (g)	0.12	0.12	0.11	0.12	0.13			
Peso Recipiente (Wr) (g)	7.46	7.46	7.44	7.36	7.46			
Peso Muestra Seca (Ws) (g)	0.74	0.67	0.60	0.66	0.72			
Contenido de Humedad (W%)	16.22	17.91	18.33	18.18	18.06			
Contenido de Humedad Promedio (PW%)						17.74		

<b>LÍMITES DE ATTERBERG</b>		
<b>Límite líquido:</b>	<b>44.99</b>	<b>%</b>
<b>Límite plástico:</b>	<b>17.74</b>	<b>%</b>
<b>Índice plástico:</b>	<b>27.25</b>	<b>%</b>

<b>CLASIFICACIÓN DE SUELO ANALIZADO</b>		
<b>SISTEMA</b>	<b>AASHTO</b>	<b>A-7-6</b>
	<b>SUCS</b>	<b>CL</b>

**Fuente:** Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 74: Proctor Modificado + 0% CCA (Veracruz)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
<b>Proyecto:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante							
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	18M, 173178.5 ; 9832654.3					
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm					
<b>Sector:</b>	Veracruz	<b>Ceniza CA:</b>	0%					
<b>Norma:</b>	AASHTO T89-13 ASTM D4318-17	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López					
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla					
DATOS								
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C								
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18	Ø Diámetro interno	15.14	cm		
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10	h altura:	12.91	cm		
Energía de Compactación (lb*ft/ft <sup>3</sup> ):	55986	Peso del Molde:	12774	Volumen del Molde:	2324	cm <sup>3</sup>		
Peso Inicial de Muestra:	6000	6000	6000	6000				
PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3	4				
Peso molde + Suelo húmedo (g)	16094	16479	16616	16585				
Peso suelo húmedo Wm (g)	3320	3705	3842	3811				
Peso unitario húmedo γ <sub>m</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	1.429	1.594	1.653	1.640				
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD								
Identificación del recipiente	5	10	35	87	89	90	103	108
Peso del recipiente (Wr) (g)	32.50	29.90	31.10	29.00	31.70	31.50	30.70	30.20
Recipiente + suelo húmedo (Wr + Wh) (g)	195.50	204.10	216.30	194.90	213.20	199.60	234.50	216.70
Recipiente + suelo seco (Wr + Ws) (g)	162.30	168.40	172.90	156.70	166.90	156.20	174.20	162.50
Peso sólidos (Ws) (g)	129.80	138.50	141.80	127.70	135.20	124.70	143.50	132.30
Peso del agua (Ww) (g)	33.20	35.70	43.40	38.20	46.30	43.40	60.30	54.20
Contenido de Humedad (w%)	25.58	25.78	30.61	29.91	34.25	34.80	42.02	40.97
Promedio Contenido de Humedad (w%)	25.68		30.26		34.52		41.49	
Densidad Seca γ <sub>d</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	1.137		1.224		1.229		1.159	
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD DEL MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO								
El valor de la densidad seca γ <sub>d</sub> es de 1.236 g/cm <sup>3</sup> , con un contenido de humedad óptimo de 32.5%, de acuerdo a la curva de compactación.								

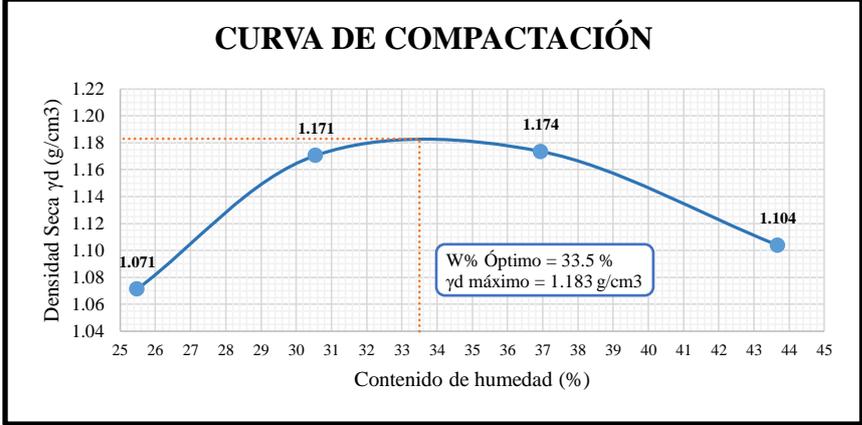
Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 75: Proctor Modificado + 1% CCA (Veracruz)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
<b>Proyecto:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante							
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	18M, 173178.5 ; 9832654.3					
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm					
<b>Sector:</b>	Veracruz	<b>Ceniza CA:</b>	1%					
<b>Norma:</b>	AASHTO T89-13 ASTM D4318-17	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López					
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla					
DATOS								
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C								
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18	Ø Diámetro interno	15.14	cm		
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10	h altura:	12.91	cm		
Energía de Compactación (lb*ft/ft <sup>3</sup> ):	55986	Peso del Molde:	12774	Volumen del Molde:	2324	cm <sup>3</sup>		
Peso Inicial de Muestra:	6000	6000	6000	6000				
PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3	4				
Peso molde + Suelo húmedo (g)	16056	16430	16556	16456				
Peso suelo húmedo Wm (g)	3282	3656	3782	3682				
Peso unitario húmedo γm (g/cm <sup>3</sup> )	1.412	1.573	1.627	1.584				
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD								
Identificación del recipiente	5	10	35	87	89	90	103	108
Peso del recipiente (Wr) (g)	32.50	29.90	31.10	29.00	31.70	31.50	30.70	30.20
Recipiente + suelo húmedo (Wr + Wh) (g)	206.70	196.10	195.70	202.20	192.50	189.50	205.50	208.20
Recipiente + suelo seco (Wr + Ws) (g)	170.50	161.70	157.50	161.30	150.90	148.30	152.20	154.00
Peso sólidos (Ws) (g)	138.00	131.80	126.40	132.30	119.20	116.80	121.50	123.80
Peso del agua (Ww) (g)	36.20	34.40	38.20	40.90	41.60	41.20	53.30	54.20
Contenido de Humedad (w%)	26.23	26.10	30.22	30.91	34.90	35.27	43.87	43.78
Promedio Contenido de Humedad (w%)	26.17		30.57		35.09		43.82	
Densidad Seca γd (g/cm <sup>3</sup> )	1.119		1.205		1.205		1.102	
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD DEL MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO								
El valor de la densidad seca γd es de 1.216 g/cm <sup>3</sup> , con un contenido de humedad óptimo de 32.9%, de acuerdo a la curva de compactación.								

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 76: Proctor Modificado + 3% CCA (Veracruz)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
<b>Proyecto:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante							
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	18M, 173178.5 ; 9832654.3					
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm					
<b>Sector:</b>	Veracruz	<b>Ceniza CA:</b>	3%					
<b>Norma:</b>	AASHTO T89-13 ASTM D4318-17	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López					
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla					
DATOS								
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C								
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18	Ø Diámetro interno	15.14	cm		
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10	h altura:	12.91	cm		
Energía de Compactación (lb*ft/ft3):	55986	Peso del Molde:	12774	Volumen del Molde:	2324	cm3		
Peso Inicial de Muestra:	6000	6000	6000	6000				
PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3	4				
Peso molde + Suelo húmedo (g)	15898	16326	16509	16460				
Peso suelo húmedo Wm (g)	3124	3552	3735	3686				
Peso unitario húmedo $\gamma_m$ (g/cm3)	1.344	1.528	1.607	1.586				
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD								
Identificación del recipiente	5	10	35	87	89	90	103	108
Peso del recipiente (Wr) (g)	32.50	29.90	31.10	29.00	31.70	31.50	30.70	30.20
Recipiente + suelo húmedo (Wr + Wh) (g)	200.60	201.90	203.60	202.20	193.20	207.30	204.50	207.10
Recipiente + suelo seco (Wr + Ws) (g)	165.00	168.50	162.30	162.60	149.80	159.70	152.00	153.00
Peso sólidos (Ws) (g)	132.50	138.60	131.20	133.60	118.10	128.20	121.30	122.80
Peso del agua (Ww) (g)	35.60	33.40	41.30	39.60	43.40	47.60	52.50	54.10
Contenido de Humedad (w%)	26.87	24.10	31.48	29.64	36.75	37.13	43.28	44.06
Promedio Contenido de Humedad (w%)	25.48		30.56		36.94		43.67	
Densidad Seca $\gamma_d$ (g/cm3)	1.071		1.171		1.174		1.104	
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD DEL MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
<div style="border: 2px solid black; padding: 10px;"> <h3 style="text-align: center; margin: 0;">CURVA DE COMPACTACIÓN</h3>  <p style="text-align: center;">Densidad Seca <math>\gamma_d</math> (g/cm3)</p> <p style="text-align: center;">Contenido de humedad (%)</p> <div style="border: 1px solid blue; border-radius: 10px; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p style="margin: 0;">W% Óptimo = 33.5 % <math>\gamma_d</math> máximo = 1.183 g/cm3</p> </div> </div>								
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO								
<p>El valor de la densidad seca <math>\gamma_d</math> es de 1.183 g/cm3, con un contenido de humedad óptimo de 33.5%, de acuerdo a la curva de compactación.</p>								

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 77: Proctor Modificado + 5% CCA (Veracruz)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
<b>Proyecto:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante							
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	18M, 173178.5 ; 9832654.3					
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm					
<b>Sector:</b>	Veracruz	<b>Ceniza CA:</b>	5%					
<b>Norma:</b>	AASHTO T89-13 ASTM D4318-17	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López					
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla					
DATOS								
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C								
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18	Ø Diámetro interno	15.14	cm		
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10	h altura:	12.91	cm		
Energía de Compactación (lb*ft/ft <sup>3</sup> ):	55986	Peso del Molde:	12774	Volumen del Molde:	2324	cm <sup>3</sup>		
Peso Inicial de Muestra:	6000	6000	6000	6000				
PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3	4				
Peso molde + Suelo húmedo (g)	15850	16238	16401	16511				
Peso suelo húmedo Wm (g)	3076	3464	3627	3737				
Peso unitario húmedo γm (g/cm <sup>3</sup> )	1.324	1.491	1.561	1.608				
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD								
Identificación del recipiente	5	10	35	87	89	90	103	108
Peso del recipiente (Wr) (g)	32.50	29.90	31.10	29.00	31.70	31.50	30.70	30.20
Recipiente + suelo húmedo (Wr + Wh) (g)	199.30	198.30	192.30	206.20	206.10	192.20	192.20	192.20
Recipiente + suelo seco (Wr + Ws) (g)	163.50	164.00	154.60	163.70	160.80	150.70	144.40	144.20
Peso sólidos (Ws) (g)	131.00	134.10	123.50	134.70	129.10	119.20	113.70	114.00
Peso del agua (Ww) (g)	35.80	34.30	37.70	42.50	45.30	41.50	47.80	48.00
Contenido de Humedad (w%)	27.33	25.58	30.53	31.55	35.09	34.82	42.04	42.11
Promedio Contenido de Humedad (w%)	26.45		31.04		34.95		42.07	
Densidad Seca γd (g/cm <sup>3</sup> )	1.047		1.137		1.156		1.132	
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD DEL MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
<div style="border: 2px solid black; padding: 10px;"> <h3 style="text-align: center;">CURVA DE COMPACTACIÓN</h3> <p style="text-align: center;">Densidad Seca γd (g/cm<sup>3</sup>)</p> <p style="text-align: center;">Contenido de humedad (%)</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>W% Óptimo = 34.2 % γd máximo = 1.156 g/cm<sup>3</sup></p> </div> </div>								
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO								
El valor de la densidad seca γd es de 1.156 g/cm <sup>3</sup> , con un contenido de humedad óptimo de 34.2%, de acuerdo a la curva de compactación.								

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 78: Proctor Modificado + 8% CCA (Veracruz)**

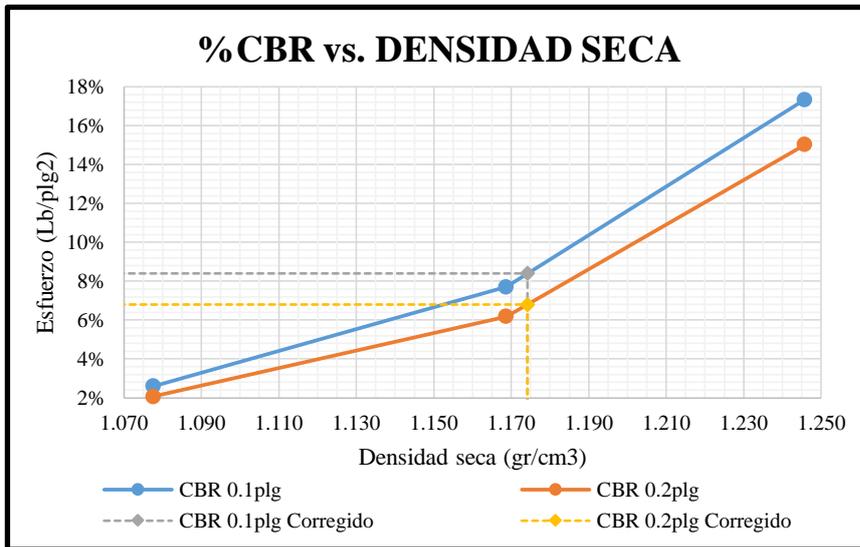
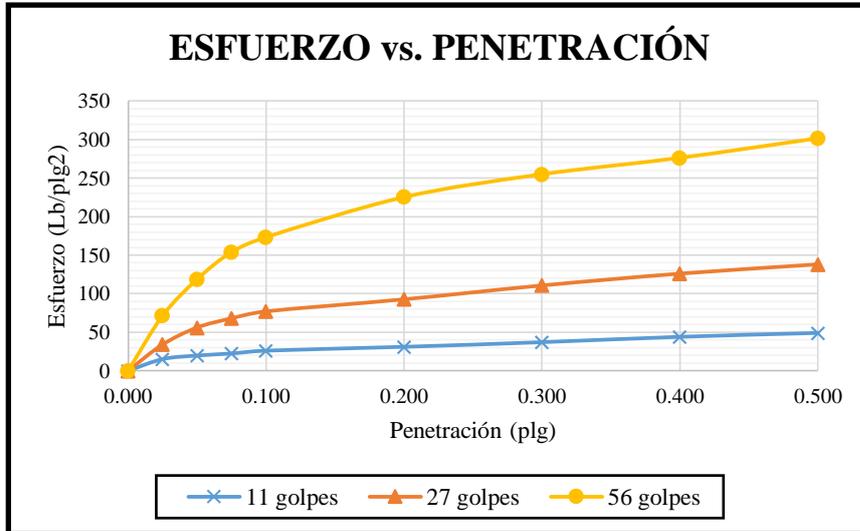
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
<b>Proyecto:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante							
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	18M, 173178.5 ; 9832654.3					
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm					
<b>Sector:</b>	Veracruz	<b>Ceniza CA:</b>	8%					
<b>Norma:</b>	AASHTO T89-13 ASTM D4318-17	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López					
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla					
DATOS								
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TIPO C								
Número de Golpes:	56	Altura de Caída (in):	18	Ø Diámetro interno	15.14	cm		
Número de Capas:	5	Peso del Martillo (lb):	10	h altura:	12.91	cm		
Energía de Compactación (lb*ft/ft <sup>3</sup> ):	55986	Peso del Molde:	12774	Volumen del Molde:	2324	cm <sup>3</sup>		
Peso Inicial de Muestra:	6000	6000	6000	6000				
PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Número	1	2	3	4				
Peso molde + Suelo húmedo (g)	15793	16134	16344	16402				
Peso suelo húmedo Wm (g)	3019	3360	3570	3628				
Peso unitario húmedo $\gamma_m$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.299	1.446	1.536	1.561				
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD								
Identificación del recipiente	5	10	35	87	89	90	103	108
Peso del recipiente (Wr) (g)	32.50	29.90	31.10	29.00	31.70	31.50	30.70	30.20
Recipiente + suelo húmedo (Wr + Wh) (g)	209.30	188.20	209.20	185.10	194.20	195.10	208.00	176.80
Recipiente + suelo seco (Wr + Ws) (g)	171.70	154.00	167.80	146.90	153.10	151.40	155.40	132.70
Peso sólidos (Ws) (g)	139.20	124.10	136.70	117.90	121.40	119.90	124.70	102.50
Peso del agua (Ww) (g)	37.60	34.20	41.40	38.20	41.10	43.70	52.60	44.10
Contenido de Humedad (w%)	27.01	27.56	30.29	32.40	33.86	36.45	42.18	43.02
Promedio Contenido de Humedad (w%)	27.28		31.34		35.15		42.60	
Densidad Seca $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.021		1.101		1.137		1.095	
DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD DEL MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO								
El valor de la densidad seca $\gamma_d$ es de 1.137 g/cm <sup>3</sup> , con un contenido de humedad óptimo de 35%, de acuerdo a la curva de compactación.								

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 79: CBR + 0% CCA (Veracruz)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
<b>PROYECTO:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante					
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	18M, 173178.5 ; 9832654.3			
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm			
<b>Sector:</b>	Veracruz	<b>Ceniza CA:</b>	0%			
<b>Norma:</b>	AASHTO T193-13	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López			
	ASTM D1883-16	<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla			
DATOS						
MOLDE	2		7		6	
DIMENSIONES	Diámetro	15.18	Diámetro	15.11	Diámetro	15.14
	Altura	12.70	Altura	12.71	Altura	12.91
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	12590		10268		9592	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	3272		3534		3827	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.424		1.551		1.647	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	90	108	5	3	35	103
Masa del recipiente	31.5	30.2	32.5	33.4	31.1	30.7
Masa suelo hum+recip. (gr)	225.9	211	230.1	194.5	203.3	216.3
Masa suelo seco+recip. (gr)	178.6	167.1	181.7	154.6	161.3	171.2
Masa de agua (gr)	47.3	43.9	48.4	39.9	42	45.1
Masa suelo seco (gr)	147.1	136.9	149.2	121.2	130.2	140.5
Contenido de humedad W%	32.15%	32.07%	32.44%	32.92%	32.26%	32.10%
Promedio W%	32.11%		32.68%		32.18%	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1.078		1.169		1.246	
DESPÚES DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	12958		10579		9791	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	3640		3845		4026	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.584		1.687		1.732	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	35	108	90	10	1	5
Masa del recipiente	31.10	30.20	31.50	29.90	31.60	32.50
Masa suelo hum+recip. (gr)	184.8	180.9	198.8	173.7	185.9	159.4
Masa suelo seco+recip. (gr)	132.5	130	143.6	130.5	141.8	122.4
Masa de agua (gr)	52.3	50.9	55.2	43.2	44.1	37
Masa suelo seco (gr)	101.4	99.8	112.1	100.6	110.2	89.9
Contenido de humedad W%	51.58%	51.00%	49.24%	42.94%	40.02%	41.16%
Promedio W%	51.29%		46.09%		40.59%	
ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg2		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	45	15.00	102	34.00	214	71.33
0.050	59	19.67	168	56.00	356	118.67
0.075	67	22.33	204	68.00	462	154.00
0.100	78	26.00	231	77.00	520	173.33
0.200	93	31.00	278	92.67	676	225.33
0.300	111	37.00	332	110.67	765	255.00
0.400	132	44.00	378	126.00	829	276.33
0.500	147	49.00	414	138.00	905	301.67

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
N° MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	26.00	2.60%	1.078	31.00	2.07%	1.078
B	77.00	7.70%	1.169	92.67	6.18%	1.169
C	173.33	17.33%	1.246	225.33	15.02%	1.246
<b>Densidad Seca Máxima</b>	1.236					
<b>DSM</b>		<b>%CBR 0.1plg</b>		<b>%CBR 0.2plg</b>		<b>%CBR MAYOR</b>
95%	1.174	8.40%		6.80%		8.40%



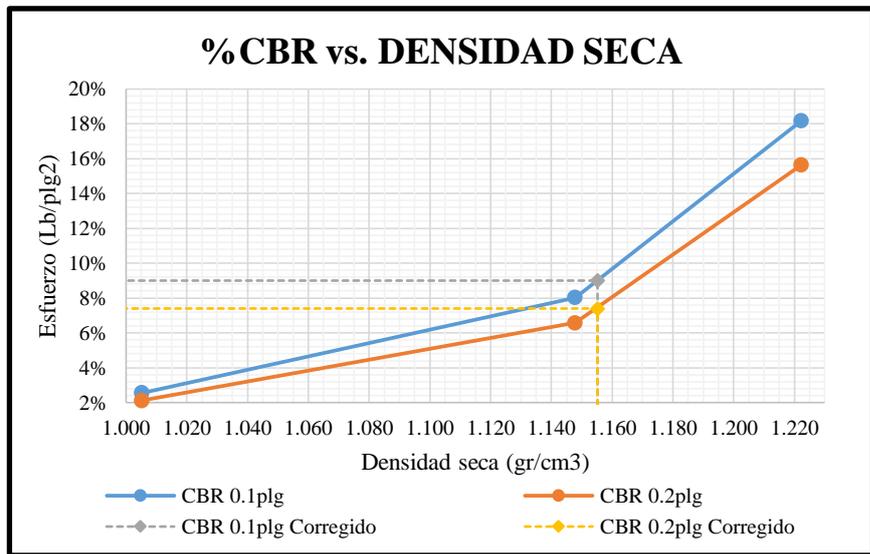
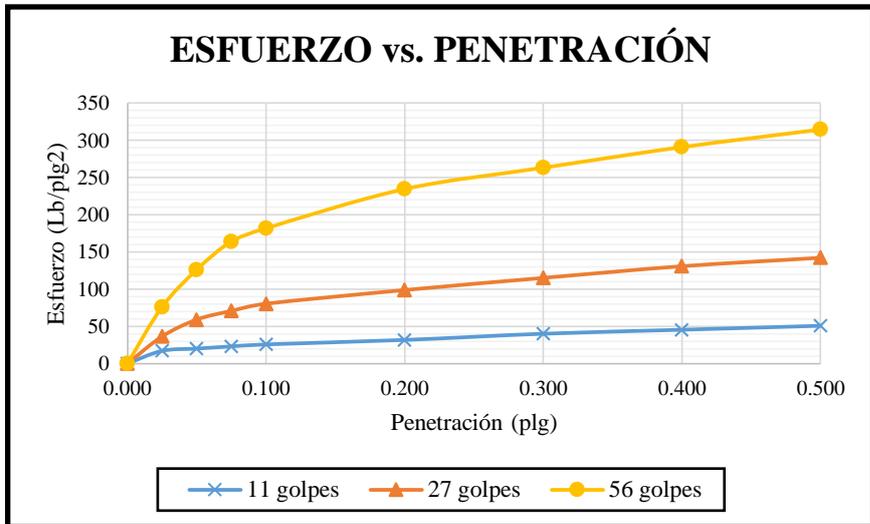
**DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO**

El valor del CBR es 8.40%.

**Tabla 80: CBR + 1% CCA (Veracruz)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
<b>PROYECTO:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante					
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	18M, 173178.5 ; 9832654.3			
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm			
<b>Sector:</b>	Veracruz	<b>Ceniza CA:</b>	1%			
<b>Norma:</b>	AASHTO T193-13	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López			
	ASTM D1883-16	<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla			
DATOS						
MOLDE	2		7		6	
DIMENSIONES	Diámetro	15.18	Diámetro	15.11	Diámetro	15.14
	Altura	12.70	Altura	12.71	Altura	12.91
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	12378		10198		9531	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	3060		3464		3766	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.331		1.520		1.620	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	84	87	89	85	98	88
Masa del recipiente	32.4	29	31.7	33.2	32.6	32.6
Masa suelo hum+recip. (gr)	204.7	215.1	200.3	214.3	200.8	191.6
Masa suelo seco+recip. (gr)	162.5	169.5	159	170	159.4	152.6
Masa de agua (gr)	42.2	45.6	41.3	44.3	41.4	39
Masa suelo seco (gr)	130.1	140.5	127.3	136.8	126.8	120
Contenido de humedad W%	32.44%	32.46%	32.44%	32.38%	32.65%	32.50%
Promedio W%	32.45%		32.41%		32.57%	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1.005		1.148		1.222	
DESPÚES DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	12981		10523		9797	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	3663		3789		4032	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.594		1.663		1.735	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	3	88	103	90	85	87
Masa del recipiente	33.40	32.60	30.70	31.50	33.20	29.00
Masa suelo hum+recip. (gr)	195.3	193.3	173.8	179.9	191.6	172.3
Masa suelo seco+recip. (gr)	138.8	139.6	128.4	133.9	144.3	125.8
Masa de agua (gr)	56.5	53.7	45.4	46	47.3	46.5
Masa suelo seco (gr)	105.4	107	97.7	102.4	111.1	96.8
Contenido de humedad W%	53.61%	50.19%	46.47%	44.92%	42.57%	48.04%
Promedio W%	51.90%		45.70%		45.31%	
ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg2		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	51	17.00	109	36.33	228	76.00
0.050	60	20.00	177	59.00	378	126.00
0.075	69	23.00	212	70.67	492	164.00
0.100	77	25.67	241	80.33	545	181.67
0.200	95	31.67	296	98.67	703	234.33
0.300	120	40.00	345	115.00	789	263.00
0.400	136	45.33	392	130.67	872	290.67
0.500	152	50.67	426	142.00	943	314.33

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
N° MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	25.67	2.57%	1.005	31.67	2.11%	1.005
B	80.33	8.03%	1.148	98.67	6.58%	1.148
C	181.67	18.17%	1.222	234.33	15.62%	1.222
<b>Densidad Seca Máxima</b>	1.216					
<b>DSM</b>	% CBR 0.1plg		% CBR 0.2plg		% CBR MAYOR	
95%	1.155	9.00%	7.40%	9.00%		



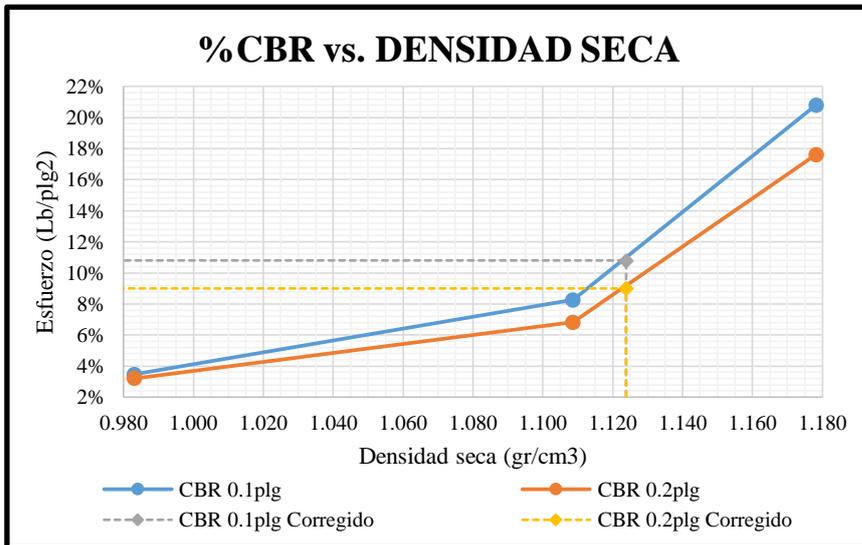
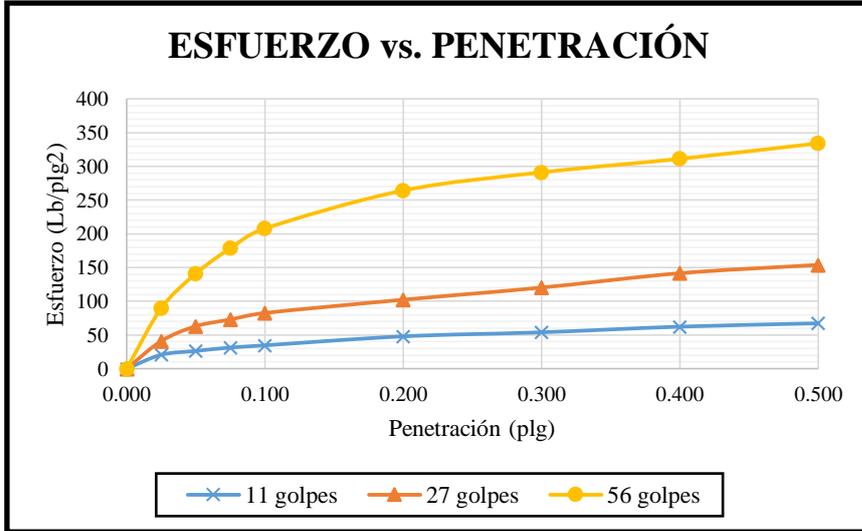
**DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO**

El valor del CBR es 9.0%.

**Tabla 81: CBR + 3% CCA (Veracruz)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
<b>PROYECTO:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante					
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	18M, 173178.5 ; 9832654.3			
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm			
<b>Sector:</b>	Veracruz	<b>Ceniza CA:</b>	3%			
<b>Norma:</b>	AASHTO T193-13	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López			
	ASTM D1883-16	<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla			
DATOS						
MOLDE	2		7		6	
DIMENSIONES	Diámetro	15.18	Diámetro	15.11	Diámetro	15.14
	Altura	12.70	Altura	12.71	Altura	12.91
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	12333		10095		9412	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	3015		3361		3647	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.312		1.475		1.569	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	1	5	35	10	98	89
Masa del recipiente	31.6	32.5	31.1	29.9	32.6	31.7
Masa suelo hum+recip. (gr)	193.5	202.6	198.9	211.4	190.8	210.7
Masa suelo seco+recip. (gr)	153.1	159.8	157.2	166.4	151.3	166.2
Masa de agua (gr)	40.4	42.8	41.7	45	39.5	44.5
Masa suelo seco (gr)	121.5	127.3	126.1	136.5	118.7	134.5
Contenido de humedad W%	33.25%	33.62%	33.07%	32.97%	33.28%	33.09%
Promedio W%	33.44%		33.02%		33.18%	
Peso unitario seco (gr/cm3)	0.983		1.109		1.178	
DESPÚES DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	12819		10427		9667	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	3501		3693		3902	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.523		1.620		1.679	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	1	35	5	10	108	84
Masa del recipiente	31.60	31.10	32.50	29.90	30.20	32.40
Masa suelo hum+recip. (gr)	168	211.8	185.7	194.7	201	178.4
Masa suelo seco+recip. (gr)	122.1	153.2	132.1	136	147.2	132.3
Masa de agua (gr)	45.9	58.6	53.6	58.7	53.8	46.1
Masa suelo seco (gr)	90.5	122.1	99.6	106.1	117	99.9
Contenido de humedad W%	50.72%	47.99%	53.82%	55.33%	45.98%	46.15%
Promedio W%	49.36%		54.57%		46.06%	
ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg2		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	62	20.67	123	41.00	269	89.67
0.050	79	26.33	189	63.00	423	141.00
0.075	94	31.33	219	73.00	536	178.67
0.100	104	34.67	248	82.67	624	208.00
0.200	144	48.00	307	102.33	793	264.33
0.300	162	54.00	361	120.33	874	291.33
0.400	187	62.33	425	141.67	934	311.33
0.500	202	67.33	462	154.00	1003	334.33

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
N° MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	34.67	3.47%	0.983	48.00	3.20%	0.983
B	82.67	8.27%	1.109	102.33	6.82%	1.109
C	208.00	20.80%	1.178	264.33	17.62%	1.178
<b>Densidad Seca Máxima</b>	1.183					
<b>DSM</b>	%CBR 0.1plg		%CBR 0.2plg		%CBR MAYOR	
95%	1.124	10.80%	9.00%	10.80%		



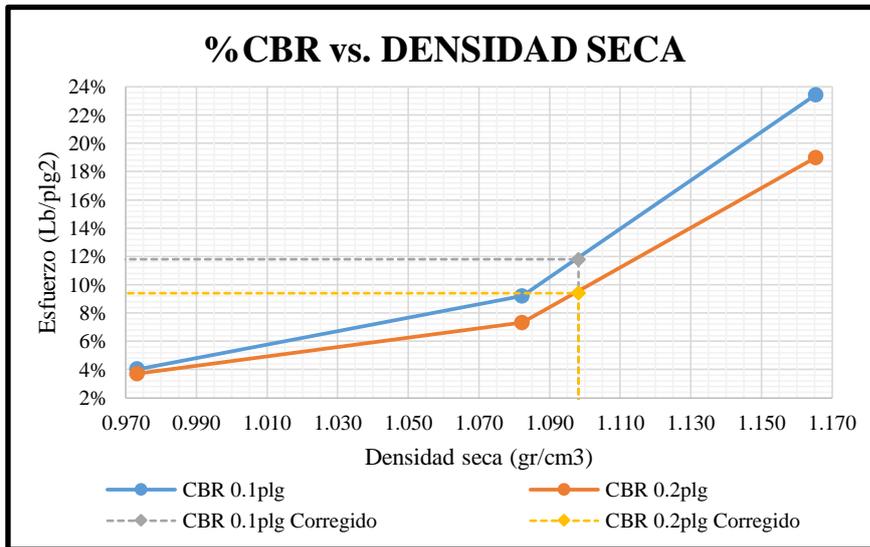
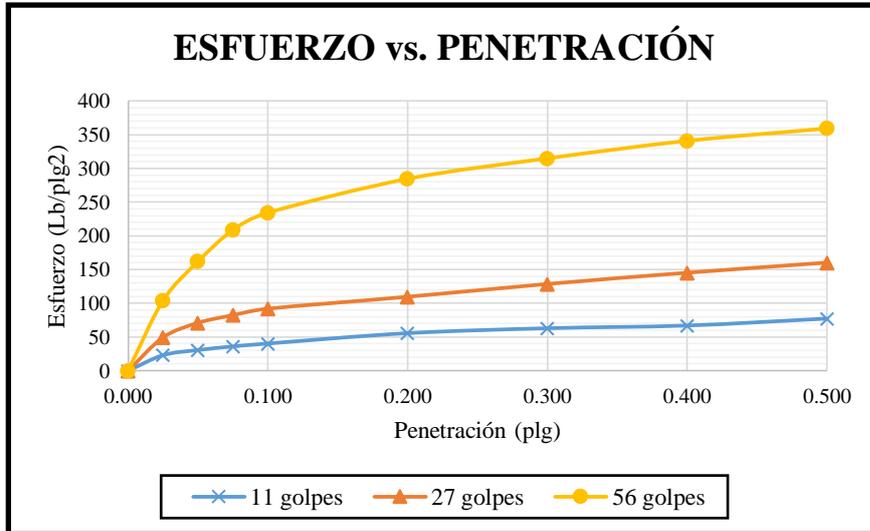
**DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO**

El valor del CBR es 10.80%.

**Tabla 82: CBR + 5% CCA (Veracruz)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
<b>PROYECTO:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante					
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	18M, 173178.5 ; 9832654.3			
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm			
<b>Sector:</b>	Veracruz	<b>Ceniza CA:</b>	5%			
<b>Norma:</b>	AASHTO T193-13	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López			
	ASTM D1883-16	<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla			
DATOS						
MOLDE	2		7		6	
DIMENSIONES	Diámetro	15.18	Diámetro	15.11	Diámetro	15.14
	Altura	12.70	Altura	12.71	Altura	12.91
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	12309		10034		9387	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	2991		3300		3622	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.301		1.448		1.558	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	85	98	90	87	3	89
Masa del recipiente	33.2	32.6	31.5	29	33.4	31.7
Masa suelo hum+recip. (gr)	174.2	174	170.6	176.5	216.1	197.5
Masa suelo seco+recip. (gr)	138.7	138.3	135.7	139	169.9	155.8
Masa de agua (gr)	35.5	35.7	34.9	37.5	46.2	41.7
Masa suelo seco (gr)	105.5	105.7	104.2	110	136.5	124.1
Contenido de humedad W%	33.65%	33.77%	33.49%	34.09%	33.85%	33.60%
Promedio W%	33.71%		33.79%		33.72%	
Peso unitario seco (gr/cm3)	0.973		1.082		1.165	
DESPÚES DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	12816		10462		9704	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	3498		3728		3939	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.522		1.636		1.695	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	35	5	88	103	87	98
Masa del recipiente	31.10	32.50	32.60	30.70	29.00	32.60
Masa suelo hum+recip. (gr)	175.1	206.5	179.1	179.7	184.9	184.5
Masa suelo seco+recip. (gr)	122.9	145.9	131.2	128.9	136.7	137.8
Masa de agua (gr)	52.2	60.6	47.9	50.8	48.2	46.7
Masa suelo seco (gr)	91.8	113.4	98.6	98.2	107.7	105.2
Contenido de humedad W%	56.86%	53.44%	48.58%	51.73%	44.75%	44.39%
Promedio W%	55.15%		50.16%		44.57%	
ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg2		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	69	23.00	148	49.33	312	104.00
0.050	92	30.67	213	71.00	486	162.00
0.075	108	36.00	247	82.33	626	208.67
0.100	121	40.33	276	92.00	703	234.33
0.200	167	55.67	329	109.67	854	284.67
0.300	189	63.00	386	128.67	945	315.00
0.400	201	67.00	436	145.33	1023	341.00
0.500	232	77.33	481	160.33	1078	359.33

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
N° MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	40.33	4.03%	0.973	55.67	3.71%	0.973
B	92.00	9.20%	1.082	109.67	7.31%	1.082
C	234.33	23.43%	1.165	284.67	18.98%	1.165
<b>Densidad Seca Máxima</b>			1.156			
<b>DSM</b>		<b>% CBR 0.1plg</b>	<b>% CBR 0.2plg</b>	<b>% CBR MAYOR</b>		
95%	1.098	11.80%	9.40%	11.80%		



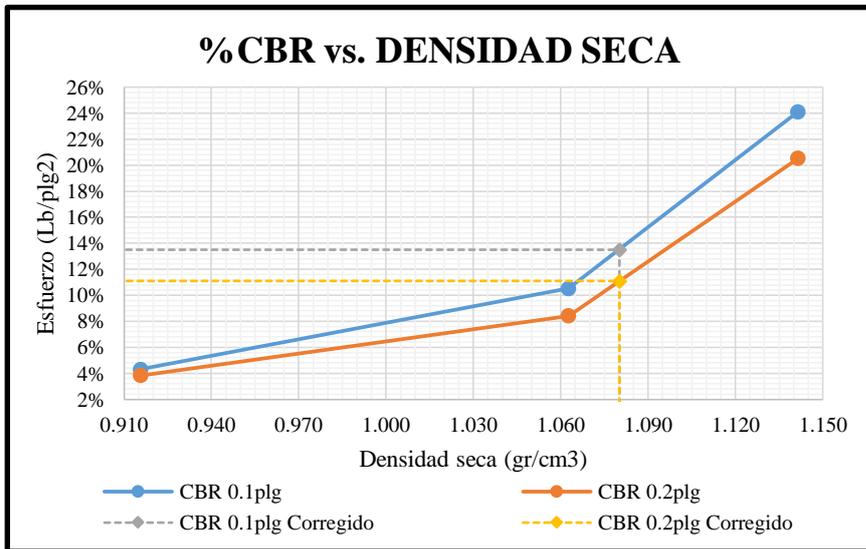
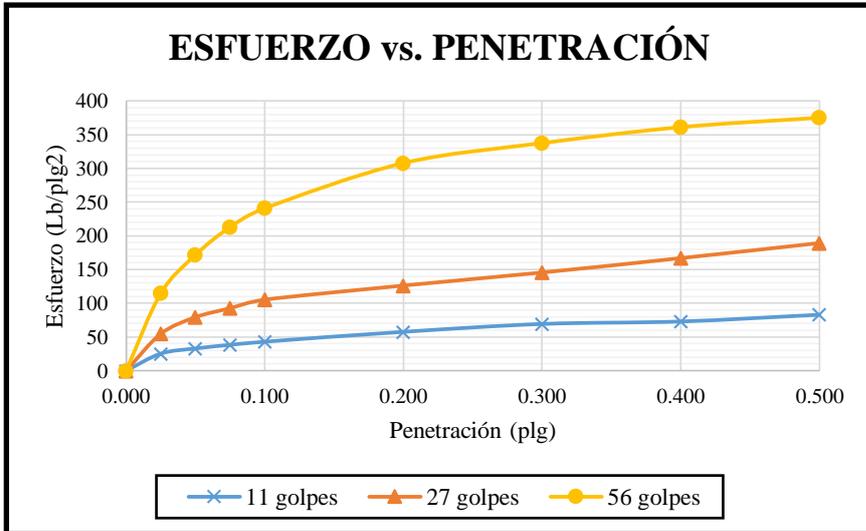
**DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO**

El valor del CBR es 11.80%.

**Tabla 83: CBR + 8% CCA (Veracruz)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
<b>PROYECTO:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante					
<b>Provincia:</b>	Pastaza	<b>Coordenadas:</b>	18M, 173178.5 ; 9832654.3			
<b>Cantón:</b>	Puyo	<b>Profundidad:</b>	60cm			
<b>Sector:</b>	Veracruz	<b>Ceniza CA:</b>	8%			
<b>Norma:</b>	AASHTO T193-13	<b>Ensayado por:</b>	Ronnie Steven Andaluz López			
	ASTM D1883-16	<b>Revisado por:</b>	Ing. Favio Portilla			
DATOS						
MOLDE	2		7		6	
DIMENSIONES	Diámetro	15.18	Diámetro	15.11	Diámetro	15.14
	Altura	12.70	Altura	12.71	Altura	12.91
N° de golpes	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	12150		9996		9335	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	2832		3262		3570	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.232		1.431		1.536	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	1	84	89	10	90	3
Masa del recipiente	31.6	32.4	31.7	29.9	31.5	33.2
Masa suelo hum+recip. (gr)	162.2	174.6	165.6	163.9	195.4	162
Masa suelo seco+recip. (gr)	129.1	137.6	131.2	129.3	152.8	129.3
Masa de agua (gr)	33.1	37	34.4	34.6	42.6	32.7
Masa suelo seco (gr)	97.5	105.2	99.5	99.4	121.3	96.1
Contenido de humedad W%	33.95%	35.17%	34.57%	34.81%	35.12%	34.03%
Promedio W%	34.56%		34.69%		34.57%	
Peso unitario seco (gr/cm3)	0.916		1.063		1.141	
DESPÚES DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	12670		10284		9548	
Masa Molde (gr)	9318		6734		5765	
Masa muestra húmeda (gr)	3352		3550		3783	
Volumen muestra (cm3)	2298.39		2279.04		2324.10	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1.458		1.558		1.628	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	98	1	84	90	5	103
Masa del recipiente	32.60	31.60	32.40	31.50	32.50	30.70
Masa suelo hum+recip. (gr)	170.3	195.5	170.2	176.9	201.1	172.6
Masa suelo seco+recip. (gr)	119.6	136.3	122.2	126.1	144.1	124
Masa de agua (gr)	50.7	59.2	48	50.8	57	48.6
Masa suelo seco (gr)	87	104.7	89.8	94.6	111.6	93.3
Contenido de humedad W%	58.28%	56.54%	53.45%	53.70%	51.08%	52.09%
Promedio W%	57.41%		53.58%		51.58%	
ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg2		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)	dial	Presión (lb/plg2)
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	76	25.33	164	54.67	344	114.67
0.050	99	33.00	238	79.33	515	171.67
0.075	115	38.33	278	92.67	639	213.00
0.100	129	43.00	316	105.33	723	241.00
0.200	173	57.67	379	126.33	924	308.00
0.300	208	69.33	437	145.67	1013	337.67
0.400	219	73.00	501	167.00	1084	361.33
0.500	249	83.00	568	189.33	1126	375.33

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
N° MOLDE	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	43.00	4.30%	0.916	57.67	3.84%	0.916
B	105.33	10.53%	1.063	126.33	8.42%	1.063
C	241.00	24.10%	1.141	308.00	20.53%	1.141
<b>Densidad Seca Máxima</b>	1.137					
<b>DSM</b>		<b>%CBR 0.1plg</b>		<b>%CBR 0.2plg</b>		<b>%CBR MAYOR</b>
95%	1.080	13.50%		11.10%		13.50%



**DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO**

El valor del CBR es 13.50%.

## **Anexo D: Conteo Vehicular**

**Tabla 84:** Conteo vehicular sentido Sur - Norte

AV. PITÁGORAS (SUR-NORTE)										
HORA	LIVIANOS	BUSES	PESADOS							TOTAL
			2DA	2DB	V2DB	3A	3S2	3S3	Σ PESADOS	
07H00-07H15	19	0	0	0	1	1	0	0	2	21
07H15-07H30	21	0	0	2	0	0	0	0	2	23
07H30-07H45	18	2	0	0	0	0	0	0	0	20
07H45-08H00	22	2	0	0	0	0	0	0	0	24
08H00-08H15	19	2	1	0	0	0	0	0	1	22
08H15-08H30	14	1	0	1	0	0	0	0	1	16
08H30-08H45	14	0	1	0	0	0	0	0	1	15
08H45-09H00	16	2	1	1	0	0	0	0	2	20
09H00-09H15	10	2	0	0	1	0	0	0	1	13
09H15-09H30	13	0	1	0	0	0	0	0	1	14
09H30-09H45	24	1	1	0	0	1	0	0	2	27
09H45-10H00	20	1	0	1	0	0	0	0	1	22
10H00-10H15	22	1	2	1	0	0	0	0	3	26
10H15-10H30	20	2	1	2	0	0	0	0	3	25
10H30-10H45	23	2	3	2	0	0	0	0	5	30
10H45-11H00	20	0	3	0	0	0	1	0	4	24
11H00-11H15	16	2	0	0	0	0	0	0	0	18
11H15-11H30	15	0	0	2	1	0	0	0	3	18
11H30-11H45	13	1	0	1	0	0	0	0	1	15
11H45-12H00	15	2	0	0	0	0	0	0	0	17
12H00-12H15	23	1	1	1	1	0	0	0	3	27
12H15-12H30	17	2	1	0	0	0	0	0	1	20
12H30-12H45	11	1	0	3	0	0	0	0	3	15
12H45-13H00	19	2	0	1	0	0	0	0	1	22
13H00-13H15	18	1	0	0	0	0	0	0	0	19
13H15-13H30	29	1	0	2	1	0	0	0	3	33
13H30-13H45	17	1	1	0	0	0	0	0	1	19
13H45-14H00	27	2	0	1	1	0	0	0	2	31
14H00-14H15	19	1	1	0	0	0	0	0	1	21
14H15-14H30	16	0	1	2	0	0	0	0	3	19
14H30-14H45	19	2	0	0	1	0	0	0	1	22
14H45-15H00	19	2	0	1	0	0	0	0	1	22
15H00-15H15	21	1	0	2	0	0	0	0	2	24
15H15-15H30	20	2	1	0	1	0	0	0	2	24
15H30-15H45	25	0	1	0	1	0	0	0	2	27
15H45-16H00	29	1	0	1	0	0	0	0	1	31
16H00-16H15	13	2	1	1	0	0	0	0	2	17
16H15-16H30	17	2	1	1	1	0	0	0	3	22
16H30-16H45	20	2	1	0	0	0	0	0	1	23
16H45-17H00	20	1	1	1	0	0	0	0	2	23
17H00-17H15	28	1	0	1	1	0	0	0	2	31
17H15-17H30	27	1	0	2	0	0	0	0	2	30
17H30-17H45	21	2	2	0	0	0	0	0	2	25
17H45-18H00	21	1	1	0	0	0	0	0	1	23
18H00-18H15	31	2	1	2	0	0	0	0	3	36
18H15-18H30	30	0	4	3	0	0	0	0	7	37
18H30-18H45	19	1	0	0	0	0	0	0	0	20
18H45-19H00	15	0	0	1	0	0	0	0	1	16

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 85:** Conteo vehicular sentido Norte - Sur

AV. PITÁGORAS (NORTE-SUR)										
HORA	LIVIANOS	BUSES	PESADOS							TOTAL
			2DA	2DB	V2DB	3A	3S2	3S3	Σ PESADOS	
07H00-07H15	25	2	0	0	0	0	0	0	0	27
07H15-07H30	18	1	0	1	0	0	0	0	1	20
07H30-07H45	26	2	1	0	0	1	0	0	2	30
07H45-08H00	37	1	0	1	0	1	0	0	2	40
08H00-08H15	21	1	0	0	0	0	0	0	0	22
08H15-08H30	22	1	0	0	0	0	0	0	0	23
08H30-08H45	18	2	2	0	0	0	0	0	2	22
08H45-09H00	22	2	2	0	0	0	0	0	2	26
09H00-09H15	11	1	1	1	0	0	0	0	2	14
09H15-09H30	13	1	1	0	0	0	0	0	1	15
09H30-09H45	31	1	0	3	1	1	0	0	5	37
09H45-10H00	24	1	0	0	0	1	0	0	1	26
10H00-10H15	22	1	0	1	1	1	0	0	3	26
10H15-10H30	19	2	2	0	0	0	0	0	2	23
10H30-10H45	13	1	1	2	0	0	0	0	3	17
10H45-11H00	19	1	0	1	0	0	0	0	1	21
11H00-11H15	30	1	0	2	0	0	0	0	2	33
11H15-11H30	13	1	2	1	0	0	0	0	3	17
11H30-11H45	16	1	2	2	0	0	0	0	4	21
11H45-12H00	25	1	0	1	1	0	0	0	2	28
12H00-12H15	29	1	0	1	0	0	0	0	1	31
12H15-12H30	23	1	0	0	0	0	0	0	0	24
12H30-12H45	22	1	0	1	0	0	0	0	1	24
12H45-13H00	20	1	1	0	0	0	0	0	1	22
13H00-13H15	16	2	1	1	0	0	0	0	2	20
13H15-13H30	15	1	2	2	0	0	0	0	4	20
13H30-13H45	19	1	1	0	0	1	0	0	2	22
13H45-14H00	17	1	0	2	0	0	0	0	2	20
14H00-14H15	24	2	1	1	0	0	0	0	2	28
14H15-14H30	21	1	0	1	0	0	0	0	1	23
14H30-14H45	22	1	0	0	1	0	0	0	1	24
14H45-15H00	23	2	2	0	0	0	0	0	2	27
15H00-15H15	21	3	3	0	1	0	0	0	4	28
15H15-15H30	21	1	1	1	1	0	0	0	3	25
15H30-15H45	15	1	1	0	1	0	0	0	2	18
15H45-16H00	16	1	0	0	1	0	0	0	1	18
16H00-16H15	12	1	0	1	0	0	0	0	1	14
16H15-16H30	13	2	2	2	0	0	0	0	4	19
16H30-16H45	24	1	0	0	1	0	0	0	1	26
16H45-17H00	16	1	2	0	1	0	0	0	3	20
17H00-17H15	20	2	3	3	0	0	0	0	6	28
17H15-17H30	30	0	2	2	0	0	0	0	4	34
17H30-17H45	27	3	1	2	1	0	1	0	5	35
17H45-18H00	25	1	0	1	0	0	0	0	1	27
18H00-18H15	25	0	2	0	0	0	0	0	2	27
18H15-18H30	23	1	0	0	0	0	2	0	2	26
18H30-18H45	18	0	1	0	0	0	0	0	1	19
18H45-19H00	16	1	0	0	0	0	0	0	0	17

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

## **Anexo E: Análisis de Precios Unitarios**

**Tabla 86: Rubro Subbase Clase III**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
<b>Proyecto:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante				
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
<b>Rubro:</b>	Subbase Clase III			Hoja 1 de 4	
				Unidad: m3	
<b>EQUIPO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C=A*B</b>	<b>R</b>	<b>D=C*R</b>
Herramienta Menor (5%)	1	35.00	35.00	0.014	0.02
Motoniveladora 165 HP	1	25.00	25.00	0.014	0.49
Rodillo Uso Vibratorio	1	20.00	20.00	0.014	0.35
Tanquero de agua	1	20.00	20.00	0.014	0.28
SUBTOTAL M					1.14
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>JORNAL/HR</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C=A*B</b>	<b>R</b>	<b>D=C*R</b>
Peón (EOE2)	2	3.62	7.24	0.014	0.10
Inspector de Obra (EOB3)	1	4.07	4.07	0.014	0.06
Chofer Tanquero de agua (EOC1)	1	5.31	5.31	0.014	0.07
Operador Motoniveladora (EOC1)	1	4.06	4.06	0.014	0.06
Operador Rodillo Liso (EOC2)	1	3.86	3.86	0.014	0.05
SUBTOTAL N					0.34
<b>MATERIALES</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNIT.</b>	<b>COSTO</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>			<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C=A*B</b>
Agua		m3	0.100	0.500	0.05
Material Sub Base Clase III		m3	1.200	6.500	7.80
SUBTOTAL O					7.85
<b>TRANSPORTE</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNIT.</b>	<b>COSTO</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>			<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C=A*B</b>
SUBTOTAL P					0.00
ESTOS PRECIOS NO INCLUYE IVA	<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>				9.33
	<b>INDIRECTOS (%)</b>				0.00%
	<b>INDIRECTOS (%)</b>				0
	<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>				9.33
<b>VALOR UNITARIO</b>				<b>9.33</b>	
Nueve dólares con treinta y tres centavos.					

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 87: Rubro Base Clase II**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
<b>Proyecto:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante				
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
<b>Rubro:</b>	Base Clase II	Hoja 2 de 4			
		Unidad: m3			
<b>EQUIPO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C=A*B</b>	<b>R</b>	<b>D=C*R</b>
Herramienta Menor (5%)	1	35.00	35.00	0.014	0.02
Motoniveladora 165 HP	1	25.00	25.00	0.014	0.49
Rodillo Uso Vibratorio	1	20.00	20.00	0.014	0.35
Tanquero de agua	1	20.00	20.00	0.014	0.28
SUBTOTAL M					1.14
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>JORNAL/HR</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C=A*B</b>	<b>R</b>	<b>D=C*R</b>
Peón (EOE2)	2	3.62	7.24	0.014	0.10
Inspector de Obra (EOB3)	1	4.07	4.07	0.014	0.06
Chofer Tanquero de agua (EOC1)	1	5.31	5.31	0.014	0.07
Operador Motoniveladora (EOC1)	1	4.06	4.06	0.014	0.06
Operador Rodillo Liso (EOC2)	1	3.86	3.86	0.014	0.05
SUBTOTAL N					0.34
<b>MATERIALES</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNIT.</b>	<b>COSTO</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>			<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C=A*B</b>
Agua		m3	0.100	0.50	0.05
Material Base Clase II		m3	1.200	11.00	13.20
SUBTOTAL O					13.25
<b>TRANSPORTE</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNIT.</b>	<b>COSTO</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>			<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C=A*B</b>
SUBTOTAL P					0.00
ESTOS PRECIOS NO INCLUYE IVA	<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>				14.73
	<b>INDIRECTOS (%)</b>			0.00%	0.00
	<b>INDIRECTOS (%)</b>			0.00%	0
	<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>				14.73
	<b>VALOR UNITARIO</b>				<b>14.73</b>
Catorce dólares con setenta y tres centavos.					

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 88:** Rubro Carpeta Asfáltica de e= 10 cm

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
<b>Proyecto:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante				
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
<b>Rubro:</b>	Carpeta Asfáltica de e=10 cm				Hoja 3 de 4
					Unidad: m2
<i>EQUIPO</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>TARIFA</i>	<i>COSTO HORA</i>	<i>RENDIMIENTO</i>	<i>COSTO</i>
<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C=A*B</i>	<i>R</i>	<i>D=C*R</i>
Herramienta Menor (5%)	1	40.00	40.00	0.010	0.40
Cargadora frontal	1	145.00	145.00	0.010	1.45
Planta de Asfalto	1	35.00	35.00	0.010	0.35
Rodillo neumático	1	35.00	35.00	0.010	0.35
Rodillo de asfalto	1	70.00	70.00	0.010	0.70
Terminadora de Asfalto	1	26.00	26.00	0.010	0.26
Planta eléctrica	1				
SUBTOTAL M					3.53
<i>MANO DE OBRA</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>JORNAL/HR</i>	<i>COSTO HORA</i>	<i>RENDIMIENTO</i>	<i>COSTO</i>
<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C=A*B</i>	<i>R</i>	<i>D=C*R</i>
Peón (EOE2)	10	3.62	36.20	0.010	0.36
Inspector de Obra (EOB3)	1	4.07	4.07	0.010	0.04
Operador Cargadora Frontal (EOC1)	1	4.06	4.06	0.010	0.04
Operador Rodillo de Asfalto (EOC1)	1	3.86	3.86	0.010	0.04
Operador Rodillo Neumático (EOC2)	1	3.86	3.86	0.010	0.04
Operador Planta de Asfalto (EOC2)	1	3.86	3.86	0.010	0.04
Operador Terminadora de Asfalto (EOC2)	1	3.86	3.86	0.010	0.04
SUBTOTAL N					0.60
<i>MATERIALES</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>PRECIO UNIT.</i>	<i>COSTO</i>	
<i>DESCRIPCIÓN</i>		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C=A*B</i>	
Asfalto	Lt	13.1883	0.38	5.0116	
Material Triturado 3/4"	m3	0.0068	12.67	0.0862	
Agregado pasante #4	m3	0.0234	11.87	0.2778	
Material Triturado 3/8"	m3	0.1301	11.87	1.5443	
Diésel	Lt	5.9850	0.50	2.9925	
SUBTOTAL O				9.9123	
<i>TRANSPORTE</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>PRECIO UNIT.</i>	<i>COSTO</i>	
<i>DESCRIPCIÓN</i>		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C=A*B</i>	
SUBTOTAL P				0.00	
ESTOS PRECIOS NO INCLUYE IVA	<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>				14.04
	<b>INDIRECTOS (%)</b>				0.00
	<b>INDIRECTOS (%)</b>				0
	<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>				14.04
<b>VALOR UNITARIO</b>				<b>14.04</b>	
Catorce dólares con cuatro centavos.					

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Tabla 89:** Rubro Mejoramiento de subrasante

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
<b>Proyecto:</b>	Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante				
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
<b>Rubro:</b>	Mejoramiento de subrasante				Hoja 4 de 4
					Unidad: m3
<b>EQUIPO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C=A*B</b>	<b>R</b>	<b>D=C*R</b>
Herramienta Menor (5%)					0.02
Motoniveladora 165 HP	1	35.00	35.00	0.009	0.32
Rodillo Uso Vibratorio	1	25.00	25.00	0.009	0.23
Tanquero de agua	1	20.00	20.00	0.009	0.18
SUBTOTAL M					0.74
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>JORNAL/HR</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C=A*B</b>	<b>R</b>	<b>D=C*R</b>
Peón (EOE2)	2	3.62	7.24	0.009	0.07
Inspector de Obra (EOB3)	1	4.07	4.07	0.009	0.04
Chofer Tanquero de agua (EOC1)	1	5.31	5.31	0.009	0.05
Operador Motoniveladora (EOC1)	1	4.06	4.06	0.009	0.04
Operador Rodillo Liso (EOC2)	1	3.86	3.86	0.009	0.03
SUBTOTAL N					0.22
<b>MATERIALES</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNIT.</b>	<b>COSTO</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>			<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C=A*B</b>
Agua		m3	0.20	0.500	0.10
Ceniza de cáscara de arroz		kg	85.00	0.500	42.50
SUBTOTAL O					42.6
<b>TRANSPORTE</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNIT.</b>	<b>COSTO</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>			<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C=A*B</b>
SUBTOTAL P					0.00
ESTOS PRECIOS NO INCLUYE IVA	<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>				43.56
	<b>INDIRECTOS (%)</b>			0.00%	0.00
	<b>INDIRECTOS (%)</b>			0.00%	0
	<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>				43.56
	<b>VALOR UNITARIO</b>				<b>43.56</b>
Cuarenta y tres dólares con cincuenta y seis centavos.					

Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

Cuantificación de la cantidad de ceniza de cáscara de arroz para 1 m<sup>3</sup> de suelo.

Densidad máxima seca: 1.137 g/cm<sup>3</sup>

Porcentaje de ceniza de cáscara de arroz: 35%

$$\rho * v = m_{suelo}$$

$$1137 \frac{kg}{m^3} * 1m^3 = m_{suelo}$$

$$m_{suelo} = 1137 \text{ kg}$$

Este valor corresponde a la muestra seca adiciona el 8% de ceniza de cáscara de arroz.

$$m_{finos} = \frac{1137 \text{ kg} * 8\%}{108\%}$$

$$m_{finos} = 84.22 \approx 85 \text{ kg}$$

Para la cantidad de agua se ocupará el valor del contenido de humedad óptimo y la densidad máxima seca.

$$V_{agua} = 1137 \text{ kg} * 35\%$$

$$V_{agua} = 397.95 \text{ kg} * \frac{1000cm^3}{1kg_{agua}} * \frac{1m^3}{(100cm)^3} = 0.398cm^3$$

El valor que se utilizará para el APU va ser el 50% del valor obtenido es decir 0.20m<sup>3</sup>, porque la humedad obtenida en campo es demasiada alta.

## **Anexo F: Fotografías**

**Figura 41:** Ceniza de cáscara de arroz



**Fuente:** Ronnie Steven Andaluz López

**Figura 42:** Excavación de la calicata



**Fuente:** Ronnie Steven Andaluz López

**Figura 43:** Ensayo de Cono y Arena



Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Figura 44:** Tamizado de las muestras de suelo



Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Figura 45:** Obtención de la temperatura de la muestra de suelo



Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Figura 46:** Colocación de la muestra en la Copa de Casagrande



Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Figura 47:** Mezcla del suelo y la ceniza de cáscara de arroz



Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Figura 48:** Compactación de las muestras de suelo



Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Figura 49:** Saturación de los moldes de CBR



Fuente: Ronnie Steven Andaluz López

**Figura 50:** Obtención del valor de CBR



Fuente: Ronnie Steven Andaluz López