

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON
SUSTANCIA CEMENTANTE (CENIZA DE CASCARILLA DE
ARROZ-CAL)”**

Por:

NELIDA NOEMI CAMATA CARI

Trabajo de grado presentado a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**, como requisito para optar el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

Gestión 2014
TARIJA - BOLIVIA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE
COMUNICACIÓN**

**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON
SUSTANCIA CEMENTANTE (CENIZA DE CASCARILLA DE
ARROZ-CAL)”**

Por:

NELIDA NOEMI CAMATA CARI

Proyecto de grado presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

Gestión 2014

TARIJA - BOLIVIA

DEDICATORIAS:

El presente trabajo está dedicado en primer lugar a Dios por brindarme el regalo de la vida y permitirme alcanzar mis metas, siendo mi fortaleza en los momentos difíciles. A mis padres; Francisco Camata Onofre y Justina Cari Copa por su sacrificio, amor, apoyo y ser ejemplo de perseverancia en mi vida. A mis hermanos; Vanesa, Ariel, Francisco, Reynaldo y Daniel quienes son una bendición en mi vida. A mis amigas por todo su apoyo brindado y enseñarme con su amistad a ser una mejor persona cada día.

AGRADECIMIENTOS:

Agradezco a Dios por cuidarme y protegerme siempre, darme la salud, sabiduría y entendimiento para alcanzar este logro, a mis padres por su apoyo moral e incondicional, y darme la oportunidad de educación desde mi infancia, a mis hermanos por su ayuda.

Un agradecimiento especial a: Avilia Robles Quispe a quien jamás encontraré la forma de agradecer su apoyo, comprensión, confianza mostrada y brindada durante la realización de este trabajo. A Marisol Rodríguez, Eliana Calderón, Cristina Rueda y Carla Condori, quiénes son mis amigas y compañeras de la carrera, por su amistad, sus consejos, por su ayuda, apoyo y por la buena convivencia que tuvimos en todo momento, muchas gracias y que Dios las bendiga.

INDICE

Advertencia

Dedicatoria

Agradecimiento

Pensamiento

Resumen

Página

CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Fundamentación teórica.....	2
1.2.1 Presentación de conocimientos científicos.....	2
1.2.2 Posición asumido ante el tema.....	3
1.3 Diseño teórico.....	4
1.3.1 Determinación del problema.....	4
1.3.1.1 Situación problemica.....	4
1.3.1.2 Problema.....	5
1.3.2 Objetivo general.....	5
1.3.3 Objetivos específicos.....	6
1.3.4 Tipo de estudio.....	6
1.3.5 Hipótesis.....	7
1.3.6 Definición de variables conceptuales y operacionales.....	7
1.4 Diseño metodológico.....	7
1.4.1 Unidad de estudio y decisión muestral.....	7
1.4.1.1 Unidad de estudio.....	7
1.4.1.2 Población.....	8

	Página
1.4.1.3 Muestra.....	8
1.4.1.4 Muestreo.....	8
1.4.2 Métodos, Técnicas y Procedimientos.....	9
1.4.2.1 Experimentales.....	9
1.4.2.2 Experimento.....	9
1.4.3 Preparación para la aplicación de instrumentos.....	13
1.4.3.1 Descripción de equipos.....	13
1.4.4 Tratamiento estadístico.....	14
1.4.4.1 Confiabilidad.....	14
1.5 Alcance.....	15

CAPITULO II: ESTADO DE CONOCIMIENTO SOBRE ESTABILIZACIONES DE SUELOS ARCILLOSOS CON APLICACIÓN DE SUSTANCIA CEMENTANTE (CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ –CAL)

2.1 Estabilidad del suelo.....	16
2.2 Importancia de la estabilización de suelos.....	17
2.3 Tipos de estabilización.....	20
2.3.1 Estabilización química o por medios químicos.	21
2.4 Sustancias cementantes.....	22
2.4.1 Puzolanas.....	22
2.4.1.1 Tipos de Puzolanas.....	24
2.4.1.2 Reacción Puzolánica.....	25
2.4.1.3 Reacción Puzolánica y cementante.....	26
2.4.2 Producto residual : Ceniza de Cascarilla de arroz (CCA)	27
2.4.2.1 Producción de cascarilla de arroz en Bolivia.....	27
2.4.2.2 Ceniza de cascarilla de arroz (CCA)	30
2.4.2.3 Propiedades de la Ceniza de Cascarilla de Arroz.....	32

	Página
2.4.3 Cal.....	35
2.4.3.1 Tipos de cal.....	35
2.4.3.2 Cales utilizadas para la estabilización de suelos	36
2.4.3.3 Especificaciones técnicas de la cal.....	37
2.5 El agua	39
2.6 Suelos finos	40
2.6.1 Definición.....	40
2.6.2 Arcillas.....	40
2.6.3 Características de las arcillas.....	40
2.6.4 Clasificación de las arcillas.....	41
2.6.5 Clasificación de los minerales arcillosos.....	41
2.6.6 Arcillas en la ingeniería civil.....	42
2.6.7 Incidencia de suelos finos en obras viales.....	44
2.7 Estabilización de suelos con sustancia cementante (CCA+CAL).....	45
2.7.1 Mezclas de Cal-Puzolanas para Suelos con cantidades bajas de arcilla.....	46
2.7.2 pH del medio.....	46
2.7.3 Características de la resistencia mecánica.....	47
2.7.4 Resistencia de mezcla no-curada.....	47
2.7.5 Variaciones volumétricas.....	48
2.7.6 Plasticidad.....	48
2.7.7 Mezcla.....	49

CAPITULO III: DESARROLLO DE LA INVESTIGACION SOBRE ESTABILIZACIONES DE SUELOS ARCILLOSOS CON APLICACIÓN DE SUSTANCIA CEMENTANTE (CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ –CAL)

3.1 Ubicación de la zona de estudio.....	50
3.2 Muestreo de materiales.....	51

	Página
3.2.1 Muestreo zona de estudio: Barrio Miraflores.....	51
3.2.2 Muestreo zona de estudio: Av. Principal del Campus Universitario de la U.A.J.M.S.	52
3.2.3 Selección de la cascarilla de arroz, proceso de incineración y obtención de ceniza (CCA).	53
3.3 Caracterización de los materiales a estabilizar.....	54
3.3.1 Análisis granulométrico (ASTM D 422 AASHTO T88)	54
3.3.2 Límites de Atterberg (ASTM D4318 AASHTO T90-T89)	56
3.3.3 Contenido de Humedad y Clasificación.....	58
3.3.4 Compactación (AASHTO T-180/ ASTM D1557)	58
3.3.5 Relación de Soporte de California CBR (ASTM D 1883 AASHTO -193)...	61
3.3.6 Compresión Incofinada en muestras de suelos (ASTM D2126 AASHTO T208).....	64
3.3.7 Determinación del pH de los suelos (ASTM G51)	66
3.4 Caracterización del estabilizante.....	67
3.4.1 Finura de la CCA(Ceniza de cascarilla de arroz)	67
3.4.2 Análisis químico de la ceniza de cascarilla de arroz.....	68
3.5 Proceso de estabilización con ceniza de cascarilla de arroz (CCA) y CAL.....	68
3.5.1 Preparación de mezclas.....	68
3.5.2 Proceso de estabilización.....	69
3.5.3 Ensayos de control.....	71
3.5.3.1 Granulometría.....	71
3.5.3.2 Límites de Atterberg.....	75
3.5.3.3 Compactación.....	76
3.5.3.4 CBR y Expansión.....	79
3.5.3.5 Compresión Inconfinada.....	80
3.5.3.6 Determinación de PH	81
3.6 Resumen de resultados.....	82

	Página
3.6.1 Resultados de caracterización correspondientes a los suelos en su estado natural.....	82
3.6.2 Resultados de los ensayos realizados con las diferentes mezclas realizadas para la estabilización.....	83
3.7 Análisis de resultados.....	84
3.7.1 Análisis de los resultados de las propiedades de los suelos naturales.....	84
3.7.2 Análisis de los resultados de las propiedades de los suelos tratados con CAL y CCA.....	85

CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.....	105
Recomendaciones.....	107
BIBLIOGRAFIA.....	108

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2.1 Rendimiento del arroz.....	29
Tabla 2.2: Evolución de la producción de arroz con cascarilla en Bolivia.....	30
Tabla 2.3: Composición química de la cascarilla de arroz y de las cenizas de la cascarilla de arroz.....	33
Tabla 2.4: Composición química de las cenizas de cascarilla de arroz.....	33
Tabla 2.5. Propiedades de la Ceniza de Cascarilla de Arroz.....	34
Tabla 2.6. Definición del tamaño de partículas.....	43
Tabla 3.1 Resultados de granulometría de los suelos naturales.....	55
Tabla 3.2 Resultados correspondientes a la plasticidad de las muestras sin estabilizar.....	58
Tabla 3.3 Resultados correspondientes al contenido de humedad natural.....	58
Tabla 3.4 Resultados del ensayo de compactación sin estabilizar.....	60
Tabla 3.5 Resultados del ensayo de CBR sin estabilizar.....	63
Tabla 3.6 Resultados de esfuerzo ultimo de compresión inconfinado sin estabilizar.....	65
Tabla 3.7 Resultados del ensayo de pH en los suelo naturales.....	67
Tabla 3.8 Finura de la CCA.....	68
Tabla 3.9. Analisis químico de CCA.....	68
Tabla 3.10. Resultados de pH con diferentes % de CAL Zona 1.....	70
Tabla 3.11. Resultados de pH con diferentes % de CAL Zona 2.....	70
Tabla 3.12. Resultados de granulometría con 2-3-4-5% de CAL_ Zona 1.....	71

Página.

Tabla 3.13.Resultados de granulometría con 3% CAL (valor cte.) y variación de 3-5-7-10 % de CCA _Zona 1.....	72
Tabla 3.14. Resultados de granulometría con 2-3-4-5% de CAL_ Zona 2.....	73
Tabla 3.15. Resultados de granulometría con 3% CAL (valor cte.) y variación de 3-5-7-10 % de CCA _Zona 2.....	74
Tabla 3.16.Resultados de L.L.,L.P.,e I.P.con agentes estabilizantes _Zona 1.....	75
Tabla 3.17. Resultados de L.L.,L.P.,e I.P.con agentes estabilizantes _Zona 2.....	76
Tabla 3.18.Resultados de compactación con agentes estabilizantes _ Zona 1.....	76
Tabla 3.19. Resultados de compactación con agentes estabilizantes _ Zona 2.....	78
Tabla 3.20. Resultados de % de CBR y expansión con agente estabilizante: CAL para la Zona 1.....	79
Tabla 3.21. Tabla 3.20. Resultados de % de CBR y expansión con agente estabilizante: CAL-CCA para la Zona 1.....	79
Tabla 3.22. Resultados de % de CBR y expansión con agente estabilizante: CAL para la Zona 2.....	80
Tabla 3.23. Resultados de % de CBR y expansión con agente estabilizante: CAL-CCA para la Zona 2.....	80
Tabla 3.24.Resultados de Compresión Inconfinada con agentes estabilizantes Zona 1.....	80
Tabla 3.25.Resultados de Compresión Inconfinada con agentes estabilizantes Zona 2.....	81
Tabla 3.26.Resultados de pH en los suelos estabilizados Zona 1.....	81
Tabla 3.27.Resultados de pH en los suelos estabilizados Zona 2.....	82
Tabla 3.28.Resultados de caracterización de los suelos finos a estabilizar.....	82

Página.

Tabla 3.29. Resultados para los ensayos realizados con las diferentes mezclas para la estabilización en la zona N° 1: Barrio Miraflores.....	83
Tabla 3.30. Resultados para los ensayos realizados con las diferentes mezclas para la estabilización en la zona N° 2: Av. Principal del campus universitario.....	83
Tabla 3.31. Influencia de la mezcla (S-CAL) y (S-CAL-CCA) en relación a la deformación y RCI para la Zona 1.....	99
Tabla 3.32. Influencia de la mezcla (S-CAL) y (S-CAL-CCA) en relación a la deformación y RCI para la Zona 2.....	101

INDICE DE GRÁFICAS

	Página
Gráfica 3.1. Granulometrías de los suelos a estabilizar.....	56
Gráfica 3.2. Curva de compactación de la zona N°1.....	60
Gráfica 3.3. Curva de compactación de la zona N°2.....	60
Gráfica 3.4. Curva de Carga Vs Penetración de la zona N°1.....	63
Gráfica 3.5. Curva de Carga Vs Penetración de la zona N°2.....	63
Gráfica 3.6. Esfuerzo Vs Deformación Zona N°1.....	65
Gráfica 3.7. Esfuerzo Vs Deformación Zona N°2.....	65
Gráfica 3.7. Ensayo de granulometría con 2-3-4-5 % de CAL_ Zona 1.....	72
Gráfica 3.8. Ensayo de granulometría con 3% CAL (valor cte.) y variación de 3-5-7 10 % de CCA _Zona 1.....	73
Gráfica 3.9. Ensayo de granulometría con 2-3-4-5 % de CAL_ Zona 2.....	74
Gráfica 3.10. Ensayo de granulometría con 3% CAL (valor cte.) y variación de 3-5 7-10 % de CCA _Zona 2.....	75
Gráfica 3.11. Curvas de compactación con 2-3-4-5 % de CAL_ Zona 1.....	77
Gráfica 3.12. Curvas de compactación con 3% CAL (valor cte.) y variación de 3-5-7 10 % de CCA _Zona 1.....	77
Gráfica 3.13. Curvas de compactación con 2-3-4-5 % de CAL_ Zona 2.....	78
Gráfica 3.14. Curvas de compactación con 3% CAL (valor cte.) y variación de 3-5-7 10 % de CCA _Zona 2.....	79
Gráfica 3.15. Influencia de la CAL en los límites de consistencia para la Zona 1.....	86

Página

Gráfica 3.16. Influencia de la CAL en los límites de consistencia para la Zona 2.....	86
Gráfica 3.17. Influencia de la CAL en la densidad seca para la Zona 1.....	87
Gráfica 3.18. Relación δ_{seca} - %W en la mezcla S-CAL para la Zona 1.....	88
Gráfica 3.19. Influencia de la mezcla (S-CAL –CCA) en la densidad seca para la Zona 1.....	89
Gráfica 3.20. Relación δ_{seca} - %W en la mezcla S-CAL-CCA para la Zona 1.....	89
Gráfica 3.21. Influencia de la CAL en la densidad seca para la Zona 2.....	90
Gráfica 3.22. Relación δ_{seca} - %W en la mezcla S-CAL para la Zona 2.....	91
Gráfica 3.23. Influencia de la mezcla (S-CAL –CCA) en la densidad seca para la Zona 2.....	92
Gráfica 3.24. Relación δ_{seca} - %W en la mezcla S-CAL-CCA para la Zona 2.....	92
Gráfica 3.25. Influencia de la mezcla S-CAL en el CBR para la Zona 1.....	93
Gráfica 3.26. Influencia de la mezcla (S-CAL) en la expansión para la Zona 1.....	94
Gráfica 3.27. Influencia de la mezcla(S-CAL-CCA) en el CBR para la Zona 1.....	94
Gráfica 3.28. Influencia de la mezcla (S-CAL-CCA) en la expansión para la Zona1.....	95
Gráfica 3.29. Influencia de la mezcla S-CAL en el CBR para la Zona 2.....	96
Gráfica 3.30. Influencia de la mezcla (S-CAL) en la expansión para la Zona 2.....	96
Gráfica 3.31. Influencia de la mezcla (S-CAL-CCA) en el CBR para la Zona 2.....	97
Gráfica 3.32. Influencia de la mezcla (S-CAL-CCA) en la expansión para la Zona ..	97
Gráfica 3.33. Influencia de la mezcla (S-CAL) en la RCI para la Zona 1.....	99
Gráfica 3.34. Influencia de la mezcla (S-CAL-CCA) en la RCI para la Zona 1.....	99
Gráfica 3.35. Influencia de la mezcla (S-CAL) en la RCI para la Zona 2.....	101

	Página.
Gráfica 3.36. Influencia de la mezcla (S-CAL-CCA) en la RCI para la Zona 2.....	102
Gráfica 3.37. Resultados de pH en mezclas (S-CAL) y (S-CAL-CCA) para la Zona 1.....	103
Gráfica 3.38. Resultados de pH en mezclas (S-CAL) y (S-CAL-CCA) para la Zona 2.....	103

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1: Zona 1 de Recolección de muestra.....	11
Figura 1.2: Zona 2 de Recolección de muestra.....	11
Figura 2.1: Estabilización en planta y estabilización in situ con cemento.....	17
Figura 2.2: Puzolana Natural.....	24
Figura 2.3: Zonas potenciales de cultivo de arroz en Bolivia.....	28
Figura 2.4: Combustión: Ceniza de cascarilla de arroz.....	31
Figura 2.5: Combustión: Ceniza de cascarilla de arroz a diferentes temperaturas....	32
Figura 2.6: Difractograma de rayos x de la ceniza de cascarilla de arroz.....	34
Figura 3.1: Mapa de área de extracción de muestras N° 1: Barrio Miraflores.....	50
Figura 3.2: Mapa de área de extracción de muestras N° 2: Av. Principal del campus universitario.....	51
Figura 3.3: Zona de procedencia del material extraído: Muestra (suelos fino con contenido de arcilla amarilla).....	52
Figura 3.4: Zona de procedencia del material extraído: Muestra (suelo fino con contenido de arcilla orgánica)	52
Figura 3.5: Proceso de obtención de ceniza de cascarilla de arroz.....	53
Figura 3.6.- Lavando el suelo por la malla N°200.....	54
Figura 3.7.- Tamizando y pesando lo que quedo retenido en cada malla.....	55
Figura 3.8: Realización del ensayo de límites de Atterberg.....	57
Figura 3.9: Proceso del ensayo de compactación.....	59
Figura 3.10: Proceso de inmersión y penetración del ensayo de CBR.....	62
Figura 3.11: Realización del ensayo de compresión Incofinada.....	64

	Página.
Figura 3.12: Proceso del ensayo para determinar el pH de los suelos.....	66
Figura 3.13: Proceso del ensayo de finura para la CCA.....	67
Figura 3.14: Preparación de mezcla S-CAL-CCA.....	69
Figura 3.15: Proceso de combinado mezcla en seco (S-CAL-CCA) y adición de agua.....	69

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1.- ANÁLISIS QUÍMICO

ANEXO 2.- ENSAYOS DE CONTROL A SUELOS EN ESTADO NATURAL

ANEXO 3.- ENSAYOS DE CONTROL A SUELOS TRATADOS CON CAL

ANEXO 4.- ENSAYOS DE CONTROL A SUELOS TRATADOS CON CAL Y
CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ

ANEXO 5.- TABLAS

ANEXO 6.-PROPUESTA METODOLÓGICA DE PRODUCCIÓN DE CENIZA DE
CASCARILLA DE ARROZ EN BOLIVIA

ANEXO 7.- REGISTRO FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO

