

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
“DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACIÓN”



**“COMPARACIÓN DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS INORGANICOS
APLICANDO CENIZA DE MADERA DE FONDO Y/O CEMENTO PORTLAND”**

Por:

PAOLO HORACIO CASTRO LARUTA

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.

SEMESTRE I - 2023

TARIJA-BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

"DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACIÓN"

**"COMPARACIÓN DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS
INORGANICOS APLICANDO CENIZA DE MADERA DE FONDO Y/O
CEMENTO PORTLAND"**

Por:

PAOLO HORACIO CASTRO LARUTA

SEMESTRE I - 2023

TARIJA-BOLIVIA

DEDICATORIA:

A Dios, por mostrarme su amor y su bendición incondicional.

A mis padres y familia quienes nunca dejaron de apoyarme.

A mis profesores y compañeros a quienes estimo mucho por sus buenos consejos y enseñanzas.

ÍNDICE GENERAL
CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. SITUACIÓN PROBLÉMICA.....	2
1.2.1. Delimitación espacial y temporal.....	3
1.2.2. Formulación del problema de investigación.....	3
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivo Especifico.....	4
1.5. PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS.....	4
1.5.1. Formulación de la hipótesis.....	4
1.5.2. Hipótesis de investigación.....	4
1.6. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	4
1.6.1. Variable Independiente.....	4
1.6.2. Variable Dependiente.....	4
1.7. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.8. OPERALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	6

CAPÍTULO II
FUNDAMENTO TEÓRICO

	Página
2.1 DEFINICIÓN.....	7
2.2. SUELOS ARCILLOSOS.....	8
2.2.1. Estructura de las Arcillas.....	10
2.2.2. Clasificación de las arcillas.....	11
2.2.3. Minerales de la arcilla.....	11
2.3. ARCILLAS ML.....	12

2.4. CENIZA DE FONDO.....	13
2.5. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS.....	14
2.6. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	15
2.6.1. Análisis granulométrico por tamizado.....	15
2.6.2. Análisis granulométrico por sedimentación.....	16
2.7. CONTENIDO DE HUMEDAD.....	16
2.8. LÍMITES DE ATTERBERG.....	17
2.8.1. Límite Líquido.....	17
2.8.2. Límite Plástico.....	17
2.9. CLASIFICACIÓN DEL SUELO MEDIANTE SISTEMA UNIFICADOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS).....	18
2.10. CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS.....	22
2.11. PROPIEDADES GEOTÉCNICAS QUE SE MEJORAN.....	23
2.12. MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS.....	23
2.12.1. Mecánicos.....	23
2.12.2. Físicos.....	24
2.12.3. Químicos.....	24
2.12.4. Hidráulicos.....	24

CAPÍTULO III EXPERIMENTACIÓN

	Página
3.1. CRITERIOS METODOLÓGICOS.....	26
3.1.1. Unidades de estudio y diseño muestral.....	26
3.1.2. Unidad de muestreo.....	26
3.1.3. Población.....	26
3.1.4. Muestra.....	26
3.1.5. Tamaño de la muestra.....	26
3.2. EXPLORACIÓN Y MUESTREO.....	29
3.2.1. Ubicación de la zona.....	29
3.2.2. Realización del muestreo.....	29

3.2.3. Sitio de extracción de la arcilla.....	29
3.2.4. Ubicación.....	30
3.3. SITIO DE EXTRACCIÓN DE LA CENIZA DE FONDO.....	31
3.4. CARACTERIZACIÓN DE LA CENIZA DE FONDO.....	34
3.4.1. Propiedades químicas de la ceniza de fondo.....	34
3.5. CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND.....	35
3.6. PREPARACIÓN Y ENSAYOS DEL MATERIAL.....	36
3.6.1. Ensayo del material a estabilizar.....	36
3.6.1.1. Análisis granulométrico de la arcilla.....	36
3.6.1.2. Límites de Atterberg.....	40
3.6.1.3. Compactación Proctor Estándar AASHTO T-99 (ASTM D 698).....	41
3.6.1.4. Ensayo de Valor Soporte o CBR.....	41
3.6.2. Ceniza la Provincia Cercado empleada como estabilizante para la arcilla ...	42
3.6.2.1. Límites de Atterberg.....	42
3.6.2.2. Compactación Proctor Estándar AASHTO T-99 (ASTM D 698).....	43
3.6.2.3. Ensayo de Valor Soporte o CBR.....	44
3.6.3. Cenía provincia Gran Chaco empleada como estabilizante para la arcilla....	46
3.6.3.1. Límites de Atterberg.....	46
3.6.3.2. Compactación Proctor Estándar AASHTO T-99 (ASTM D 698).....	47
3.6.3.3. Ensayo de Valor Soporte o CBR.....	48
3.6.4. Estabilización de la arcilla con la adición de ceniza de fondo y cemento portland.....	49
3.6.4.1. Ensayo de Valor Soporte o CBR.....	49
3.7. PRECIOS UNITARIOS.....	51

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

	Página
4.1. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN.....	58
4.2. PLANILLA DE RESULTADOS.....	59
4.2.1. Resultados de las pruebas en laboratorio para el suelo puro.....	59

4.2.2. Resultados de las pruebas en laboratorio para el suelo combinado con ceniza de fondo proveniente del departamento del Cercado.....	60
4.2.3. Resultados de las pruebas en laboratorio para el suelo combinado con ceniza de fondo proveniente del departamento del Chaco.....	61
4.2.4. Resultados de las pruebas en laboratorio para el suelo combinado con ceniza de fondo y cemento.....	62
4.2.5. Precios unitarios para cada combinación.....	63
4.2.6. Resultados de los valores más óptimos para la combinación arcilla-ceniza y arcilla-ceniza-cemento.....	63
4.3. CONFIABILIDAD MEDIANTE TRATAMIENTO ESTADÍSTICO.....	64
4.4. PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	67
4.4.1. Hipótesis.....	67
4.4.2. Hipótesis alternativa.....	67
4.4.3. Hipótesis nula.....	67
4.5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PROYECTO.....	69

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1. CONCLUSIONES.....	79
5.2. RECOMENDACIONES.....	82

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I	ENSAYOS DE SUELO PURO
ANEXO II	ENSAYOS DE ARCILLA-CENIZA CERCADO.
ANEXO III	ENSAYOS DE ARCILLA-CENIZA GRAN CHACO
ANEXO IV	ENSAYOS DE ARCILLA-CENIZA-CEMENTO PORTLAND
ANEXO V	PANEL FOTOGRÁFICO

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Suelo mejorado con cemento.....	8
Figura 2. Estructuras atómicas básicas de los minerales de arcilla.....	10
Figura 3. Arcilla de baja plasticidad.....	12
Figura 4. Ceniza de fondo.....	14
Figura 5. Estabilización de suelos arcillosos.....	15
Figura 6. Tamices.....	16
Figura 7. Practica de Casa Grande.....	17
Figura 8. Límite de atterberg (Carta de Plasticidad).....	19
Figura 9. Practica de CBR.....	22
Figura 10. Compactación CCR con rodillo vibratorio.....	24
Figura 11. Método aplicable en proyección de vías.....	25
Figura 12. Ubicación de la extracción de arcilla.....	29
Figura 13. ubicación de la extracción de arcilla Tolomosa.....	30
Figura 14. Extracción de ceniza de Fondo.....	31
Figura 15. Extracción de Ceniza provincia Gran Chaco.....	32
Figura 16. Extracción de arcilla zona San Jacinto.....	33
Figura 17. Extracción de arcilla zona La Tablada.....	33

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Página
Gráfica 1. Curva de compactación para la arcilla.....	41
Gráfica 2. Valores de límites de atterberg.....	43
Gráfica 3. Valores densidad máxima y humedad optima con ceniza de Cercado...44	44
Gráfica 4. Valores de C.B.R. y expansión con ceniza de Cercado.....	45
Gráfica 5. Valores de límites de atterberg Gran Chaco.....	46
Gráfica 6. Valores de Proctor estándar.....	48
Gráfica 7. Valores de C.B.R. y expansión con ceniza de (Gran Chaco).....	49
Gráfica 8. Valores de C.B.R. y expansión con ceniza-cemento de (Gran Chaco).....	50

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Conceptualización y operacionalización de variables.....	6
Tabla 2. Índice de plasticidad para suelos arcillosos.....	9
Tabla 3. Tamaño de partículas para diferentes materiales.....	9
Tabla 4. Clasificación de los suelos.....	20
Tabla 5. Valor de z para un determinado nivel de confianza.....	27
Tabla Valores para el cálculo de la muestra.....	28
Tabla 7. Rango normal de composición química para las cenizas producidas.....	34
Tabla 8. Contenido en metales (mg/kg) de cenizas de fondo de incineración.....	35
Tabla 9. Composición en óxidos de un cemento portland.....	35
Tabla 10. Límites entre los que oscila la composición en óxidos de un cemento portland ..	36
Tabla 11. Resultados la granulometría correspondientes a la arcilla san jacinto.....	36
Tabla 12. Resultados correspondientes a la textura del material (San Jacinto).....	37
Tabla 13. Clasificación del material (San Jacinto).....	37
Tabla 14. Resultados granulometría correspondientes a la arcilla de Tolomosa...38	
Tabla 15. Resultados correspondientes a la textura del material (Tolomosa).....	38
Tabla 16. Clasificación del material (Tolomosa).....	38
Tabla 17. Clasificación del material (Tolomosa).....	39
Tabla 18. Resultados correspondientes a la textura del material (La Tablada).....	39
Tabla 19. Clasificación del material (La Tablada).....	39
Tabla 20. Resultados de los límites de atterberg para arcillas.....	40
Tabla 21. Resultados de cbr para la arcilla.....	42
Tabla 22. Resultados de los límites de atterberg para arcillas-ceniza (Cercado).....	43
Tabla 23. Resultados de proctor estándar para arcilla-ceniza (Cercado).....	44
Tabla 24. Resultados de cbr para la arcilla-ceniza (Cercado).....	45
Tabla 25. Resultados los límites de atterberg para arcillas-ceniza (Gran Chaco).....	46
Tabla 26. Resultados de proctor estándar para arcilla-ceniza (Gran Chaco).....	47

Tabla 27. Resultados de cbr para la arcilla-ceniza (Gran Chaco).....	49
Tabla 28. Resultados de cbr para la arcilla-ceniza-cemento (Gran Chaco).....	50
Tabla 29. Precio unitario de la combinación 50% arcilla-50% ceniza.....	51
Tabla 30. Precio unitario de la combinación 60% arcilla-40% ceniza.....	52
Tabla 31. Precio unitario de la combinación 70% arcilla-30% ceniza.....	53
Tabla 32. Precio unitario de la combinación 80% arcilla-20% ceniza.....	54
Tabla 33. Precio unitario de la combinación 90% arcilla-10% ceniza.....	55
Tabla 34. Precio unitario de la combinación 87% arcilla-5% ceniza-8% cemento.....	56
Tabla 35. Precio unitario de la combinación 90% arcilla-5% ceniza-5% cemento.....	57
Tabla 36. Planilla de resultados.....	59
Tabla 37. Resultados obtenidos de la prueba c.b.r.....	64
Tabla 38. Datos para el cálculo de la estadística descriptiva.....	66
Tabla 39. Resultados de la estadística descriptiva.....	66
Tabla 40. Aumento del c.b.r. con adición de ceniza.....	67