

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANÁLISIS DE LA CENIZA DE RASTROJO DE MAÍZ EN
PRUEBAS DE CBR PARA SUELOS ARCILLOSOS TIPO CH Y CL”**

Por:

HURTADO SEQUEIROS OLGA YENY

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.

**SEMESTRES - 2025
TARIJA – BOLIVIA**

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

**“ANÁLISIS DE LA CENIZA DE RASTROJO DE MAÍZ EN
PRUEBAS DE CBR PARA SUELOS ARCILLOSOS TIPO CH Y CL”**

Por:

HURTADO SEQUEIROS OLGA YENY

**PROYECTO DE GRADO ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV 502
PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL II**

**SEMESTRES - 2025
TARIJA – BOLIVIA**

DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos y además por su infinita bondad y amor.

A Mi padre Abdon, al que debo lo que soy, que siempre fue un guía en el camino, por ser el principal motivo de superación en mi vida.

A Mi madre Simona, por el apoyo, comprensión y colaboración que siempre me brinda.

A mis hermanas que siempre me están apoyando en los buenos y malos momentos.

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

	Páginas
1.1. Antecedentes.....	1
1.2.1. Situación problemática	2
1.2.2. Problema	3
1.2.3. Relevancia y factibilidad del problema.....	3
1.2.4. Delimitación temporal y espacial de la investigación.....	4
1.2.5. Justificación	4
1.2.6. Objetivos	5
1.2.6.1. Objetivo general	5
1.2.6.2. Objetivos específicos.....	5
1.2.7. Hipótesis	6
1.2.8. Operacionalización de las variables	6
1.2.8.1. Variable independiente	6
1.2.8.2. Variable dependiente	6
1.2.9. Identificación del tipo de investigación.....	7
1.3. Diseño metodológico.....	7
1.3.1. Unidades de estudio y decisión muestral.....	7
1.3.1.1. Unidad de estudio.....	7
1.3.1.2. Población	8
1.3.1.3. Muestra.....	8
1.3.1.4. Selección de las técnicas de muestreo	8
1.3.2. Métodos y técnicas empleadas	8
1.3.2.1. Métodos.....	8
1.3.2.2. Técnicas.....	8
1.4. Procesamiento de la información	9
1.5. Alcance de la investigación	9

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

	Páginas
2.1. Definición de suelo.....	11
2.2. Suelos arcillosos	11
2.2.3. Estructura de las arcillas.....	14
2.2.4. Clasificación de las arcillas	15
2.2.5. Suelos expansivos.....	15
2.2.5. Estructura laminar de las arcillas.....	17
2.3. Estabilización de suelos.....	18
2.3.1. Tipos de estabilización.	19
2.3.1.1. Estabilización física.....	19
2.3.1.2. Estabilización química	20
2.3.1.3. Estabilización mecánica	21
2.3.1.4. Estabilización mixta	21
2.4. Ensayos fundamentales para la caracterización.....	22
2.4.1. Determinación del contenido de humedad de un suelo	22
2.4.2. Determinación de la granulometría	23
2.4.2. Límites de Consistencia.....	25
2.4.4. Clasificación de suelos	29
2.4.4.1. Sistema de Clasificación AASHTO	30
2.4.4.2. Sistema de clasificación SUCS	32
2.4.5. Proctor modificado	36
2.5. Determinación de la relación de soporte del suelo (CBR)	38
2.5.1. Aplicaciones del CBR	41
2.5. Capa de fundación o Subrasante.....	42
2.7. Planta de maíz.....	43
2.8. Producción de rastrojos de maíz en Bolivia	45
2.8.1. Principales zonas de producción en Bolivia.....	46
2.9. Ceniza de rastrojo de maíz	48

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

	Páginas
3.1. Ubicación del proyecto.....	51
3.2. Ubicación de la zona de estudio	52
3.3. Muestreo de materiales.....	52
3.4. Determinación de las zonas de muestreo de estudio	52
3.5. Extracción de muestras mediante calicatas	54
3.6. Proceso de incineración y obtención de ceniza de rastrojo de maíz.....	58
3.7. Ensayos de caracterización de suelos.....	61
3.7.1. Contenido de humedad.....	61
3.7.2. Análisis granulométrico (ASTM D422 AASHTO T88)	64
3.7.3. Determinación de consistencia de los suelos.....	67
3.7.4. Clasificación S.U.C.S (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)	74
3.7.5. Elección del suelo más desfavorable	75

CAPÍTULO IV

APLICACIÓN PRACTICA

	Páginas
4.1. Ensayo de compactación (AASHTO T272).....	77
4.3. Caracterización de la ceniza de rastrojo de maíz.....	92
4.3.1. Análisis de laboratorio.....	92
4.4. Proceso para determinar la resistencia con ceniza de rastrojo de maíz.....	94
4.4.1. Límites de Atterberg con la adición de la ceniza de rastrojo de maíz.....	94
4.5. Compactación	96
4.6. C.B.R. y Expansión	101
4.7. Justificación del número de muestras.....	105
4.8. Diseño de espesores método AASTHO 93	106
4.9. Análisis de resultados	107
4.9.1. Análisis de resultados de los límites de consistencia incorporando ceniza	107
4.9.2. Análisis de resultados en compactación incorporando ceniza.....	108
4.9.3. Análisis de resultados en el CBR incorporando ceniza de rastrojo de maíz	110
4.7.4. Análisis de la expansión incorporando ceniza de rastrojo de maíz	112

4.8. Análisis estadístico	113
4.9. Análisis de resultados de espesores	117

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Páginas
5. Conclusiones y recomendaciones	120
5.1. Conclusiones.....	120
5.2. Recomendaciones	121

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO

ANEXO 1 ANÁLISIS QUÍMICO

ANEXO 2 CARTA DE VALIDACIÓN DEL USO DE LABORATORIO

ANEXO 3 ENSAYOS DE CONTROL A SUELOS EN ESTADO NATURAL

ANEXO 4 ENSAYOS DE CONTROL A SUELOS TRATADOS CON CENIZA DE RASTROJO DE MAÍZ

ANEXO 5 DISEÑO DE ESPESORES, MÉTODO AASTHO

ANEXO 6 REGISTRO FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Composición del suelo	11
Figura 2. Estructuras atómicas básicas de los minerales de arcilla.....	14
Figura 3. Hinchamiento en arcillas.....	17
Figura 4. Orientación paralela de las arcillas.....	18
Figura 5. Estructura panaloide de las arcillas	18
Figura 6. Método del lavado.....	25
Figura 7. Límites de Atterberg	26
Figura 8. Ensayo para determinar el Límite líquido	27
Figura 9. Ensayo de Límite Plástico.....	28
Figura 10. Carta de Plasticidad	29
Figura 11. Clasificación de suelos SUCCS	35
Figura 12. Carta de plasticidad Casagrande.....	36
Figura 13. Gráfica del contenido de humedad óptimo.....	37
Figura 14. Rangos de compactacion para difentes tipos de suelos	38
Figura 15. Prensa Hidráulica.....	40
Figura 16. Clasificación de la subrasante de acuerdo al valor de C.B.R.	42
Figura 17. Planta de maiz en floracion	44
Figura 18. Partes de una planta de maíz.	45
Figura 19. Rastrajo de maiz	46
Figura 20. Riqueza de razas de maíz en Bolivia	47
Figura 21. Rastrojo de maíz.....	48
Figura 22. Rastrojo de maíz.....	48
Figura 23. Proceso de incineración	49
Figura 24. Ceniza de rastrojo de maíz	50
Figura 25. Departamento de Tarija- Geografía.....	51
Figura 26. Ubicación de las zonas de estudio	52
Figura 27. Ubicación barrio Fray Quebracho	53
Figura 28. Ubicación barrio Constructor	54
Figura 29. Equipos de extracción para las muestras	55

Figura 30.	Extracción de muestras.....	55
Figura 31.	Calicatas y extracción del barrio Fray Quebracho.....	56
Figura 32.	Calicatas y extracción del barrio Constructor.....	57
Figura 33.	Ubicación geográfica de la zona de extracción rastrojo de Maíz.....	59
Figura 34.	Proceso de obtención de ceniza de rastrojo de maíz	60
Figura 35.	Contenido de humedad.....	62
Figura 36.	Análisis granulométrico.....	64
Figura 37.	Curva granulométrica de la muestra M1-NT.....	66
Figura 38.	Límite líquido de los suelos.....	68
Figura 39.	Límite plástico	70
Figura 40.	Límite líquido de la muestra 1.....	72
Figura 41.	Límite líquido de la muestra 6.....	73
Figura 42.	Límite líquido y límite plástico	74
Figura 43.	Carta de plasticidad de Casagrande (S.U.C.S.)	74
Figura 44.	Zona de procedencia del material extraído barrio Fray Quebracho	76
Figura 45.	Zona de procedencia del material extraído barrio Constructor	76
Figura 46.	Materiales a utilizar para la práctica de Proctor modificado	77
Figura 47.	Proceso del ensayo de Proctor modificado.....	78
Figura 48.	Curva de compactación de la muestra N°1(CH)	81
Figura 49.	Curva de compactación de la muestra N°6 (CL).....	82
Figura 50.	Equipamiento de laboratorio	82
Figura 51.	Determinación de la relación de soporte del suelo en el laboratorio	83
Figura 52.	Curva de Carga Vs Penetración de la muestra N°1	89
Figura 53.	CBR- Peso unitario.....	89
Figura 54.	Curva de Carga Vs Penetración de la muestra N°6.....	91
Figura 55.	CBR- Peso unitario.....	92
Figura 56.	Consistencia de suelo incorporando ceniza de rastrojo de maíz	95
Figura 57.	Ensayo de compactación incorporando ceniza de rastrojo de maíz	97
Figura 58.	Ensayo del CBR incorporando ceniza de rastrojo de maíz	101
Figura 59.	Paquete estructural.....	106

ÍNDICE DE TABLAS

	Páginas
Tabla 1. Variable independiente.....	6
Tabla 2. Variable dependiente.....	7
Tabla 3. Ensayos para muestreo	8
Tabla 4. Índice de Plasticidad para suelos	12
Tabla 5. Tamaño de partículas para diferentes materiales	13
Tabla 6. Escala granulometrica	23
Tabla 7. Abertura de tamices tamaños.	24
Tabla 8. Clasificación de suelos según AASHTO	32
Tabla 9. Prefijos y sufijos del suelo.	33
Tabla 10. Combinaciones en función de los prefijos y sufijos del suelo	33
Tabla 11. Clasificación de los suelos de acuerdo al valor de C.B.R.	41
Tabla 12. Clasificación de la subrasante de acuerdo al valor de C.B.R.	41
Tabla 13. Coordenadas de las muestras de Fray Quebracho	53
Tabla 14. Coordenadas de las muestras de Constructor	54
Tabla 15. Ubicación geografica de la zona de extraccion rastrojo de Maiz.....	58
Tabla 16. Resultado de contenido de humedad de las muestras	63
Tabla 17. Resumen de resultados de la granulometría	67
Tabla 18. Resultados de los ensayos de límites de Atterberg.....	73
Tabla 19. Resultados de clasificación de los suelos por S.U.C.S.....	75
Tabla 20. Resultados del ensayo de compactación sin aditivo	82
Tabla 21. Resultados del ensayo C.B.R. sin aditivo	92
Tabla 22. Análisis de laboratorio de la ceniza de rastro de maíz	92
Tabla 23. Pesos en diferentes % incorporando de ceniza de rastrojo de maíz.....	94
Tabla 24. Resultados de L.L., L.P., e I.P. con la adición de ceniza a un suelo CH	95
Tabla 25. Resultados de L.L., L.P., e I.P. con la adición de ceniza a un suelo CL.....	96
Tabla 26. Pesos en diferentes % con la adición de ceniza de rastrojo de maíz	97
Tabla 27. Resultados de la compactación incorporando ceniza en un suelo CH.....	98
Tabla 28. Resultados del ensayo de compactación de la zona del Barrio Constructor ..	99
Tabla 29. Pesos en diferentes porcentajes incorporando ceniza de rastrojo de maíz...	102

Tabla 30. Resultados de % de CBR y expansión con ceniza del suelo CH	102
Tabla 31. Resultados de % de CBR y expansión con ceniza de rastrojo de maíz -M6104	
Tabla 32. Planilla de número de muestra del CBR	105
Tabla 33. Diseño de espesores	106
Tabla 34. Clasificación cualitativa del suelo valores de CBR	110
Tabla 35. Clasificación cualitativa del suelo valores de CBR	111
Tabla 36. Análisis estadístico del CBR del suelo CH.....	113
Tabla 37. Análisis estadístico del CBR del suelo CL	115

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Páginas
Gráfica1. I.P. con ceniza de rastrojo de maíz en un suelo CH.....	95
Gráfica2. Índice de plasticidad con ceniza de rastrojo de maíz en un suelo CL.....	96
Gráfica3. Densidad máxima con incorporación de ceniza en un suelo CH.....	98
Gráfica4. Humedad óptima con la incorporación de ceniza del suelo CH	98
Gráfica5. Densidad máxima seca / Humedad óptima.	99
Gráfica6. Densidad máxima por Ceniza de rastrojo de maíz en (%) de la M6.....	100
Gráfica7. Óptima humedad con cenizas de rastrojo de maíz en % de la M6.....	100
Gráfica8. Densidad máxima seca / Humedad óptima.	101
Gráfica9. CBR al 95%y 100% con ceniza en (%) -suelo CH.....	103
Gráfica10. Expansión con ceniza de rastrojo de maíz (%) -suelo CH	103
Gráfica11. CBR al 95%y 100% con ceniza en (%) -suelo CH	104
Gráfica12. Expansión con ceniza de rastrojo de maíz (%) -suelo CL.....	105
Gráfica13. Influencia de la ceniza en los límites de consistencia en un suelo CH.....	107
Gráfica14. Influencia de la ceniza en los límites de consistencia en un suelo CL	107
Gráfica15. Compactación en diferentes porcentajes de ceniza en un suelo CH.....	108
Gráfica16. Compactación en deferentes porcentajes de ceniza en un suelo CL	109
Gráfica17. Influencia de ceniza en el C.B.R. en un suelo CH	110
Gráfica18. Influencia de ceniza de rastrojo de maíz en el C.B.R. de un suelo CH.....	111
Gráfica19. Expansión del suelo CH incorporando ceniza de rastrojo de maíz	112
Gráfica20. Expansión del suelo CL incorporando ceniza de rastrojo de maíz.....	112
Gráfica21. Boxplot. del CBR según % de adición	114
Gráfica22. Boxplot. del CBR según % de adición	116
Gráfica23. Diseño de espesores del barrio Fray Quebracho (CH)	117
Gráfica24. Diseño de espesores del barrio Constructor (CL).....	118