

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



**“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS
PROPIEDADES DE RESISTENCIA DE LOS
SUELOS PLÁSTICOS COMBINADOS CON
CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR”**

Por:

SARDINA IBAÑEZ GILMAR DIEGO

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 II – 2019

TARIJA – BOLIVIA

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

**“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS
PROPIEDADES DE RESISTENCIA DE LOS
SUELOS PLÁSTICOS COMBINADOS CON
CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR”**

Por:

SARDINA IBAÑEZ GILMAR DIEGO

SEMESTRE II – 2019

TARIJA – BOLIVIA

V°B°

.....
M.Sc.Ing.Ernesto R. Alvarez Gozalvez

DECANO
FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA

.....
M.Sc.Lic. Elizabeth Castro Figueroa

VICEDECANA
FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA

APROBADO POR:

TRIBUNAL:

.....
Ing. Trinidad Baldiviezo Montalvo

.....
Ing. José Ricardo Arce Avendaño

.....
Ing. Moises Eduardo Díaz Ayarde

ADVERTENCIA

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo esto responsabilidad del autor.

DEDICATORIA

A MIS PADRES: Adrian Sardina Soliz y Graciela Ibañez, por haberme inculcado buenos valores, por guiarme por el camino del bien, demostrándome siempre su amor, cariño y apoyo incondicional en todo momento, siendo ellos el motor fundamental en mi vida.

A MIS HERMANOS: Romer, Claudia y Marylin, por su gran cariño, comprensión y apoyo incondicional, sin ellos todo este momento de satisfacción y felicidad no habría sido posible.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios por ser la luz que ilumina y guía mi camino. A mis padres que a través de su amor, paciencia, buenos valores, ayudan a trazar mi camino. A mis hermanos, tías, tíos, primos, por su apoyo, consejos y palabras de aliento, que hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas. A mis amigos que me ayudaron de una manera desinteresada y buena voluntad.

PENSAMIENTO

“saber vivir es hacer lo mejor que podemos
con lo que tenemos en el momento en que
estamos”

Alejandro Jodorowsky

ÍNDICE DE CONTENIDO

ADVERTENCIA
DEDICATORIA
AGRADECIMIENTO
PENSAMIENTO
RESUMEN

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. ANTECEDENTES	2
1.3. JUSTIFICACIÓN	2
1.3.1. Técnico académico.....	2
1.3.2. Social	3
1.3.2. Económico.....	3
1.4. SITUACIÓN PLOBLÉMICA.....	3
1.4.1. Determinación del problema	4
1.5. OBJETIVOS.....	4
1.5.1. Objetivo general	4
1.5.2. Objetivos específicos	4
1.6. HIPÓTESIS	5
1.6.1. Identificación de variables.....	5
1.7. DISEÑO METODOLÓGICO	6
1.7.1 Unidad de estudio población y muestra.....	6
1.7.1.1. Unidad de estudio o muestreo	7
1.7.1.2. Población y muestra.....	7
1.7.2. Tamaño de muestra	7
1.8. ESQUEMA DE LA PERSPECTIVA USADA.....	8
1.8.1. Definición en el alcance	9

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO SOBRE LOS SUELOS FINOS PLÁSTICOS, ESTABILIZACION CON SUSTANCIAS CEMENTANTES (CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR)

	Página
2.1. Suelo	10
2.1.1. Definición de suelo	10
2.1.2. Propiedades de los suelos	10
2.2. Suelos plásticos	13
2.2.1. Definición	13
2.2.2. Las arcillas	13
2.2.3. Características de las arcillas	13
2.2.4. Clasificación de las arcillas	14
2.2.5. Clasificación de los minerales arcillosos	14
2.3. Estabilización de suelos	14
2.3.1. Concepto de estabilización	14
2.3.2. Métodos de estabilización de suelos	15
2.3.2.1. Estabilización física y mecánica	16
2.3.2.2. Estabilización química	17
2.3.2.2.1. Estabilización de suelos con cal	17
2.3.2.2.2. Estabilización con sales	21
2.3.2.2.3. Estabilización con cloruro de calcio (CaCl_2)	21
2.3.2.2.4. Estabilización de suelos con silicato de sodio (Na_2SiO_3)	23
2.3.2.2.5. Estabilización con cloruro de sodio (NaCl)	24
2.3.2.3. Estabilización térmica	28
2.3.2.4. Estabilización por medios eléctricos	28
2.4. Ensayos de laboratorio de los suelos	29
2.4.1. Contenido de humedad	29
2.4.2. Análisis granulométrico	29
2.4.3. Límites de Atterberg	29
2.4.4. Próctor modificado	29

2.4.5. Ensayo de CBR: Californian Bearing Ratio.....	30
2.5. PAVIMENTO FLEXIBLE.....	30
2.5.1. Subrasante del camino	31
2.6. DISEÑO DE UN PAQUETE ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE ...	32
2.6.1 Método de CBR (valor de soporte).....	32
2.7. GENERALIDADES SOBRE EL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR	33
2.7.1. Bagazo	33
2.7.2. Estructura.....	33
2.7.3. Composición física y química	33
2.7.4. Cenizas volantes.....	34
2.7.4.1. Concepto.....	34
2.7.4.2. Cenizas provenientes de la incineración de biomasa.....	34
2.7.4.3. La puzolanización	34
2.8. MARCO REFERENCIAL	34
2.8.1. Combinación suelo-ceniza	34
2.9. MARCO NORMATIVO	35
2.10. ANÁLISIS Y TENDENCIAS.....	35
2.11. POSICIÓN DEL INVESTIGADOR	36

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

	Página
3.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	37
3.2. MUESTREO DE MATERIALES	38
3.2.1. Muestreo zona 1 de estudio: zona El Temporal	38
3.2.2. Muestreo zona 2 de estudio: Cuesta del Gallinazo	39
3.2.3. Selección del bagazo de caña de azúcar, proceso de incineración y obtención de la ceniza de bagazo de caña de azúcar(CBCA).....	40
3.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.....	41
3.3.1. Análisis granulométrico (ASTM D 422 / AASHTO T88).....	41
3.3.2. Ensayo del hidrómetro	43

3.3.3. Límites de Atterberg (AASTM D4318 /ASHTO T90 T89).....	44
3.3.4. Compactación (AASHTO T-180 / ASTM D1557).....	46
3.3.5. Relación de Soporte de California CBR (ASTM D1883 / AASHTO T-193).....	48
3.3.6. Características de la ceniza de bagazo de caña de azúcar	51
3.3.6.1. Origen de la ceniza de bagazo de caña de azúcar	51
3.3.6.2. Características de la ceniza del bagazo de caña de azúcar	51
3.4. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS PARA LA CARACTERIZACIÓN	52
3.4. RESUMEN DE RESULTADOS	53
3.4.1. Resultados de la caracterización de la zona 1 (El Temporal)	53
3.4.2. Resultados de la caracterización de la zona 2 (Cuesta del Gallinazo).....	54

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN SOBRE EL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DE RESISTENCIA DE LOS SUELOS PLÁSTICOS AL ADICIONAR CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

	Página
4.1. PROCESO DE ESTABILIZACIÓN CON LA CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (CBCA)	55
4.1.1. Preparación de las mezclas.....	55
4.1.2. Ensayos de control	56
4.1.2.2. Compactación.....	56
4.1.2.3. CBR y expansión	69
4.1.2.3. Análisis de resultados de los ensayos de CBR del suelo natural con los diferentes porcentajes de ceniza de bagazo de caña de azúcar	78
4.1.3. Análisis para la obtención del porcentaje óptimo de la mezcla S-CBCA tanto de la zona 1(El Temporal), como el de la zona2 (Cuesta del Gallinazo)	82
4.1.3.1. Análisis para la zona 1(El Temporal)	82
4.1.3.2. Análisis para la zona 2 (Cuesta del Gallinazo)	83
4.1.4. Ensayos de control para el porcentaje óptimo de la mezcla S-CBCA tanto de la zona 1, como el de la zona2	84
4.1.4.1. Análisis físico.....	84

4.1.4.2. Límites de Atterberg	84
4.1.4.3. Compactación.....	85
4.1.4.4. CBR y expansión	87
4.2. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO Y PRUEBA DE HIPÓTESIS	89
4.2.1. Tratamiento estadístico y prueba de hipótesis para el suelo de la zona 1 El Temporal.....	89
4.2.1.1. Tratamiento estadístico.....	89
4.2.1.2. Prueba de hipótesis	91
4.2.2. Tratamiento estadístico y prueba de hipótesis para el suelo de la zona 2 la Cuesta del Gallinazo	93
4.2.2.1. Tratamiento estadístico.....	93
4.2.2.2. Prueba de hipótesis	95
4.3. DISEÑO DE UN PAQUETE ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO ASUMIENDO LOS RESULTADOS DE CBR DEL SUELO NATURAL Y DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE S-12%CBCA PARA LAS DOS ZONAS EN ESTUDIO	97
4.3.1 Método de CBR (valor de soporte).....	97
4.3.1.1. Diseño de pavimento para la zona 1 El Temporal	97
4.3.1.2. Diseño de pavimento para la zona 2 la Cuesta del Gallinazo	98
4.4. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS	99
4.4.1. Costo referencial para un tramo de capa subrasante de una carretera	101

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1. CONCLUSIONES	102
5.2. RECOMENDACIONES	107

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO A: Memoria fotográfica de los ensayos realizados en laboratorio de suelos

ANEXO B: Caracterización de los materiales de la zona 1 de estudio (El Temporal)

ANEXO C: Caracterización de los materiales de la zona 2 de estudio (Cuesta del Gallinazo)

ANEXO D: Resultados de los ensayos de las combinaciones de suelo natural con 5%, 8%, 10%, 12%, 20% y 40% de ceniza de bagazo de caña de azúcar, para la zona 1 de estudio (El Temporal)

ANEXO E: Resultados de los ensayos de las combinaciones de suelo natural con 8%, 10% y 12% de ceniza de bagazo de caña de azúcar, para la zona 2 de estudio (Cuesta del Gallinazo)

ANEXO F: Resultados del análisis físico y químico de la ceniza de bagazo de caña de azúcar.

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.2. Esquema de la perspectiva.....	8
Figura 2.2. Tabla que muestra los diámetros de los suelos gruesos y finos.	12
Figura 2.3. clasificación de los suelos según su plasticidad.	12
Figura 2.4. Clasificación de la estabilización de los suelos.	16
Figura 2.5. Capas que componen un pavimento.	31
Figura 2.6. Clasificación de las subrasante según su valor de CBR.	32
Figura 3.2. Mapa del área de extracción de la muestra N° 1 zona El Temporal.	37
Figura 3.3. Mapa del área de extracción de la muestra N° 2 Cuesta del Gallinazo.	38
Figura 3.4. Zona de procedencia del material extraído: muestra 1 (arcilla orgánica color café amarillento).	39
Figura 3.5. Zona de procedencia del material extraído: muestra 2 (arcilla color plomo oscuro).	39
Figura 3.6. Proceso de obtención de la ceniza de bagazo de caña de azúcar.	40
Figura 3.7. Lavado del suelo por la malla N° 200.....	41
Figura 3.8. Curva granulométrica.	42
Figura 3.9. Ensayo del hidrómetro para los dos tipos de suelos plásticos.	43
Figura 3.10. Curva granulométrica.	44
Figura 3.11. Realización del ensayo de límite líquido y plástico.....	45
Figura 3.12. Limite líquido.	46
Figura 3.13. Realización del ensayo de compactación.	47
Figura 3.14. Curva de compactación.....	48
Figura 3.15. Realización del ensayo de CBR.	49
Figura 3.16. Curva de carga vs Penetración.	50
Figura 3.17. Curva CBR.	50
Figura 3.18. Proceso para la obtención de la ceniza de bagazo de azúcar (imágenes del bagazo, horno y la ceniza).	51
Figura 4.2. Curva de compactación con 5% de CBCA zona 1.....	56
Figura 4.3. Curva de compactación con 8% de CBCA zona 1.....	57
Figura 4.4. Curva de compactación con 8% de CBCA zona 2.....	58

Figura 4.5. Curva de compactación con 10% de CBCA zona 1.	59
Figura 4.6. Curva de compactación con 10% de CBCA zona 2.	60
Figura 4.7. Curva de compactación con 12% de CBCA zona 1.	61
Figura 4.8. Curva de compactación con 12% de CBCA zona 2.	62
Figura 4.9. Curva de compactación con 20% de CBCA zona 1.	63
Figura 4.10. Curva de compactación con 40% de CBCA zona 1.	64
Figura 4.11. Curva de compactación con 5-8-10-12-20-40% de CBCA zona 1.....	65
Figura 4.12. Gráfico de barras del resultado de la compactación de suelo natural (patrón) y 5-8-10-12-20-40% de CBCA zona 1.	66
Figura 4.13. Curva de compactación con 8-10-12% de CBCA zona 2.	67
Figura 4.14. Gráfico de barras del resultado de la compactación de suelo natural (patrón) y 8-10-12% de CBCA zona 2.....	68
Figura 4.15. Curva: Carga vs Penetración con 5% de CBCA zona 1.	69
Figura 4.16. Peso unitario vs CBR con 5% de CBCA zona 1.	69
Figura 4.17. Carga vs Penetración con 8% de CBCA zona 1.	70
Figura 4.18. Peso unitario vs CBR con 8% de CBCA zona 1.	70
Figura 4.19. Carga vs Penetración con 8% de CBCA zona 2.	71
Figura 4.20. Peso unitario vs CBR con 8% de CBCA zona 2.	71
Figura 4.21. Carga vs Penetración con 10% de CBCA zona 1.	72
Figura 4.22. Peso unitario vs CBR con 10% de CBCA zona 1.....	72
Figura 4.23. Carga vs Penetración con 10% de CBCA zona 2.	73
Figura 4.24. Peso unitario vs CBR con 10% de CBCA zona 2.....	73
Figura 4.25. Carga vs Penetración con 12% de CBCA zona 1.	74
Figura 4.26. Curva: Peso unitario vs CBR con 12% de CBCA zona 1.	74
Figura 4.27. Curva: Carga vs Penetración con 12% de CBCA zona 2.	75
Figura 4.28. Curva: Peso unitario vs CBR con 12% de CBCA zona 2.	75
Figura 4.29. Curva: Carga vs Penetración con 20% de CBCA zona 1.	76
Figura 4.30. Curva: Peso unitario vs CBR con 20% de CBCA zona 1.	76
Figura 4.31. Curva: Carga vs Penetración con 40% de CBCA zona 1.	77
Figura 4.32. Curva: Peso unitario vs CBR con 40% de CBCA zona 1.	77

Figura 4.33. Gráfico de barras del resultado de ensayo de CBR del suelo natural (patrón) y 5-8-10-12-20-40% de CBCA zona 1.	78
Figura 4.34. Gráfico de barras del resultado de ensayo de expansión del suelo natural (patrón) y 5-8-10-12-20-40% de CBCA zona 1.	79
Figura 4.35. Gráfico de barras del resultado de ensayo de CBR del suelo natural (patrón) y 8-10-12% de CBCA zona 2.	80
Figura 4.36. Gráfico de barras del resultado de ensayo de expansión del suelo natural (patrón) y 8-10-12% de CBCA zona 2.	81
Figura 4.37. Curva que representa el comportamiento del CBR vs el % de CBCA.	82
Figura 4. 38. Curva que representa el comportamiento del CBR vs el % de CBCA.	83

INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 3.1. Resultado del análisis granulométrico.	42
Tabla 3.2. Distribución de limo y arcilla determinado por el hidrómetro.	43
Tabla 3.3. Distribución de los límites de Atterberg.	45
Tabla 3.4. Contenido de humedad óptima y densidad máxima seca.	47
Tabla 3.5. CBR al 100% y al 95% de la densidad máxima.	50
Tabla 3. 6. Resultados del análisis físico y químico realizado a la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA).	52
Tabla 4.2. Resultados de compactación con 5% de CBCA zona 1.	56
Tabla 4.3. Resultados de compactación con 8% de CBCA zona 1.	57
Tabla 4.4. Resultados de compactación con 8% de CBCA zona 2.	58
Tabla 4.5. Resultados de compactación con 10% de CBCA zona 1.	59
Tabla 4.6. Resultados de compactación con 10% de CBCA zona 2.	60
Tabla 4.7. Resultados de compactación con 12% de CBCA zona 1.	61
Tabla 4.8. Resultados de compactación con 12% de CBCA zona 2.	62
Tabla 4.9. Resultados de compactación con 20% de CBCA zona 1.	63
Tabla 4.10. Resultados de compactación con 40% de CBCA zona 1.	64
Tabla 4.11. Resultados de compactación con 5-8-10-12-20-40% de CBCA zona 1.	65

Tabla 4.12. Resultados de compactación con 8-10-12% de CBCA zona 2.....	67
Tabla 4.13. Resultados de % de CBR y expansión con 5% de CBCA zona 1.	69
Tabla 4.14. Resultados de % de CBR y expansión con 8% de CBCA zona 1.	70
Tabla 4.15. Resultados de % de CBR y expansión con 8% de CBCA zona 2.	71
Tabla 4.16. Resultados de % de CBR y expansión con 10% de CBCA zona 1.	72
Tabla 4.17. Resultados de % de CBR y expansión con 10% de CBCA zona 2.	73
Tabla 4.18. Resultados de % de CBR y expansión con 12% de CBCA zona 1.	74
Tabla 4.19. Resultados de % de CBR y expansión con 12% de CBCA zona 2.	75
Tabla 4.20. Resultados de % de CBR y expansión con 20% de CBCA zona 1.	76
Tabla 4.21. Resultados de % de CBR y expansión con 40% de CBCA zona 1.	77
Tabla 4.22. Resultados de L.L, L.P, e I.P con 12% de CBCA zona 1.	84
Tabla 4.23. Resultados de L.L, L.P, e I.P con 12% de CBCA zona 2.	85
Tabla 4.24. Resultados de compactación con 12% de CBCA zona 1	86
Tabla 4.25. Resultados de compactación con 12% de CBCA zona 2	86
Tabla 4.26. Resultados de % de CBR y expansión con 12% de CBCA zona 1.	87
Tabla 4.27. Resultados de % de CBR y expansión con 12% de CBCA zona 2.....	88
Tabla 4.28. Resultados de % de CBR al 95%.	89
Tabla 4.29. Resultados de % de CBR al 95%	93