

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



**“ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES
MECÁNICAS DE UNA SUBRASANTE NATURAL ESTABILIZADA
CON LOS ADITIVOS TERRASIL Y ZYCOBOND”**

Por:

YOSMAR BUSTOS PONCE

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 – 2023

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA:

A mis padres, quienes siempre han creído en mí, gracias por su amor, por su sacrificio y por enseñarme a nunca rendirme ante los obstáculos de la vida. Este logro es también suyo.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Página
1.1 Antecedentes	1
1.2 Situación problemática.....	2
1.2.1 Problema.....	3
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos de investigación	3
1.4.1 Objetivo General	3
1.4.2 Objetivos Específicos	3
1.5 Hipótesis.....	4
1.6 Operacionalización de las variables	4
1.6.1 Variable Independiente	5
1.6.2 Variable Dependiente	5
1.7 Identificación del tipo de investigación.....	6
1.7.1 Unidades de estudio y decisión muestral	6
1.7.2 Unidad De Estudio	6
1.7.3 Población.....	6
1.7.4 Muestra.....	6
1.7.5 Selección de las técnicas de muestreo.....	8
1.7.6 Muestreo intencional	8
1.8 Métodos y técnicas empleadas	8
1.8.1 Método empírico	8
1.8.2 Técnica de investigación de campo.....	8
1.9 Proceso para el análisis y la interpretación de la información	8
1.10 Alcance de la investigación.....	10

CAPÍTULO II

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS PARA SUBRASANTES

	Página
2. Definición de subrasante	13
2.1 Funciones de la subrasante	14
2.1.1 Resistencia.....	14
2.1.2 Terreno de fundación propiamente dicha.....	14
2.2 Estabilización de suelos	15
2.2.1 Definición de estabilización	15
2.2.2 Propiedades de interés.....	16
2.3 Tipos de estabilización	18
2.3.1 Estabilización mecánica	19
2.3.2 Estabilización física.....	19
2.3.3 Estabilización química	19
2.3.4 Estabilización físico-química	20
2.4 Aditivo Terrasil	20
2.4.1 Principio de funcionamiento	20
2.4.2 Efecto en la densidad máxima y compactación.....	21
2.4.3 El uso de Terrasil presenta los siguientes beneficios	21
2.5 Aditivo Zycobond	22
2.6 Combinación de los aditivos Terrasil y Zycobond.....	23
2.6.1 Beneficios	23
2.7 El suelo y su definición	24
2.8 Composición mineral del suelo.	24
2.8.1 Fragmentos de roca	25
2.8.2 Granos minerales.....	25
2.8.3 Materia orgánica.....	26
2.8.4 Agua.	27
2.8.5 Aire.....	27
2.9 Propiedades importantes de los minerales de arcilla.....	28

2.9.1	Floculación y dispersión.....	28
2.9.2	Expansión y contracción.	30
2.9.3	Plasticidad y cohesión	30
2.10	Distribución granulométrica.....	31
2.10.1	Análisis granulométrico por medio de tamices	31
2.10.2	Análisis granulométrico por lavado	33
2.11	Consistencia del suelo	34
2.12	Clasificación de suelos	40
2.12.1	Sistema de clasificación AASHTO	41
2.13	Compactación de suelos	45
2.13.1	Prueba de Proctor estándar	47
2.13.2	Prueba Proctor modificada	50
2.14	Relación de soporte de california (CBR).	52

CAPÍTULO III

DESARROLLO EXPERIMENTAL

	Página	
3.	Inspección visual del sitio de levantamiento de muestras.....	56
3.1	Extracción de muestras.....	56
3.1.1	Suelo a estudiar	56
3.1.2	Ubicación de la zona de muestreo.....	56
3.1.3	Realización del muestreo	58
3.2	Caracterización de los materiales	60
3.3	Ensayos de caracterización en suelos naturales	60
3.3.1	Contenido de humedad de la muestra (ASTM D2216).....	61
3.3.2	Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D422 - AASHTO T88).....	62
3.3.3	Determinación del límite líquido.....	63
3.3.4	Determinación del límite plástico e índice de plasticidad	64
3.3.5	Clasificación del suelo	66
3.3.6	Ensayo de compactación, método modificado (ASTM-1557 - AASHTO-T99) .	66

3.3.7	Determinación de la relación de soporte del suelo en laboratorio	68
3.4	Especificaciones técnicas para la conformación de una subrasante.....	70
3.5	Aplicación práctica.....	71
3.6	Referencia de resultados de la investigación realizada por Condori (2018).	71
3.7	Estudio de suelo - aditivos Terrasil y Zycobond.....	72
3.8	Proceso de dosificación para los aditivos Terrasil y Zycobond	72
3.9	Evaluación del suelo Terrasil – Zycobond.....	73
3.10	Resultados del suelo estabilizado con los aditivos Terrasil y Zycobond	73
3.10.1	Ensayo de límites de consistencia	73
3.10.2	Resultados del ensayo de compactación a diferentes dosis de T y Zy	75
3.10.3	Resultados del ensayo CBR para las diferentes dosis de T y Zy.	76

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DEL SUELO ESTABILIZADO CON LOS ADITIVOS TERRASIL Y ZYCOBOND

	Página	
4.	Análisis de resultados.....	78
4.1	Análisis y comprobación de resultados para el suelo tratado con Terrasil	78
4.2	Análisis de resultados de valores obtenidos para las distintas combinaciones	82
4.3	Resultados del suelo estabilizado con diferentes dosificaciones	82
4.4	Análisis de resultados de las propiedades del suelo natural.....	83
4.5	Análisis de resultados de la influencia de los aditivos en el suelo natural	84
4.5.1	Índice de plasticidad.....	84
4.5.2	Densidad y humedad óptima.....	85
4.5.3	Capacidad de soporte de carga (CBR)	88
4.5.4	Expansión	90
4.6	Influencia del aditivo Zycobond en el aditivo Terrasil	92
4.6.1	Índice de plasticidad.....	92
4.6.2	Densidad máxima y humedad óptima	94
4.6.3	CBR y expansión.....	96

4.7	Comparación de la influencia del Zycobond en el aditivo Terrasil	97
4.8	Determinación del % óptimo de la combinación de los aditivos T y Zy	101
4.9	Comparación de los aditivos T y Zy con otro producto estabilizante (cal).....	104
4.9.1	Estabilización de la subrasante tratado con Terrasil y Zycobond	104
4.9.2	Estabilización de la subrasante natural tratado con cal	108
4.9.3	Análisis de precios unitarios para la subrasante estabilizada con T y Zy	114
4.9.4	Análisis de precios unitarios para suelos tratados con cal	116
4.10	Análisis estadístico	120

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página	
5.	Conclusiones y recomendaciones.....	131
5.1	Conclusiones	131
5.2	Recomendaciones	133

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO I: Fichas técnicas de los aditivos en estudio

ANEXO II: Granulometría

ANEXO III: Límites de Atterberg

ANEXO IV: Humedad natural y clasificación del suelo

ANEXO V: Compactación del suelo (Método modificado)

ANEXO VI: Capacidad portante del suelo (C.B.R.)

ANEXO VII: Teoría de errores aplicados a los resultados obtenidos

ANEXO VIII: Correcciones realizadas en laboratorio

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.2.1: Variable independiente	5
Tabla 1.2.2: Variable dependiente	5
Tabla 1.2.3: Valores para el nivel de confianza	7
Tabla 2.1: Categorización de la subrasante.....	13
Tabla 2.2: Juego de tamices según la norma ASTM D-422	31
Tabla 2.3: Juego de tamices según la norma AASHTO T-27.....	32
Tabla 2.4: Valores usuales de IP para cada tipo de suelo	38
Tabla 2.5: Clasificación del suelo según su índice de plasticidad	40
Tabla 2.6: Sistema de clasificación según AASHTO	42
Tabla 2.7: Especificaciones para la prueba Proctor modificado	51
Tabla 2.8: Clasificación y uso del suelo según el valor de CBR	54
Tabla 3.1: Ensayos para caracterizar el suelo	60
Tabla 3.2: Resultados del contenido de humedad del suelo natural	62
Tabla 3.3: Resultados de la granulometría del suelo natural	63
Tabla 3.4: Resultados para los límites de consistencia del suelo.....	65
Tabla 3.5: Resultados para la clasificación de los suelos en estudio	66
Tabla 3.6: Resultados de la compactación para los suelos en análisis.....	67
Tabla 3.7: Resultados del ensayo de CBR para el suelo en análisis	69
Tabla 3.8: Especificaciones técnicas respecto al CBR y expansión	70
Tabla 3.9: Clasificación y uso del suelo según el valor de CBR	70
Tabla 3.10: Resultados de los valores para la validación de resultados.....	71
Tabla 3.11: Ensayos para evaluar el suelo con adición de los aditivos en análisis.....	73
Tabla 3.12: Resultados para los límites de consistencia para dosis máx. y mín. de zy ...	74
Tabla 3.13: Resultados del ensayo límite de consistencia para las dosis de T+Zy.....	74
Tabla 3.14: Resultados del ensayo de compactación para dosis mín. y máx. de Zy.....	75
Tabla 3.15: Resultados del ensayo de compactación para distintas dosis de T y Zy	75
Tabla 3.16: Resultados del ensayo CBR para dosis mín. y máx. de Zy.....	76
Tabla 3.17: Resultados del ensayo CBR para distintas dosis de T y Zy.....	76

Tabla 4.1: Resultados para el suelo tratado con Terrasil y Zycobond	78
Tabla 4.2: Datos obtenidos del trabajo de investigación de apoyo	78
Tabla 4.3: Representación de las distintas dosificaciones para las gráficas	82
Tabla 4.4: Resultados obtenidos para las distintas dosificaciones	83
Tabla 4.5: Identificación para cada grupo a analizar en las gráficas	92
Tabla 4.6: Comparación del tratamiento “S+T” y “S+T+Zy”	97
Tabla 4.7: Comparación del valor de CBR para “S+T” y “S+T+Zy”	98
Tabla 4.8: Comparación de la expansión entre el tto. “S+T” y “S+T+Zy”	99
Tabla 4.9: Clasificación cualitativa del suelo según valores de CBR.....	102
Tabla 4.10: Comparación de la subrasante estabilizada con T+Z y cal	114
Tabla 4.11: Análisis estadístico para datos de IP Vs suelo-Terrasil-Zycobond.....	120
Tabla 4.12: Análisis estadísticos para densidad máx. Vs suelo-T-Z.....	122
Tabla 4.13: Análisis estadístico para Hum. Ópt. Vs Suelo+T-Zy.....	124
Tabla 4.14: Análisis estadístico de los datos de CBR Vs suelo+T+Zy.....	126
Tabla 4.15: Análisis estadístico de los datos de expansión Vs suelo-T+Zy	128

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1: Deformación producida por el tránsito vehicular	14
Figura 2.2: Estabilización de un tramo carretero	15
Figura 2.3: Suelo afectado por el cambio volumétrico	17
Figura 2.4: Terrasil y Zycobond mezclados in situ para la compactación.....	23
Figura 2.5: Composición mineral del suelo	25
Figura 2.6: Clasificación general del suelo	26
Figura 2.7: Composición mineral del suelo	28
Figura 2.8: Coloide floculado y disperso	29
Figura 2.9: Curva granulométrica de un suelo determinado.....	32
Figura 2.10: Serie de tamices	33
Figura 2.11: Granulometría (método del lavado).....	33
Figura 2.12: Estados básicos que puede presentarse en el suelo.....	34
Figura 2.13: Método para determinar el límite líquido del suelo.....	35
Figura 2.14: Método gráfico para determinar el límite líquido.....	36
Figura 2.15: Proceso para determinar el límite plástico.....	37
Figura 2.16: Carta de plasticidad	39
Figura 2.17: Curva de compactación para un suelo	45
Figura 2.18: Equipo para la prueba Proctor estándar	47
Figura 2.19: Especificaciones para la prueba Proctor estándar.....	48
Figura 2.20: Diferencias entre la prueba Proctor estándar y modificado.....	50
Figura 2.21: Ensayo de CBR realizado en laboratorio.....	53
Figura 3.1: Ubicación del tramo en estudio	57
Figura 3.2: Muestreo calicata 3+500.....	59
Figura 3.3: Muestreo calicata 3+000.....	59
Figura 3.4: Muestreo calicata 4+500.....	59
Figura 3.5: Determinación del contenido de humedad	61
Figura 3.6: Proceso para la granulometría del suelo (método lavado).....	62
Figura 3.7: Proceso para determinar el límite líquido del suelo	64

Figura 3.8: Proceso para determinar el límite plástico del suelo	65
Figura 3.9: Proceso para realizar el ensayo de compactación.....	67
Figura 3.10: Proceso para realizar el ensayo de CBR.....	69
Figura 4.1: Comparación de los valores de I.P. obtenidos con los valores de apoyo	79
Figura 4.2: Comparación de los valores de densidad obtenidos con los datos de apoyo.	79
Figura 4.3: Comparación de los valores obtenidos de H. ópt. con los valores de apoyo.	80
Figura 4.4: Comparación de los valores obtenidos de C.B.R. con los valores de apoyo.	80
Figura 4.5: Comparación de valores obtenidos para exp. con los valores de apoyo.....	81
Figura 4.6: Variación del IP para dosis máx. y mín. de T y Zy	84
Figura 4.7: Variación del índice de plasticidad para diferentes dosis de Zy.....	84
Figura 4.8: Variación de la densidad para dosis mín. y máx. de Zycobond	85
Figura 4.9: Variación de la densidad para distintas dosis de Zy.....	86
Figura 4.10: Variación de la humedad para dosis mín. y máx de Zy.....	87
Figura 4.11: Variación de la humedad para distintas dosis de Zy	87
Figura 4.12: Variación del valor del CBR con dosis mín y máx de Zy	88
Figura 4.13: Variación del valor del CBR con distintas dosis de Zy ante el T.....	89
Figura 4.14: Variación de la expansión con dosis mín y máx de Zy	90
Figura 4.15: Variación de la expansión con dosis mín. int. y máx. de Zy	90
Figura 4.16: Variación del IP con dosis mín. interm. y máx. de Zy	93
Figura 4.17: Variación de la densidad con dosis mín. interm. y máx. de Zy ante el T....	94
Figura 4.18: Variación de la humedad con dosis mín. interm. y máx. de Zy ante el T ...	94
Figura 4.19: Valor de CBR con dosis mín. interm. y máx. de Zy ante el T.....	96
Figura 4.20: Variación de la expansión con dosis mín. y máx. de Zy	96
Figura 4.21: Comparación de las densidades para “S+T” y “S+T+Zy”	98
Figura 4.22: Comparación del valor de CBR entre “S+T” y “S+T+Zy”	99
Figura 4.23: Comparación de la expansión del suelo con diferentes tratamientos	100
Figura 4.24: Resultados generales de densidades	101
Figura 4.25: Resultados generales para el valor de CBR.....	102
Figura 4.26: Resultados generales para la expansión.....	103
Figura 4.27: Proceso de escarificación.....	104
Figura 4.28: Llenado de agua a la cisterna junto con los aditivos	105

Figura 4.29: Regado del tramo a estabilizar.....	105
Figura 4.30: Mezclado del suelo con el aditivo	106
Figura 4.31: Nivelación y perfilación	106
Figura 4.32: Compactación del suelo.....	107
Figura 4.33: Escarificación del tramo a estabilizar	108
Figura 4.34: Aplicación de la cal	109
Figura 4.35: Mezcla del suelo con la cal.....	109
Figura 4.36: Incorporación del agua en el porcentaje óptimo.....	110
Figura 4.37: Estabilizador de suelos	110
Figura 4.38: Mezcla y pulverización del suelo con la cal	112
Figura 4.39: Compactadores rodillo liso y “pata de cabra”	113
Figura 4.40: Comparación de costos con otro producto (cal)	118