

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



**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS FINOS DE SUBRASANTE CON
BISCHOFITA EN CAMINOS NO PAVIMENTADOS”**

Por:

ELIAS EMANUEL PINTO FLORES

Proyecto presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN
MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de licenciatura en
Ingeniería Civil

SEMESTRE I - 2025

TARIJA-BOLIVIA

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

**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS FINOS DE SUBRASANTE CON
BISCHOFITA EN CAMINOS NO PAVIMENTADOS”**

Por:

ELIAS EMANUEL PINTO FLORES

SEMESTRE I - 2025

TARIJA-BOLIVIA

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino. Sin su luz y su sabiduría, nada de esto hubiera sido posible.

A mi madre, Cristina Flores Choque, por ser mi mayor fuente de fortaleza y motivación. Por cada sacrificio, por cada consejo y por siempre estar a mi lado, acompañándome en cada paso de este camino. Este logro es tan tuyo como mío, porque en cada momento difícil encontré en ti el apoyo que necesitaba para seguir adelante.

A mis hermanos, por su apoyo constante, por ser mi refugio en los momentos de incertidumbre y por brindarme su amor incondicional. Cada uno de ustedes ha sido una parte fundamental de este logro, y siempre han estado ahí para levantarme cuando más lo necesite.

Y a mí mismo, por la perseverancia, el compromiso y la dedicación. Por no rendirme ante las adversidades y por creer en mi capacidad de alcanzar mis metas.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN AL DISEÑO TEÓRICO

	Página.
1.1	Introducción 1
1.2	Antecedentes 2
1.3	Justificación 3
1.3.1	Justificación académica 3
1.3.2	Justificación de la aplicación técnico-práctica..... 4
1.3.3	Justificación e importancia social 4
1.4	Planteamiento del problema..... 4
1.4.1	Situación problemática 4
1.4.2	Delimitación espacial y temporal..... 5
1.4.3	Formulación del problema 7
1.5	Objetivo general..... 7
1.6	Objetivos específicos 7
1.7	Formulación de la hipótesis 7
1.8	Definición de variables 7
1.8.1	Variable independiente..... 7
1.8.2	Variable dependiente 7
1.8.3	Conceptualización y operacionalización de variables 8
1.9	Alcance 8

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO

	Página.
2.1 Marco conceptual.....	10
2.1.1 Suelo	11
2.1.2 Suelos finos	12
2.1.3 Limos	13
2.1.4 Arcillas	13
2.1.5 Diferencias entre las arcillas y los limos.....	14
2.1.6 Características de los suelos finos no estabilizados	15
2.1.7 Subrasantes	17
2.1.8 Requisitos para una subrasante	18
2.1.9 Estabilización de suelos	18
2.1.10 Tipos de estabilización de suelos.	19
2.1.11 Ventajas de la estabilización química en caminos no pavimentados	21
2.1.12 Estabilización de suelos con Bischofita.....	22
2.1.13 Descripción de la Bischofita	22
2.1.14 Propiedades de la Bischofita	24
2.1.15 Aplicaciones de la Bischofita.....	26
2.1.16 Dosis de Bischofita.	27
2.1.17 Propiedades de los suelos tratados con Bischofita.....	28

2.1.18	Granulometría (AASHTO T88)	30
2.1.19	Límites de Atterberg	30
2.1.20	Límite líquido (AASHTO T89)	31
2.1.21	Límite plástico (AASHTO T90)	31
2.1.22	Índice de plasticidad	31
2.1.23	Compactación (ASSHTO T272)	32
2.1.24	Relación de soporte del suelo CBR (AASHTO T193)	34
2.1.25	Clasificación de suelos.....	35
2.1.26	Sistema de clasificación AASHTO	35
2.1.27	Sistema unificado de clasificación de suelos SUCS	36
2.1.28	Estadística	37
2.1.29	Media	37
2.1.30	Desviación estándar	37
2.1.31	Coeficiente de variación	38
2.2	Marco referencial	38
2.3	Marco normativo.....	40
2.4	Análisis y posición del investigador	40

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO Y RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

		Página.
3.1	Método de investigación.	42
3.2	Diseño de investigación	42

3.2.1	Enfoque cuasiexperimental	42
3.3	Grupos experimentales y de control	43
3.4	Diseño metodológico	43
3.4.1	Unidad de muestra	43
3.4.2	Población.....	43
3.4.3	Muestra	43
3.5	Tamaño de la muestra	44
3.5.1	Procesamiento de la información.....	46
3.6	Determinación de la zona de muestreo.	46
3.6.1	Ubicación	46
3.7	Aplicación práctica	48
3.7.1	Ubicación de la muestra.....	48
3.8	Trabajo en campo.....	50
3.9	Trabajo en laboratorio	50
3.10	Ensayos de caracterización	51
3.10.1	Contenido de humedad	51
3.10.2	Análisis granulométrico por tamizado	52
3.10.3	Análisis granulométrico por hidrómetro	55
3.10.4	Calibración de frasco volumétrico	58
3.10.5	Determinación del peso específico	60
3.10.6	Límites de Atterberg	62
3.10.7	Clasificación del suelo	64

3.10.8	Compactación (ASSHTO T272).....	65
3.10.9	Relación de soporte de California C.B.R.....	67
3.11	Estabilización de suelo – Bischofita	69
3.11.1	Dosificación de Bischofita.....	69
3.12	Granulometría	70
3.13	Límites de Atterberg y Plasticidad	70
3.13.1	Límites de Atterberg	70
3.13.2	Compactación	73
3.14	Humedad óptima.....	75
3.14.1	Influencia en la humedad óptima:.....	76
3.14.2	Influencia en la densidad máxima.....	76
3.14.3	Relación de soporte de California C.B.R.....	77
3.15	Interpretación de los resultados del suelo M-1 (Limo).....	79
3.16	Interpretación de los resultados del suelo M-2 (Arcilla)	79
3.17	Análisis del porcentaje óptimo de Bischofita a emplear.....	81
3.17.1	Análisis de C.B.R. – M-1 con 2.87% de Bischofita	83
3.17.2	Análisis de C.B.R. – M-2 con 2.96 % de Bischofita	84

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

		Página.
4.1	Análisis de resultados	87
4.2	Análisis de la estabilización suelo - Bischofita.....	87
4.3	Análisis estadístico.....	88

4.3.1	Estadística descriptiva.....	88
4.3.2	Estadística inferencial	96

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

		Página.
5.1	Conclusiones	105
5.2	Recomendaciones	106

Bibliografía

ANEXOS

ANEXO I.- MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA BISCHOFITA

ANEXO II.- PLANILLAS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página.
Figura 2.1: Camino no pavimentado	10
Figura 2.2: Bischofita	22
Figura 2.3: Ficha técnica.....	23
Figura 2.4: Juego de tamices estandarizados	30
Figura 2.5: Compactación.....	32
Figura 2.6: Ensayo de CBR	34
Figura 3.1: Ubicación geográfica del proyecto.....	47
Figura 3.2: Ubicación del estudio a nivel departamental.....	47
Figura 3.3: Ubicación del estudio a nivel provincial	48
Figura 3.4: Zona urbanización los Ángeles	49
Figura 3.5: Zona Segunda Circunvalación	50
Figura 3.6: Muestra de suelo para contenido de humedad	51
Figura 3.7: Proceso del ensayo análisis granulométrico.....	52
Figura 3.8: Distribución granulométrica del M-1	53
Figura 3.9: Distribución granulométrica del M-1	54
Figura 3.10: Proceso del ensayo análisis granulométrico por hidrómetro.....	55
Figura 3.11: Distribución granulométrica del M-1	57
Figura 3.12: Distribución granulométrica M-2.....	58
Figura 3.13: Calibración del frasco.....	58
Figura 3.14: Curva de calibración de los frascos volumétricos.....	60
Figura 3.15: Proceso de determinación del peso específico	60
Figura 3.16: Determinación de límite líquido equipo casa grande	62
Figura 3.17: Determinación límite plástico	63
Figura 3.18: Determinación de densidad seca y humedad optima	65

Figura 3.19: Curva de compactación M-1	66
Figura 3.20: Curva de compactación M-2	66
Figura 3.21: Determinación de C.B.R.	67
Figura 3.22: Gráfico carga – penetración Suelo M-1	68
Figura 3.23: Gráfico carga – penetración Suelo 2	68
Figura 3.24: Adición de Bischofita	69
Figura 3.25: Influencia de la Bischofita en los límites de Atterberg M-1	71
Figura 3.26: Influencia de la Bischofita en los límites de Atterberg M-2	72
Figura 3.27: Curva de compactación 1%, 3%, 5%, 7% de Bischofita M-1	73
Figura 3.28: Curva de compactación 1%, 3%, 5%, 7% de Bischofita M-2	74
Figura 3.29: Influencia de la Bischofita en la humedad óptima	75
Figura 3.30: Influencia de la Bischofita en la densidad máxima	76
Figura 3.31: Influencia de la Bischofita en el CBR al 100%	78
Figura 3.32: % Óptimo bajo condición de C.B.R. para una subrasante regular M-1	82
Figura 3.33: % Óptimo bajo condición de C.B.R. para una subrasante regular M-2	82
Figura 3.34: C.B.R óptimo M-1	85
Figura 3.35: C.B.R óptimo M-2	86
Figura 4.1: CBR 2.87 % óptimo de Bischofita M1	89
Figura 4.2: Histograma y polígono de frecuencia variable CBR	90
Figura 4.3: Polígono de frecuencias acumuladas CBR	91
Figura 4.4: CBR 2.96 % óptimo de Bischofita M1	93
Figura 4.5: Histograma y polígono de frecuencia variable CBR	94
Figura 4.6: Polígono de frecuencias acumuladas variable CBR	95
Figura 4.7: Determinacion del valor teorico recomendado	98

ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 1.1: Delimitación temporal.....	6
Tabla 1.2: Operacionalización de variable dependiente.....	8
Tabla 2.1: Diferencias entre las arcillas y los limos	14
Tabla 2.2: Especificaciones técnicas para una subrasante	18
Tabla 2.3: Composición química	24
Tabla 2.4: Dosis de Bischofita	27
Tabla 2.5: Clasificación de suelos según cada tamaño de partículas.....	30
Tabla 2.6: Clasificación y uso del suelo según el valor de C.B.R.	35
Tabla 2.7: Símbolos utilizados en la clasificación SUCS.....	36
Tabla 3.1: Muestra.....	44
Tabla 3.2: Determinación del número de ensayos	45
Tabla 3.3: Ubicación de muestra.....	49
Tabla 3.4: Contenido de humedad suelo M1	51
Tabla 3.5: Contenido de humedad suelo M2.....	52
Tabla 3.6: Resultado de análisis granulométrico M-1	53
Tabla 3.7: Resultado de análisis granulométrico M-2.....	54
Tabla 3.8: Resultado de análisis granulométrico por hidrómetro M-1.....	56
Tabla 3.9: Resultado de análisis granulométrico por hidrómetro M-2.....	57
Tabla 3.10: Resultado de la calibración del frasco volumétrico	59
Tabla 3.11: Resultado de la calibración del frasco volumétrico.....	59
Tabla 3.12: Resultados del ensayo de peso específico	62
Tabla 3.13: Resultados de los límites de Atterberg	64
Tabla 3.14: Resumen de resultados de la clasificación del suelo.....	64
Tabla 3.15: Resultados de compactación	66

Tabla 3.16: Resultados de pesos unitarios del ensayo C.B.R.....	68
Tabla 3.17: Resumen límites de Atterberg M-1 aplicando % Bischofita	70
Tabla 3.18: Resumen límites de Atterberg M-2 aplicando % Bischofita	71
Tabla 3.19: Resumen de resultados de compactación M-1	73
Tabla 3.20: Resumen de resultados de compactación M-2	74
Tabla 3.21: Resumen de resultados C.B.R. M-1	77
Tabla 3.22: Resumen de resultados C.B.R. M-2	77
Tabla 3.23: Tabla resumen de CBR.....	78
Tabla 3.24: Categoría de sub rasantes	81
Tabla 3.25: Valores de C.B.R. óptimos M-1	83
Tabla 3.26: Valores de C.B.R. óptimos M-2	84
Tabla 4.1: Resultados de la caracterización de los suelos finos a estabilizar.....	87
Tabla 4.2: Resumen de resultados de la estabilización mediante Bischofita	87
Tabla 4.3: Valores de C.B.R. óptimos M-1	88
Tabla 4.4: Distribución de frecuencias.....	90
Tabla 4.5: Valores de PC.B.R. óptimos M-2	92
Tabla 4.6: Distribución de frecuencias.....	94
Tabla 4.7: Intervalo de confianza	96
Tabla 4.8: Valores de t Student.....	100
Tabla 4.9: Valores de t Student.....	103