

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



**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS LIMO ARCILLOSOS EN
SUBRASANTES CON LA APLICACIÓN DE ZEOLITA
NATURAL”**

Por:

GABRIEL SANTOS CONDORI VEIZAGA

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 - 2025

TARIJA – BOLIVIA

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

**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS LIMO ARCILLOSOS
EN SUBRASANTES CON LA APLICACIÓN DE ZEOLITA
NATURAL”**

Por:

GABRIEL SANTOS CONDORI VEIZAGA

SEMESTRE I - 2025

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA:

A mis padres, Abraham Condori y Gregoria Veizaga, el pilar más fuerte de mi vida. Gracias por su amor inquebrantable, por cada palabra de aliento y por enseñarme, con su ejemplo, que el esfuerzo y la honestidad son el camino hacia cualquier meta. Su apoyo ha sido mi mayor fortaleza, su confianza en mí, el motor que me impulsó a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles. Este logro es tan suyo como mío, porque cada paso que di estuvo guiado por sus enseñanzas y su inmenso cariño. Con todo mi amor y gratitud eterna, les dedico esta tesis, con la certeza de que, sin ustedes, nada de esto habría sido posible.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página.
1.1 Antecedentes	1
1.2 Situación problemática	2
1.2.1 Problema	3
1.2.2 Relevancia y factibilidad del problema	3
1.2.3 Delimitación espacial y temporal del problema.....	4
1.3 Justificación	4
1.4 Hipótesis	5
1.5 Objetivos.....	5
1.5.1 Objetivo general	5
1.5.2 Objetivos específicos.....	5
1.6 Operacionalización de las variables	6
1.6.1 Variable independiente	6
1.6.2 Variable dependiente	6
1.7 Identificación del tipo de investigación.....	7
1.8 Unidades de estudio y decisión muestral.....	8
1.8.1 Unidad de estudio.....	8
1.8.2 Población	8
1.8.3 Muestra	10
1.8.4 Selección de las técnicas de muestreo	11
1.9 Métodos y técnicas empleadas	11

1.10	Alcance del estudio de aplicación	12
------	---	----

CAPÍTULO II

GENERALIDADES Y DEFINICIONES

2.1	Suelo	14
2.1.1	Arcilla	14
2.1.2	Limo.....	15
2.2	Caracterización de los suelos	15
2.2.1	Contenido de humedad	15
2.2.2	Límites de atterberg.....	16
2.2.3	Granulometría	17
2.2.4	Hidrómetro.....	18
2.2.5	Peso específico.....	19
2.2.6	Compactación del suelo.....	20
2.2.7	C.B.R. (california bearing ratio).....	21
2.3	Estudio de la subrasante.....	28
2.3.6	Definición	28
2.3.7	Función de la subrasante.....	28
2.3.8	Posibilidad de mejoramiento de la subrasante	29
2.4	Estabilización	30
2.4.6	Métodos de estabilización de suelos.....	30
2.4.7	Estabilización química.....	31
2.4.7.1	Estabilización con zeolita natural.....	31
2.4.8	Propiedades y características de la estabilización	32

2.4.9	Ventajas de la estabilización	32
2.4.10	Ventajas económicas	33
2.4.11	Definición de zeolita.....	33
2.5	Especificaciones técnicas de la zeolita natural del proveedor	34
2.5.6	Especificaciones de la zeolita natural.....	35
2.5.7	Propiedades de la zeolita natural.....	37
2.5.8	Clasificación de la zeolita natural	38
2.5.9	Ventajas de la zeolita natural	39
2.5.10	Aplicaciones de la zeolita natural.....	40

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

3.2	Introducción	43
3.3	Reconocimiento y ubicación del sitio de estudio	44
3.4	Unidad de estudio y decisión muestral.....	49
3.4.6	Muestra	49
3.4.7	Muestreo	49
3.4.8	Selección de las técnicas de muestreo	49
3.4.9	Métodos y técnicas empleadas	50
3.5	Ensayos de caracterización de agregados	50
3.5.6	Contenido de humedad	51
3.5.7	Peso específico	53
3.5.8	Análisis granulométrico por tamizado.....	56
3.5.9	Análisis granulométrico por hidrómetro.....	61

3.5.10 Límite líquido y límite plástico	64
3.5.11 Clasificación de suelos	67
3.5.12 Compactación estándar	69
3.5.13 Ensayo de C.B.R. (California bearing ratio).....	72
3.5.14 Selección y Justificación de los porcentajes de zeolita natural.....	83

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Estabilización con zeolita natural.....	85
4.1.1 Determinación de la humedad optima y la máxima densidad utilizando diferentes porcentajes de zeolita natural como estabilizante.....	85
4.1.2 Determinación del C.B.R. y expansión del suelo estabilizado a diferentes porcentajes de zeolita natural como estabilizante.....	89
4.2 Resultados obtenidos	95
4.2.1 Resultados alcanzados para las 2 muestras de suelo	95
4.2.2 Evaluación técnica de resultados.....	96
4.3 Análisis de precios unitarios referenciales.....	97
4.3.1 Costos directos	97
4.3.2 Costos Indirectos	98
4.3.3 Precio unitario de la estabilización.....	98
4.4 Análisis comparativo de costo de la estabilización con zeolita natural con la estabilización con cal y cemento	99
4.5 Actividades de mayor impacto ambiental durante la estabilización	101
4.5.1 Análisis ambiental	102
4.6 Análisis social	103

4.6.1	Efectos directos	103
4.6.2	Efectos indirectos	104
4.5.	Proceso Constructivo para la Estabilización de Subrasante con Zeolita Natural ...	105

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones	107
5.2	Recomendaciones.....	110

Bibliografía

ANEXOS

ANEXO I.- MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA ZEOLITA
NATURAL

ANEXO II.- PLANILLAS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXO III.- PLANILLAS DE PRECIOS UNITARIOS

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página.
Figura 2.1: Estados del suelo, límite de plasticidad.....	17
Figura 2.2: Proctor Modificado	20
Figura 2.3: C.B.R. (California bearing ratio)	21
Figura 2.4: Vista del equipo CBR en perfil.....	23
Figura 2.5: Aparato CBR	26
Figura 2.6: Transmisión de cargas en capas inferiores	28
Figura 2.7: Zeolita Natural	34
Figura 2.8: Ubicación de la Distribuidora del Sur.....	35
Figura 3.1: Ubicación del primer sitio de estudio: Barrio 4 de marzo.....	44
Figura 3.2: Tramo donde se extrajo la muestra de suelo: Barrio 4 de marzo 2da circunvalación.....	45
Figura 3.3: Ubicación del segundo sitio de estudio: Barrio Tarijeños en progreso.....	46
Figura 3.4: Tramo donde se extrajo la muestra: Barrio Tarijeños en progreso Av./ gran chaco.	47
Figura 3.5: Taras con muestra de suelo.....	52
Figura 3.6: Ensayo de peso específico	54
Figura 3.7: Tamizado.	57
Figura 3.8: Ensayos de hidrómetro finales.....	61
Figura 3.9: Copa de Casagrande con muestra para ensayo de límite líquido.....	64
Figura 3.10: Ensayo de límite plástico.....	65
Figura 3.11: Compactación	70
Figura 3.12: Lecturas CBR.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 1.1: Variable independiente:.....	7
Tabla 1.2: Variables dependientes:.....	7
Tabla 1.3: Clasificación de suelos según AASTHO.....	8
Fuente: Elaboración propia	8
Tabla 1.4: El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS (Unified Soil Classification System (USCS))	9
Tabla 2.1: Rangos de granulometría para estabilización.	18
Tabla 2.2: Rangos de gravedad especifica propuestos por Bowels.....	19
Tabla 2.3: Clasificación de suelos según C.B.R.....	22
Tabla 2.4: Especificaciones del CBR y expansión.	24
Tabla 2.5: Características del pistón a usar	25
Tabla 2.6: Ficha Técnica de Zeolita Natural.	35
Tabla 2.7: Resultados Nanotecnología: cemento – zeolita sintetica.....	42
Tabla 3.1: Ensayos de laboratorio para caracterización de suelo puro.....	51
Tabla 3.2: Resultados de contenido de humedad promedio de suelos 1 y 2.	53
Tabla 3.3: Resultados de peso específico de suelos 1 y 2.	55
Tabla 3.4: Comparación de peso específico de suelos 1 y 2.	55
Tabla 3.5: Granulometría promedio suelo 4 de marzo	58
Tabla 3.6: Granulometría promedio suelo Tarijeños en progreso	59
Tabla 3.7: Comparación granulometría de suelos 1 y 2 con tabla.....	61
Tabla 3.8: Resultados hidrómetro de suelos 1 y 2.	62
Tabla 3.9: Resultados de limite liquido de suelos 1 y 2.....	66
Tabla 3.10: Resultados de limite Plástico de suelos 1 y 2.	66

Tabla 3.11: Resultados de índice de plasticidad de suelos 1 y 2.....	66
Tabla 3.12: Resultados de índice de grupo de suelos 1 y 2.....	66
Tabla 3.13: Comparación de resultados con tabla 2.1 en suelos 1 y 2.	67
Tabla 3.14: Resumen de clasificación de los suelos 1 y 2.	68
Tabla 3.15: Resultados de compactación promedio suelo 1.	70
Tabla 3.16: Resultados de compactación promedio suelo 2.	71
Tabla 3.17: Resultados de ensayo CBR 1, suelo 1.	75
Tabla 3.18: Resultados de ensayo CBR 2, suelo 1.	76
Tabla 3.19: Resultados de ensayo CBR 3 suelo 1.	77
Tabla 3.20: Resultados de ensayo CBR 1, suelo 2.	79
Tabla 3.21: Resultados de ensayo CBR 2, suelo 2.	80
Tabla 3.22: Resultados de ensayo CBR 3, suelo 2.	82
Tabla 3.23: Resultados de ensayo CBR promedio suelo 1.	82
Tabla 3.24: Resultados de ensayo CBR promedio suelo 2.	82
Tabla 3.25: Resultados de ensayo CBR promedio suelo 2.	83
Tabla 4.1: Humedad optima y máxima densidad alcanzada a diferentes porcentajes de suelo 1 – zeolita natural	85
Tabla 4.2: Humedad optima y máxima densidad alcanzada a diferentes porcentajes de suelo 2 – zeolita natural	86
Tabla 4.3: CBR al 100% y CBR al 95% de la mezcla suelo 1 - Zeolita natural	89
Tabla 4.4: CBR al 100% y CBR al 95% de la mezcla suelo 2 – Zeolita natural.....	90
Tabla 4.5: Expansión de la mezcla del suelo 1 – Zeolita natural	92
Tabla 4.6: Expansión de la mezcla del suelo 2 –Tarijeños en progreso	93
Tabla 4.7: Resumen de propiedades del suelo 1 estabilizado.	95
Tabla 4.8: Resumen de propiedades del suelo 2 estabilizado.	96

Tabla 4.9: Resultado de cálculo de precio unitario de estabilización por m ³	99
Tabla 4.10: Cantidad y precio de material para estabilizar un m ³	100
Tabla 4.11: Cantidad y precio de material para estabilizar un m ³	101
Tabla 4.12: Actividades que generan impacto ambiental al estabilizar.....	102

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Página.
Gráfica 2.1: Estados del suelo, límite de plasticidad.	18
Gráfica 2.2: Esfuerzo vs deformación a distintos CBR.	23
Gráfica 3.1: Curva Granulométrica – suelo 4 de marzo.	59
Gráfica 3.2: Curva Granulométrica – suelo Tarijeños en progreso	60
Gráfica 3.3: Granulometría hidrómetro – suelo 4 de marzo	62
Gráfica 3.4: Granulometría hidrómetro – suelo Tarijeños en progreso	63
Gráfica 3.5: Curva Proctor modificado T-180 suelo 1.	71
Gráfica 3.6: Curva Proctor modificado T-180 suelo 2.	71
Gráfica 3.7: Curva carga-penetración (CBR 1) suelo 1	74
Gráfica 3.8: Curva CBR-peso unitario (CBR 1) suelo 1.....	74
Gráfica 3.9: Curva Expansión-peso unitario (CBR 1) suelo 1	74
Gráfica 3.10: Curva carga-penetración (CBR 2) suelo 1	75
Gráfica 3.11: Curva CBR-peso unitario (CBR 2) suelo 1.....	75
Gráfica 3.12: Curva Expansión-peso unitario (CBR 2) suelo 1	76
Gráfica 3.13: Curva carga-penetración (CBR 3) suelo 1.	76
Gráfica 3.14: Curva CBR-peso unitario (CBR 3) suelo 1.....	77
Gráfica 3.15: Curva Expansión-peso unitario (CBR 3) suelo 1	77
Gráfica 3.16: Curva carga-penetración (CBR 1) suelo 2.	78
Gráfica 3.17: Curva CBR-peso unitario (CBR 1) suelo 2.....	78
Gráfica 3.18: Curva Expansión-peso unitario (CBR 1) suelo 2.	79
Gráfica 3.19: Curva carga-penetración (CBR 2) suelo2.	79
Gráfica 3.20: Curva CBR-peso unitario (CBR 2) suelo 2.....	80
Gráfica 3.21: Curva Expansión-peso unitario (CBR 2) suelo 2.	80

Gráfica 3.22: Curva carga-penetración (CBR 3) suelo 2.	81
Gráfica 3.23: Curva CBR-peso unitario (CBR 3) suelo 2.....	81
Gráfica 3.24: Curva Expansión-peso unitario (CBR 3) suelo 2.	81
Gráfica 4.1: Curvas de compactación para la mezcla suelo 1 – Zeolita natural a diferentes porcentajes de estabilizante.	86
Gráfica 4.2: Curvas de compactación para la mezcla suelo 2 – Zeolita natural a diferentes porcentajes de estabilizante.	87
Gráfica 4.3: Influencia del % de Zeolita natural en el CBR con relación al suelo natural. 90	
Gráfica 4.4: Influencia del % de Zeolita natural en el CBR con relación al suelo natural. 91	
Gráfica 4.5: Influencia del % de Zeolita natural en la expansión con relación al suelo natural.....	93
Gráfica 4.6: Influencia del % de Zeolita natural en la expansión con relación al suelo natural.....	94
Gráfica 4.7: Análisis comparativo de costos de alternativas de estabilizaciones.	100
Gráfica 4.8: Análisis comparativo de costos de alternativas de estabilizaciones.	101