

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LA COMPRESIÓN NO CONFINADA CON
LA ADICIÓN DE DIFERENTES CLASES DE CLORURO COMO
ESTABILIZANTE EN SUELO ARCILLOSO”**

Por:

LLANOS GARECA ALEJANDRO LUIS

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

SEMESTRE II - 2025

Tarija – Bolivia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LA COMPRESIÓN NO CONFINADA CON
LA ADICIÓN DE DIFERENTES CLASES DE CLORURO COMO
ESTABILIZANTE EN SUELO ARCILLOSO”**

Por:

LLANOS GARECA ALEJANDRO LUIS

PROYECTO ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV 502

SEMESTRE II - 2025

Tarija – Bolivia

DEDICATORIA

A mis queridos padres, por ser la base de todo lo que soy, por su amor incondicional, su ejemplo de esfuerzo y sus sabios consejos que me guiaron en cada paso de este camino.

A mis hermanos, por su apoyo constante, por creer en mí y acompañarme en los momentos más importantes de mi vida.

A mi pareja, por brindarme comprensión, paciencia y fortaleza en los días más difíciles, y por caminar a mi lado en este sueño que hoy se hace realidad.

Y, con todo mi amor, a mi hijito, mi mayor motivación, la razón más grande para superarme cada día y demostrarle que todo es posible con dedicación y perseverancia.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I: DISEÑO TEÓRICO

1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes de trabajos relacionados	2
1.3 Justificación	6
1.3.1 Aporte académico.....	6
1.3.2 Aplicación técnica – practica	6
1.3.3 Importancia social	6
1.4 Planteamiento del problema	7
1.4.1 Situación problemática.....	7
1.4.2 Delimitación del tiempo y espacio	8
1.4.3 Formulación del problema.....	8
1.5 Objetivos.....	8
1.5.1 Objetivo General	8
1.5.2 Objetivos Específicos	8
1.6 Hipótesis	9
1.7 Conceptualización de las variables.....	9
1.7.1 Variable independiente.....	9
1.7.2 Variable dependiente.....	9
1.7.3 Operacionalización de las variables.	9
1.8 Alcance	10

CAPÍTULO II: COMPRESIÓN INCONFINADA (UU) EN SUELOS FINOS

2.1 Marco conceptual	12
2.1.1 Suelo.....	12
2.1.2 Origen y formación	12

2.1.3	Tipos de suelos	13
2.1.4	Clasificación de los suelos	15
2.1.5	Suelo arcilloso	21
2.1.6	Estabilización del suelo	27
2.1.7	Estabilización de suelos utilizando sales.....	30
2.1.8	Descripción del cloruro de magnesio ($MgCl_2$).....	31
2.1.9	Descripción del Cloruro de Calcio ($CaCl_2$).....	35
2.1.10	Compresión no Confinada (UU)	38
2.1.11	Estabilidad de Taludes.....	43
2.1.12	Ensayos.....	44
2.2	Marco normativo	54
2.3	Marco referencial.....	56
2.4	Análisis del aporte teórico	58
CAPÍTULO III: CRITERIOS DE RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN		
3.1	Material de estudio	60
3.1.1	Ubicación.....	60
3.1.2	Universo objetivo	60
3.1.3	Población o universo muestral	61
3.1.4	Muestra.....	61
3.2	Criterios de muestreo.....	61
3.2.1	Zona de muestreo	63
3.3	Métodos y técnicas	63
3.3.1	Diseño de la investigación.....	63
3.3.2	Matriz de Diseño	64
3.3.3	Técnicas, instrumentos y procedimiento de recolección de datos.....	65

3.4 Procedimiento Experimental	66
3.4.1 Reducción de muestras de campo a muestras de ensayo.....	66
3.4.2 Caracterización del suelo.....	67
3.4.3 Propiedades Mecánicas	74
3.5 Dosificación y preparación de las muestras	83

CAPÍTULO IV: PROCESAMIENTO Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información	85
4.2 Análisis de los resultados de ensayos suelo – aditivo ($MgCl_2$, $CaCl_2$)	85
4.3 Análisis de los Límites de Consistencia del suelo.....	85
4.4 Densidad Máxima y contenido de humedad óptimo	90
4.5 Compresión no Confinada (Resistencia)	93
4.5.1 Cloruro de Magnesio (1,5 % de dosificación).....	94
4.5.2 Cloruro de Magnesio (3 % de dosificación).....	96
4.5.3 Cloruro de Magnesio (4,5 % de dosificación).....	99
4.5.4 Cloruro de Calcio (1,5 % de dosificación).....	102
4.5.5 Cloruro de Calcio (3 % de dosificación).....	104
4.5.6 Cloruro de Calcio (4,5 % de dosificación).....	107
4.5.7 Cloruro de Magnesio vs. Cloruro de Calcio (1,5 % de dosificación) ..	110
4.5.8 Cloruro de Magnesio vs. Cloruro de Calcio (3 % de dosificación)	112
4.5.9 Cloruro de Magnesio vs. Cloruro de Calcio (4,5 % de dosificación) ..	115
4.6 Cohesión.....	119
4.7 Análisis técnico económico	124
4.8 Aplicación en taludes.....	127
4.8.1 Presupuesto y lista de actividades	129
4.9 Análisis Estadístico	130

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones..... 133

5.2 Recomendaciones 134

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO A. MATRIZ DE CONSISTENCIA.

ANEXO B. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS ADITIVOS

ANEXO C. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS Y PRESUPUESTO

ANEXO D. PANEL FOTOGRÁFICO.

ANEXO E. PLANILLAS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1.1: Operacionalización de variables	9
Tabla N°2.1: Cuadro comparativo de clasificación de suelos según el tamaño de sus partículas.....	16
Tabla N°2.2: Diferencias entre suelos de grano grueso y fino	16
Tabla N°2.3: Clasificación SUCS, suelo fino	18
Tabla N°2.4: Cuadro comparativo entre limos y arcillas	26
Tabla N°2.5: Consistencia del suelo según el valor de la resistencia máxima a la compresión simple.....	46
Tabla N°2.6: Índice de plasticidad según el tipo de suelo.....	51
Tabla N°2.7: Serie de tamices	52
Tabla N°2.8: Peso mínimo de la muestra según el tamaño máximo de partículas.....	53
Tabla N°3.1: Coordenadas del banco de arcilla	60
Tabla N°3.2: Criterios de muestreo	62
Tabla N°3.3: Variables independientes y niveles de estudio	64
Tabla N°3.4: Matriz de diseño.....	65
Tabla N°3.5: Ensayos en laboratorio.....	66
Tabla N°3.6: Granulometría del suelo.....	68
Tabla N°3.7: Tabla resumen granulometría	69
Tabla N°3.8: Contenido de humedad	70
Tabla N°3.9: Tabla resumen contenido de humedad.....	70
Tabla N°3.10: Limite liquido	71
Tabla N°3.11: Limite plástico	73
Tabla N°3.12: Tabla resumen límites de consistencia.....	73
Tabla N°3.13: Datos necesarios para la clasificación del suelo	74
Tabla N°3.14: Volumen del cilindro de compactación	75

Tabla N°3.15: Compactación proctor estándar	75
Tabla N°3.16: Tabla resumen compactación proctor estándar.....	77
Tabla N°3.17: Volumen del cilindro compactación Harvard.....	78
Tabla N°3.18: Compactación Harvard	78
Tabla N°3.19: Características físicas de la probeta	80
Tabla N°3.20: Compresión Inconfinada.....	80
Tabla N°3.21: Tabla resumen compresión inconfinada	82
Tabla N°4.1: Tabla resumen Limites de consistencia aditivo (MgCl ₂)	85
Tabla N°4.2: Tabla resumen Limites de consistencia aditivo (CaCl ₂)	86
Tabla N°4.3: Tabla resumen Compactación Harvard (MgCl ₂).....	90
Tabla N°4.4: Tabla resumen Compactación Harvard (CaCl ₂).....	90
Tabla N°4.5: Compresión inconfinada (muestra patrón)	94
Tabla N°4.6: Compresión inconfinada (1,5 % MgCl ₂).....	94
Tabla N°4.7: Compresión inconfinada (muestra patrón)	96
Tabla N°4.8: Compresión inconfinada (3 % MgCl ₂).....	97
Tabla N°4.9: Compresión inconfinada (muestra patrón)	99
Tabla N°4.10: Compresión inconfinada (4,5 % MgCl ₂).....	99
Tabla N°4.11: Resumen dosificaciones de MgCl ₂	101
Tabla N°4.12: Compresión inconfinada (muestra patrón)	102
Tabla N°4.13: Compresión inconfinada (1,5 % CaCl ₂).....	102
Tabla N°4.14: Compresión inconfinada (muestra patrón)	104
Tabla N°4.15: Compresión inconfinada (3 % CaCl ₂).....	105
Tabla N°4.16: Compresión inconfinada (muestra patrón)	107
Tabla N°4.17: Compresión inconfinada (4,5 % CaCl ₂).....	107
Tabla N°4.18: Resumen dosificación CaCl ₂	109

Tabla N°4.19: Compresión inconfiada (1,5 % dosificación $MgCl_2$)	110
Tabla N°4.20: Compresión inconfiada (1,5 % dosificación $CaCl_2$)	111
Tabla N°4.21: Compresión inconfiada (3 % dosificación $MgCl_2$)	112
Tabla N°4.22: Compresión inconfiada (3 % dosificación $CaCl_2$)	113
Tabla N°4.23: Compresión inconfiada (4,5 % dosificación $MgCl_2$)	115
Tabla N°4.24: Compresión inconfiada (4,5 % dosificación $CaCl_2$)	116
Tabla N°4.25: Comparación global (Resistencia y deformación).....	117
Tabla N°4.26: Tabla resumen $MgCl_2$ resistencias (repeticiones y % de dosificaciones) ..	118
Tabla N°4.27: Tabla resumen $CaCl_2$ resistencia (repeticiones y % de dosificaciones).....	118
Tabla N°4.28: Tabla resumen $MgCl_2$ cohesión (repeticiones y % de dosificaciones)	119
Tabla N°4.29: Tabla resumen $CaCl_2$ cohesión (repeticiones y % de dosificaciones)	120
Tabla N°4.30: Costo por gramo de aditivo ($MgCl_2$, $CaCl_2$)	124
Tabla N°4.31: Dosis de aditivo por muestra	124
Tabla N°4.32: Costo por muestra (1,5 % dosificación).....	124
Tabla N°4.33: Costo por muestra (3 % dosificación).....	125
Tabla N°4.34: Costo por muestra (4,5 % dosificación).....	125
Tabla N°4.35: Rendimiento (1,5 % dosificación)	125
Tabla N°4.36: Rendimiento (3 % dosificación)	126
Tabla N°4.37: Rendimiento (4,5 % dosificación)	126
Tabla N°4.38: Efecto de cada aditivo en la aplicación a taludes.....	128
Tabla N°4.39: Estadística descriptiva Resistencia a la compresión no confinada, aditivo cloruro de magnesio	131
Tabla N°4.40: Estadística descriptiva Resistencia a la compresión no confinada, aditivo cloruro de calcio	131

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico N°3.1: Granulometría del suelo.....	69
Grafico N°3.2: Limite liquido	72
Grafico N°3.3: Curva de compactación (Proctor Estándar)	76
Grafico N°3.4: Curva de compactación Harvard	79
Grafico N°3.5: Esfuerzo Desviador vs. Deformación unitaria (muestra patrón)	82
Grafico N°4.1: Limite liquido vs. Porcentaje de dosificación (MgCl ₂ , CaCl ₂)	86
Grafico N°4.2: Limite plástico vs. Porcentaje de dosificación (MgCl ₂ , CaCl ₂)	88
Grafico N°4.3: Índice de plasticidad vs. Porcentaje de dosificación (MgCl ₂ , CaCl ₂)	89
Grafico N°4.4: Densidad seca máxima vs. Porcentaje de dosificación (MgCl ₂ , CaCl ₂)	91
Grafico N°4.5: Contenido de humedad optimo vs. Porcentaje de dosificación (MgCl ₂ , CaCl ₂).....	92
Grafico N°4.6: Esfuerzo Desviador vs. Deformación (1,5 % MgCl ₂).....	96
Grafico N°4.7: Esfuerzo Desviador vs. Deformación (3 % MgCl ₂).....	98
Grafico N°4.8: Esfuerzo Desviador vs. Deformación (4,5 % MgCl ₂).....	101
Grafico N°4.9: Esfuerzo Desviador vs. Deformación (1,5 % CaCl ₂).....	104
Grafico N°4.10: Esfuerzo Desviador vs. Deformación (3 % CaCl ₂).....	106
Grafico N°4.11: Esfuerzo Desviador vs. Deformación (4,5 % CaCl ₂).....	109
Grafico N°4.12: Esfuerzo Desviador vs. Deformación (1,5 % MgCl ₂ , 1,5 % CaCl ₂)	112
Grafico N°4.13: Esfuerzo Desviador vs. Deformación (3 % MgCl ₂ , 3 % CaCl ₂)	114
Grafico N°4.14: Esfuerzo Desviador vs. Deformación (4,5 % MgCl ₂ , 4,5 % CaCl ₂)	117
Grafico N°4.15: Estimación de la resistencia a la compresión no confinada (MgCl ₂ vs. CaCl ₂).....	119
Grafico N°4.16: Cohesión vs. % dosificación MgCl ₂	120
Grafico N°4.17: Cohesión vs. % dosificación CaCl ₂	121
Grafico N°4.18: Estimación de la cohesión (MgCl ₂ vs. CaCl ₂).....	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°2.1: Clasificación del suelo.....	19
Figura N°2.2: Suelo arcilloso	22
Figura N°2.3: Estabilización del suelo	27
Figura N°2.4: Estabilización química del suelo	30
Figura N°2.5: Equipo de Compresión Inconfinada	38
Figura N°2.6: Tipos de rotura.....	40
Figura N°2.7: Cartas de plasticidad.....	52
Figura N°3.1: Ubicación del banco de arcilla	60
Figura N°3.2: Zonas de muestreo	63

