

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



**“ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DEL CLORURO DE SODIO
EN LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE NO
DRENADA MEDIANTE EL ENSAYO A COMPRESIÓN NO
CONFINADA EN SUELOS ARCILLOSOS.”**

Por:

FLORES TEJERINA SELENA

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

**“ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DEL CLORURO DE SODIO EN
LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA
MEDIANTE EL ENSAYO A COMPRESIÓN NO CONFINADA EN
SUELOS ARCILLOSOS.”**

Por:

FLORES TEJERINA SELENA

Semestre I - 2025
TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA:

A Dios, por ser mi guía en los momentos difíciles, por recordarme cada día que los sueños se logran con fe y perseverancia.

A mis padres, por su amor incondicional, su ejemplo de lucha y sacrificio, y por enseñarme que rendirse nunca es una opción.

A mi hermana mayor Balvina Flores Tejerina que está en el cielo y me apoya desde allá dándome fuerzas para continuar y no rendirme.

A mis docentes, por compartir conocimiento y enseñarme que con paciencia y café en mano todo esfuerzo vale la pena.

ÍNDICE

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Situación problémica.....	2
1.2.1 Problema.....	4
1.2.2 Relevancia y factibilidad de la investigación.....	4
1.2.2.1 Relevancia de la investigación.....	4
1.2.2.2 Factibilidad de la investigación.....	4
1.2.3 Delimitación temporal y espacial de la investigación.....	5
1.2.3.1 Delimitación temporal.....	5
1.2.3.2 Delimitación espacial.....	5
1.3 Justificación.....	5
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo general.....	6
1.4.2 Objetivos específicos.....	6
1.5 Hipótesis.....	7
1.6 Operacionalización de las variables.....	7
1.6.1 Variable independiente.....	7
1.6.2 Variable dependiente.....	7
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.....	8
1.8.4 Selección de las técnicas de muestreo.....	9
1.9 Métodos empleados.....	9
1.9.1 Métodos.....	9
1.11 Alcance de la investigación.....	9

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Definición de suelos arcillosos.....	11
2.1.1 Composición mineralógica de la arcilla.....	12
2.1.2 Características de la arcilla.....	15
2.1.3 Diferencia entre limos y arcilla.....	16
2.1.4 Efectos de las sales en los suelos arcillosos.....	17
2.2 Suelos dispersivos.....	17
2.3 Cloruro de sodio.....	19
2.4 Contenido de humedad.....	19
2.4.1 Métodos para la determinación del contenido de humedad.....	20
2.4.2 Método estándar (horno).....	20
2.4.3 Método hornalla.....	21
2.5 Análisis granulométrico.....	21
2.5.1 Curva de distribución granulométrica.....	22
2.6 Peso específico relativo de los solidos.....	23
2.6.1 Aplicación.....	23
2.6.2 Peso específico de un suelo (GS).....	24
2.7 Hidrómetro 152-H.....	25
2.8 Límites de consistencia.....	26
2.8.1 Plasticidad de los suelos.....	28
2.8.2 Índice de plasticidad.....	28
2.8.3 Límite líquido.....	28
2.8. Límite plástico.....	29
2.9 Clasificación de suelos.....	30
2.9.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelo (S.U.C.S.).....	30
2.9.2 Carta de Plasticidad.....	33
2.10 Ensayo de Compactación.....	34
2.11 Resistencia al corte no drenado.....	36
2.11.1 Resistencia a la compresión no confinada (qu).....	36
2.11.2 Resistencia al corte (Cu).....	37
2.12 Ensayo de compresión no confinada.....	37

2.12.1 Consistencia y sensibilidad de las arcillas.....	39
---	----

CAPÍTULO III

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE LA ZONA DE ESTUDIO DEL DISTRITO 12

3.1 Ubicación de la zona de estudio.....	42
3.2 Muestreo de materiales.....	44
3.3 Ensayos de caracterización.....	45
3.3.1 Contenido de humedad in situ (ASTM D2216).....	45
3.3.2 Peso Específico (ASTM D854).....	48
3.3.3 Análisis granulométrico por el método de lavado (ASTM D-136).....	51
3.3.4 Análisis granulométrico por hidrómetro (ASTM D-522).....	54
3.3.5 Límites de Atterberg (ASTM D-4318).....	57
3.3.5.1 Límite líquido.....	57
3.3.5.2 Límite plástico.....	57
3.3.6 Clasificación de suelos.....	59
3.3.7 Compactación de suelo (ASTM D-628).....	61
3.3.7.1 Proctor Estándar T-99.....	61
3.3.8 Ensayo compresión no confinada (ASTM 2166).....	63

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DEL CLORURO DE SODIO POR EL ENSAYO DE COMPRESIÓN NO CONFINADA

4.1 Análisis de la zona de estudio del distrito 12.....	75
4.2 Análisis del suelo Aranjuez AJ-P1 con diferentes porcentajes de cloruro de sodio (CH).....	78
4.2.1 Carga última del AJ-P1 de los diferentes porcentajes de sal y suelo inalterado.....	79
4.2.2 Análisis de la Consistencia del AJ-P1, suelo 0% sal, 1% sal, e inalterada.....	80
4.2.3 Análisis de la Sensibilidad del AJ-P1, suelo al 0% sal, 2% sal y 3% sal.....	80
4.2.4 Análisis de la Consistencia del AJ-P1, suelo al 2% sal y 3% sal.....	81
4.2.5 Análisis de la Sensibilidad del AJ-P1, suelo al 1% sal.....	81
4.2.6 Análisis del comportamiento del suelo AJ-P1, en la carga última con sus diferentes porcentajes de cloruro de sodio.....	82
4.3 Análisis del suelo Aranjuez AJ-P2 con diferentes porcentajes de cloruro de sodio (CL).....	84

4.3.1 Carga última del AJ-P2 de los diferentes porcentajes de sal e inalteradamente el suelo.....	85
4.3.2 Análisis de la Consistencia del AJ-P2, suelo 0% sal, 1% sal, e inalterada.....	86
4.3.3 Análisis de la Sensibilidad del AJ-P2, suelo al 0% sal, 1% sal.....	86
4.3.4 Análisis de la Consistencia del AJ-P2, suelo al 2% sal y 3% sal.....	87
4.3.5 Análisis de la Sensibilidad del AJ-P2, suelo al 2% sal, 3% sal.....	87
4.3.6 Análisis del comportamiento del suelo AJ-P2, en la carga última con sus diferentes porcentajes de cloruro de sodio.....	88
4.4 Análisis del suelo German Bush GB-P4 con diferentes porcentajes de cloruro de sodio (CL).....	89
4.4.1 Carga última del GB-P4 de los diferentes porcentajes de sal e inalteradamente el suelo.....	90
4.4.2 Análisis de la consistencia del GB-P4, suelo 0% sal.....	91
4.4.3 Análisis de la Sensibilidad del GB-P4, suelo al 0% sal y 3% sal.....	92
4.4.4 Análisis de la Consistencia del GB-P4, suelo al 1% sal, 2% sal y 3% sal.....	92
4.4.5 Análisis de la Sensibilidad del GB-P4, suelo al 1% sal y 2% sal.....	93
4.4.6 Análisis del comportamiento del suelo GB-P4, en la carga última con sus diferentes porcentajes de cloruro de sodio.....	94
4.5 Análisis del suelo Miraflores MF-P2 con diferentes porcentajes de cloruro de sodio (CL).....	95
4.5.2 Análisis de la consistencia del MF-P2, suelo 0% sal, 1% sal, 2% sal y 3% sal.....	97
4.5.3 Análisis de la sensibilidad del MF-P2, suelo al 0% sal, 1% sal y 2% sal.....	98
4.5.4 Análisis de la Consistencia del MF-P2, suelo inalterado.....	98
4.5.5 Análisis de la Sensibilidad del MF-P2, suelo al 3% sal.....	99
4.5.6 Análisis del comportamiento del suelo MF-P2, en la carga última con sus diferentes porcentajes de cloruro de sodio.....	100
4.6 Análisis del comportamiento del suelo estudiado con diferentes porcentajes de cloruro de sodio VS suelo inalterado.....	102

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.....	104
5.2 Recomendaciones.....	106

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO I. Fotografía

ANEXO II. Cálculo de la caracterización del estudio de suelo

ANEXO III. Plano del distrito 12

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cantidades de cloruro de sodio.....	7
Tabla 2: Parámetros de resistencia cortante no drenada,.....	7
Tabla 3: Metodo de investigacion.....	9
Tabla 4: Límites de tamaño de los suelos separados,.....	15
Tabla 5: Diferencia entre limos y arcillas.....	16
Tabla 6: Suelos dispersos.....	18
Tabla 7: Peso específico de las partículas,.....	24
Tabla 8: Índice de plasticidad del suelo,.....	28
Tabla 9: Consistencia de las arcillas saturadas en función de la resistencia a la compresión no confinada.....	39
Tabla 10: Rango de sensibilidad de los suelos al ensayo compresión no confinada.....	41
Tabla 11: Ubicación de las muestras del Distrito 12.....	43
Tabla 12: Contenido de humedad “AJ-P2”.....	46
Tabla 13: Planilla de contenido de humedad de las muestras.....	47
Tabla 14: Calibración del frasco volumétrico.....	49
Tabla 15: Peso específico “AJ-P2”.....	50
Tabla 16: Planilla del peso específico de las muestras seleccionadas.....	51
Tabla 17: Granulometría por el método del lavado “AJ-P2”.....	52
Tabla 18: Planilla de la granulometría por el método del lavado de los suelos seleccionados.....	53
Tabla 19: Análisis granulométrico por hidrómetro “AJ-P2”.....	55
Tabla 20: Planilla del Análisis granulométrico por hidrómetro de los suelos elegidos...56	
Tabla 21: Planilla de la clasificación de suelos y los límites de atterberg del distrito 12 60	
Tabla 22: Planilla para el ensayo de compactación “AJ-P2”.....	62
Tabla 23: Planilla de los ensayos de compactación.....	63
Tabla 24: Planilla de cálculos compresión no confinada “AJ-P2” al 0% sal.....	66
Tabla 25: Planilla de cálculos compresión no confinada “AJ-P2” al 1% sal.....	68

Tabla 26: Planilla de cálculos compresión no confinada “AJ-P2” al 2% sal.....	70
Tabla 27: Planilla de cálculos compresión no confinada “AJ-P2” al 3% sal.....	72
Tabla 28: Planilla de cálculos compresión no confinada “AJ-P2” Inalterada.....	74
Tabla 29: Planilla de los suelos seleccionados por estudiar.....	75
Tabla 30: Planilla de suelos seleccionados.....	76
Tabla 31: Planilla carga ultima, consistencia y sensibilidad del suelo,.....	78
Tabla 32: Planilla carga ultima, consistencia y sensibilidad del suelo,.....	84
Tabla 33: Planilla carga ultima, consistencia y sensibilidad del suelo.....	89
Tabla 34: Planilla carga ultima, consistencia y sensibilidad del suelo.....	95

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1: Fotografía de suelo arcillosos en Tarija.....	11
Figura 2: Elementos unitarios de los minerales de arcilla.....	12
Figura 3: Estructuras de capas reticulares.....	13
Figura 4: Estructura y tamaños de los principales minerales de arcilla.....	14
Figura 5: Muestra de los Suelos dispersivos.....	18
Figura 6: Horno de Laboratorio de suelos.....	20
Figura 7: Tamices de laboratorio.....	21
Figura 8: Hidrómetro 152-H.....	26
Figura 9: Estados de consistencia del suelo y límites de Atterberg.....	27
Figura 10: Aparato de casagrande,.....	29
Figura 11: Prueba del límite plástico.....	29
Figura 12: Vista satelital del Distrito 12.....	42
Figura 13: Extracción de las muestras.....	44
Figura 14: Ensayo del contenido de humedad.....	46
Figura 15: Calibración del frasco volumétrico.....	48
Figura 16: Ensayo de Peso específico “AJ-P2”.....	50
Figura 17: Ensayo de granulometría por el método del lavado.....	52
Figura 18: Ensayo por hidrómetro.....	54
Figura 19: Limite liquido.....	57
Figura 20: Limite plástico.....	58
Figura 21: Ensayo de los limites de Atterberg.....	58

Figura 22: Material para el ensayo de compactación.....	61
Figura 23: Ensayo de compactación.....	61
Figura 24: Instrumento para en ensayo de la compresión no confinada.....	64
Figura 25: Ensayo de la Compresión no confinada.....	64
Figura 26: Muestras de los ensayos y su tipo de rotura.....	65

ÍNDICE DE GRÁFICA

Gráfica 1: Suelos finos catión y salinidad.....	17
Gráfica 2: Curva de distribución granulométrica.....	22
Gráfica 3: Tipos de diferentes curvas granulométricas.....	23
Gráfica 4: Clasificación de Suelos S,U,C,S,.....	32
Gráfica 5: Plasticidad de suelos.....	33
Gráfica 6: Curva de compactación.....	35
Gráfica 7: Resistencia al corte no drenado.....	37
Gráfica 8: Deformación-esfuerzo en el ensayo de compresión no confinada.....	38
Gráfica 9: Calibración del frasco volumétrico.....	49
Gráfica 10: Curva granulométrica “AJ-P2”.....	52
Gráfica 11: Curva de distribución granulométrica “AJ-P2”.....	56
Gráfica 12: Clasificación de suelo “AJ-P2”.....	59
Gráfica 13: Grafico de compactación “AJ-P2”.....	62
Gráfica 14: Compresión no confinada “AJ-P2” al 0% sal.....	67
Gráfica 15: Compresión no confinada “AJ-P2” al 1% sal.....	69
Gráfica 16: Compresión no confinada “AJ-P2” al 2% sal.....	71
Gráfica 17: Compresión no confinada “AJ-P2” al 3% sal.....	73
Gráfica 18: Compresión no confinada “AJ-P2” Inalterada.....	74
Gráfica 19: Carga ultima de diferentes porcentajes de cloruro de sodio y suelo inalterado	78
Gráfica 20: Comportamiento del suelo con diferentes porcentajes de cloruro de sodio..	82
Gráfica 21: Carga ultima de diferentes porcentajes de cloruro de sodio.....	84

Gráfica 22: Comportamiento del suelo con diferentes porcentajes de cloruro de sodio..	88
Gráfica 23: Carga ultima de diferentes porcentajes de cloruro de sodio.....	89
Gráfica 24: Comportamiento del suelo con diferentes porcentajes de cloruro de sodio..	94
Gráfica 25: Carga ultima de diferentes porcentajes de cloruro de sodio.....	95
Gráfica 26: Comportamiento del suelo con diferentes porcentajes de cloruro de sodio	100
Gráfica 27: Comportamiento del suelo con diferentes porcentajes de cloruro de sodio VS suelo inalterado.....	102