

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



**“COMPARACIÓN DE MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA LA OBTENCIÓN  
DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN EN SUELOS LIMO ARCILLOSOS”**

**Por:**

**LUIS ALBERTO MAMANI SOZA**

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

**Semestre II - 2024**

**TARIJA – BOLIVIA**

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

**“COMPARACIÓN DE MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA LA OBTENCIÓN  
DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN EN SUELOS LIMO ARCILLOSOS”**

**Por:**

**LUIS ALBERTO MAMANI SOZA**

**Semestre II - 2024**

**TARIJA – BOLIVIA**

### **DEDICATORIA:**

A mi valiente mamá. Esta tesis es el resultado de tu amor, apoyo y sacrificio en mi viaje educativo. Tus palabras de aliento, tu perseverancia y tu ejemplo constante han sido mi inspiración. Cada día que trabajaste incansablemente y cada vez que me brindaste tu cariño son tesoros que valoro profundamente.

**ÍNDICE**  
**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

	Pagina
1.1 Antecedentes .....	2
1.2 Justificación.....	3
1.3 Situación problemática.....	4
1.3.1 Problema .....	5
1.4 Relevancia y factibilidad del problema .....	5
1.4.1 Relevancia.....	5
1.4.2 Factibilidad del problema .....	5
1.5 Delimitación temporal y espacial del problema .....	6
1.6 Objetivos .....	6
1.6.1 Objetivo general.....	6
1.6.2 Objetivos específicos .....	6
1.7 Hipótesis.....	7
1.8 Operacionalización de las variables .....	7
1.9 Identificación del tipo de Alcance y de Investigación .....	7

## CAPÍTULO II

### ESTADO DE CONOCIMIENTO TEORICO

	Pagina
2.1 Marco teórico .....	9
2.2 Suelos cohesivos y no cohesivos.....	11
2.2.1 Suelos cohesivos .....	12
2.2.2 Suelos no cohesivos.....	13
2.3 Granulometría en un suelo .....	13
2.4 Métodos de análisis granulométrico.....	14
2.5 Método del tamizado.....	15
2.6 Métodos de sedimentación.....	15
2.7 Curva granulométrica.....	16
2.8 Suelos plásticos .....	18
2.9 Plasticidad .....	19
2.10 Límites de consistencia. ....	20
2.11 Límite Líquido (LL) .....	21
2.12 Límite Plástico (LP) .....	23
2.13 Índice de plasticidad.....	24
2.13.1 Procedimiento para determinar el Índice de Plasticidad.....	25
2.14 Determinación del Límite de Contracción .....	26
2.14.1 Métodos del límite de contracción.....	29
2.15 Preparación de la muestra para límite de contracción.....	38
2.16 Equipos y materiales. ....	39
2.17 Clasificación AASHTO.....	44
2.17.1 Material limo arcillosos, más del 35% del total pasa el tamiz N°200.....	45

2.17.2	Índice de Grupo. ....	46
2.18	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) .....	46
2.18.1	Suelos Gruesos (Coarse-Grained Soils).....	47
2.18.2	Suelos Finos (Fine-Grained Soils).....	48
2.18.3	Suelos Orgánicos (Organic Soils).....	49

## CAPÍTULO III

### CARACTERIZACION Y PROCESO EXPERIMENTAL

	Pagina
3.1 Zona de estudio .....	51
3.2 Unidades de estudio y decisión muestral .....	52
3.2.1 Unidad de estudio .....	52
3.2.2 Población .....	53
3.2.3 Muestra .....	53
3.3 Selección de las técnicas de muestreo.....	53
3.4 Métodos y técnicas empleadas .....	54
3.5 Procesamiento de la información .....	54
3.6 Características físicas del suelo.....	54
3.7 Tamaño de la muestra .....	56
3.8 Ubicación del punto de muestreo .....	57
3.9 Análisis granulométrico por método de lavado N°200 (ASTM D422) .....	58
3.10 Límites de Atterberg.....	63
3.10.1 Determinación del límite líquido .....	63
3.10.2 Determinación del límite plástico .....	68
3.11 Clasificación.....	69
3.12 Límite de contracción.....	71
3.12.1 Determinación del límite de contracción con mercurio (INV E – 127 – 13).....	71
3.12.2 Determinar el volumen de la pastilla de suelo seco.....	72
3.13 Límite de contracción con aceite sucio .....	76
3.13.1 Acondicionamiento de la muestra de ensayo.....	76
3.14 Determinación de volúmenes secos con aceite sucio .....	77

3.15	límite de contracción con parafina “INV-E-129-13” .....	80
3.15.1	Determinación de volúmenes del suelo seco con parafina .....	81
3.16	Límite de contracción con glicerina .....	86
3.16.1	Determinación de volúmenes secos con glicerina .....	87



**CAPÍTULO IV**  
**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

	Pagina
4.1	Procesamiento y validación de resultados..... 94
4.2	Organización de resultados ..... 94
4.3	Estadística Descriptiva ..... 98
4.4	Cálculo de curva de frecuencias, relativa y acumulada mercurio ..... 98
4.5	Cálculo de curva de frecuencias, relativa y acumulada parafina ..... 101
4.6	Cálculo de curva de frecuencias, relativa y acumulada glicerina..... 104
4.7	Cálculo de curva de frecuencias, relativa y acumulada aceite sucio..... 107
4.8	Cálculos de medida de tendencia central ..... 109
4.9	Cálculos de medidas de dispersión..... 110
4.10	Estadística Inferencial ..... 111
4.10.1	Prueba de hipótesis de muestra independientes mercurio y parafina ..... 111
4.11	Prueba Chi-Cuadrada ..... 114
4.11.1	Prueba de hipótesis de muestra independientes mercurio y glicerina ..... 115
4.11.2	Prueba de hipótesis de muestra independientes mercurio y aceite sucio..... 120

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

	Pagina
5.1 CONCLUSIONES .....	126
5.2 RECOMENDACIONES .....	127

ANEXO A

ANEXO B

## ÍNDICE DE TABLAS

### Página

Tabla 1.8.1 Tabla de Operacionalización de las Variables .....	7
Tabla 2.6.1 Denominación de suelos, según sistemas de Clasificación.....	16
Tabla 2.6.2 Serie de tamices o mallas. ....	17
Tabla 2.8.1 Estados del suelo y límites de consistencia.....	19
Tabla 2.16.1 Clasificación de suelos según AASHTO .....	45
Tabla 2.17.1 Gravas Más del 50% de la fracción mayor al tamiz de 75 µm (No. 200) queda retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4).....	48
Tabla 2.17.2 Suelos finos – 50% o más pasa el tamiz de 75 µm (No. 200) y límite líquido < 50 % .....	49
Tabla 3.7.1 Nivel de Confianza.....	56
Tabla 3.7.2 Estadístico de números de ensayo.....	57
Tabla 3.9.1 Distribución granulométrica del ensayo N°1 .....	61
Tabla 3.9.2 Distribución granulométrica del ensayo N°2 .....	62
Tabla 3.9.3 Resumen de los ensayos de granulometría .....	63
Tabla 3.10.1 Limite liquido del ensayo N°1 .....	66
Tabla 3.10.2 Limite liquido del ensayo N°2 .....	67
Tabla 3.10.3 Limite plástico del ensayo N°1 .....	69
Tabla 3.10.4 Limite plástico del ensayo N°2 .....	69
Tabla 3.11.1 Resultados de clasificación N°1.....	69
Tabla 3.11.2 Resultados de clasificación N°2.....	70
Tabla 3.12.1 Determinación del contenido de humedad con mercurio.....	75
Tabla 3.12.2 Volúmenes del suelo con mercurio.....	75
Tabla 3.12.3 Factores de Contracción con mercurio.....	76
Tabla 3.14.1 Contenido de humedad.....	79
Tabla 3.14.2 Volúmenes de suelo con aceite sucio.....	79
Tabla 3.14.3 Factores de contracción con aceite sucio .....	80
Tabla 3.15.1 Determinación del contenido de humedad.....	85

Tabla 3.15.2 Determinación de volúmenes de suelo.....	85
Tabla 3.15.3 Factores de Contracción con parafina.....	86
Tabla 3.16.1 Determinación del contenido de humedad.....	90
Tabla 3.16.2 Volúmenes de suelo con glicerina.....	91
Tabla 3.16.3 Factores de contracción con glicerina.....	91
Tabla 3.16.4 Resumen de resultados.....	92
Tabla 4.2.1 Resultados de los límites de contratación del suelo limo arcilloso.....	94
Tabla 4.2.2 Resultados de los límites de contratación del suelo limo arcilloso.....	95
Tabla 4.2.3 Resultados de los límites de contratación del suelo limo arcilloso.....	95
Tabla 4.2.4 Resultados de los límites de contratación del suelo limo arcilloso.....	96
Tabla 4.2.5 Resultados de los límites de contratación del suelo limo arcilloso.....	97
Tabla 4.4.1 Frecuencia acumulada de mercurio.....	98
Tabla 4.4.2 Intervalo de clase de mercurio.....	99
Tabla 4.5.1 Frecuencia acumulada de parafina.....	101
Tabla 4.5.2 Intervalo de clase de parafina.....	102
Tabla 4.6.1 Frecuencia acumulada de glicerina.....	104
Tabla 4.6.2 Intervalos de clase I con glicerina.....	105
Tabla 4.7.1 Frecuencia acumulada de aceite sucio.....	107
Tabla 4.7.2 Intervalo de clase I con aceite sucio.....	108
Tabla 4.8.1 Tendencia central del mercurio.....	109
Tabla 4.8.2 Tendencia central de la parafina.....	109
Tabla 4.8.3 Tendencia central de la glicerina.....	110
Tabla 4.8.4 Tendencia central del aceite sucio.....	110
Tabla 4.9.1 Medidas de dispersión del mercurio.....	110
Tabla 4.9.2 Medidas de dispersión de la parafina.....	110
Tabla 4.9.3 Medidas de dispersión de la glicerina.....	110
Tabla 4.9.4 Medidas de dispersión del aceite sucio.....	111
Tabla 4.10.1 Planilla de medias de Límites de contracción.....	111
Tabla 4.10.2 Prueba de hipótesis mercurio y glicerina.....	116
Tabla 4.10.3 Planilla de medias de Límites de contracción.....	120

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 2.1.1 Suelo Cohesivo del Barrio San Blas.....	12
Figura 2.1.2 Suelos No Cohesivos.....	13
Figura 2.3.1 Análisis Granulométrico.....	15
Figura 2.6.1 Tamices para Granulometría.....	17
Figura 2.10.1 Copa de Casa Grande .....	22
Figura 2.11.1 Determinación del Limite Plástico .....	24
Figura 2.13.1 Obtención del volumen de suelo seco. ....	29
Figura 2.15.1 Cazuela de porcelana. ....	39
Figura 2.15.2 Espátula .....	39
Figura 2.15.3 Recipientes de contracción. ....	39
Figura 2.15.4 Recipiente de vidrio.....	40
Figura 2.15.5 Enrasador. ....	40
Figura 2.15.6 Recipiente o plato. ....	40
Figura 2.15.7 Balanza Con legibilidad de 0.1 g.....	41
Figura 2.15.8 Horno Termostáticamente controlado. ....	41
Figura 2.15.9 Guates de caucho. ....	42
Figura 2.15.10 Vaselina. ....	42
Figura 2.15.11 Mercurio suficiente.....	42
Figura 2.15.12 Parafina. ....	43
Figura 2.15.13 Glicerina. ....	43
Figura 2.15.14 Aceite Sucio.....	44
Figura 3.1.1 ubicación del (Barrio San Blas de la ciudad de Tarija) .....	51
Figura 3.8.1 Ubicación del punto del suelo.....	58
Figura 3.9.1 muestra del suelo. ....	59
Figura 3.9.2 lavado del suelo y secado. ....	59
Figura 3.9.3 Tamices para ensayos de granulometría.....	60
Figura 3.10.1 Numero de golpes en la Copa de casa grande. ....	64
Figura 3.10.2 Contenido de humedad de la muestra ensayada. ....	65

Figura 3.10.3 Método de los rollitos de 3 mm. ....	68
Figura 3.12.1 Suelo para límite de contracción seco en horno. ....	72
Figura 3.12.2 Suelo sobre el mercurio, sumergido mediante la placa de vidrio .....	73
Figura 3.12.3 Determinación del volumen del suelo seco .....	73
Figura 3.13.1 Límite de contracción con aceite sucio.....	76
Figura 3.15.1 Muestras secas para determinar la masa.....	81
Figura 3.15.2 Volúmenes secos con parafina.....	82
Figura 3.16.1 Límite de contracción con glicerina .....	87

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<b>Página</b>
Gráfico 2.10.1 Carta de plasticidad del USCS.....	23
Gráfico 3.9.1 Curva granulométrica del ensayo N°1 .....	61
Gráfico 3.9.2 Curva granulométrica del ensayo N°2 .....	62
Gráfico 3.10.1 Determinación del límite líquido del ensayo N°1 .....	66
Gráfico 3.10.2 Determinación del límite líquido del ensayo N°2.....	67
Gráfico 4.2.1 Barras de límites de contracción 1. ....	94
Gráfico 4.2.2 Barra de límites de contracción 2.....	95
Gráfico 4.2.3 Barra de límites de contracción 3.....	96
Gráfico 4.2.4 Barra de límites de contracción 4.....	96
Gráfico 4.2.5 Barra de límites de contracción 5.....	97
Gráfico 4.4.1 Histograma de frecuencias de límite de contracción. ....	99
Gráfico 4.4.2 Polígono marcas de clase límite de contracción. ....	100
Gráfico 4.4.3 Curva de acumulación límite de contracción.....	100
Gráfico 4.5.1 histograma de frecuencia de límites de contracción. ....	102
Gráfico 4.5.2 Polígono marcas de clase límite de contracción. ....	103
Gráfico 4.5.3 Curva de acumulación límite de contracción.....	103
Gráfico 4.6.1 Histograma de frecuencias límite de contracción. ....	105
Gráfico 4.6.2 Polígono marcas de clase límite de contracción. ....	105
Gráfico 4.6.3 Curva de acumulación límite de contracción.....	106
Gráfico 4.7.1 Histograma de frecuencias límite de contracción. ....	108
Gráfico 4.7.2 Polígono marcas de clase límite de contracción. ....	108
Gráfico 4.7.3 Curva de acumulación límite de contracción.....	109
Gráfico 4.10.1 t Student del mercurio y parafina.....	112
Gráfico 4.10.2 Distribución de t student. ....	113
Gráfico 4.10.3 t Student mercurio vs glicerina. ....	116
Gráfico 4.10.4 Distribución de t student .....	118
Gráfico 4.10.5 t student mercurio vs aceite sucio. ....	121
Gráfico 4.10.6 Distribución de t student. ....	122