

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DEPARTAMENTO DE**

**TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN**



**“COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE  
EN SUELOS COHESIVOS ENTRE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO Y  
COMPRESIÓN NO CONFINADA”**

**Por:**

**FLORES GIRÓN CRISTHIAN ABRAHAM**

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 – 2023**

**TARIJA – BOLIVIA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DEPARTAMENTO**

**TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN**

**“COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE  
EN SUELOS COHESIVOS ENTRE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO Y  
COMPRESIÓN NO CONFINADA”**

**Por:**

**FLORES GIRÓN CRISTHIAN ABRAHAM**

**Semestre II – 2023**

**TARIJA – BOLIVIA**

**DEDICATORIA:**

El presente trabajo de Proyecto de Grado, me otorga una gran satisfacción de cumplir un logro muy importante en mi vida. Está dedicado con muchísimo cariño a mis padres Roberto Flores y Dominga Girón.

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

	<b>Página</b>
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Situación problemática.....	2
1.2.1. Problema .....	2
1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema.....	2
1.2.3. Delimitación temporal y espacial del problema .....	2
1.3. Justificación .....	3
1.4. Objetivos .....	3
1.4.1. Objetivo general .....	3
1.4.2. Objetivos específicos .....	3
1.5. Hipótesis.....	4
1.6. Operacionalización de las variables.....	4
1.6.1. Variable 1 .....	4
1.6.2. Variable 2 .....	5
1.7. Identificación del tipo de Investigación .....	5
1.8. Métodos y técnicas empleadas.....	5
1.9. Procesamiento de la información.....	6
1.10. Alcance de la investigación .....	6

**CAPÍTULO II**  
**ENSAYOS DE RESISTENCIA AL CORTE Y SUS CONSIDERACIONES**  
**GENERALES**

	<b>Página</b>
2.1. Suelo.....	7
2.2. Tipos de suelos .....	8
2.3. Características de los suelos .....	8

2.4. Importancia de conocer el tipo de suelo.....	9
2.5. Resistencia al esfuerzo cortante de los suelos .....	9
2.6. Ensayos de resistencia.....	12
2.7. Parámetros de resistencia al corte.....	13
2.7.1. Ángulo de fricción interna .....	13
2.7.2. Cohesión.....	13
2.8. Estadística Correlacional.....	13
2.8.1. Coeficiente de determinación (R cuadrado).....	14
2.8.2. Análisis de normalidad mediante contrastes de hipótesis .....	15
2.8.3. Coeficiente de correlación lineal de Pearson .....	15
2.8.4. Interpretación del coeficiente de correlación de Karl Pearson.....	16
2.8.5. Programa “Statistical Package for the Social Sciences” .....	16
2.8.6. Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) .....	17

### **CAPÍTULO III**

#### **APLICACIÓN PRÁCTICA**

	<b>Página</b>
3.1. Unidades de estudio y decisión muestral .....	19
3.1.1. Unidad de estudio .....	19
3.1.2. Población.....	19
3.1.3. Muestra.....	19
3.1.4. Selección de las técnicas de muestreo .....	20
3.2. Zona de estudio.....	20
3.3. Selección de las muestras .....	22
3.4. Caracterización de los suelos.....	24
3.4.1. Ensayo contenido de humedad (ASTM D2216) .....	24
3.4.2. Análisis granulométrico (ASTM D422 - AASHTO T88) .....	26
3.4.3. Determinación del límite líquido (ASTM D4318 - AASHTO T89) .....	29

3.4.4. Límite plástico e índice de plasticidad (ASTM D4318 - AASHTO T90) .....	30
3.4.5. Clasificación S.U.C.S (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).....	33
3.4.6. Ensayo de compactación AASHTO T180 - 01 .....	35
3.4.7. Compresión no confinada (ASTM D2126 - AASHTO T208).....	38
3.4.8. Determinación de la resistencia al corte método de corte directo. ....	41

## CAPÍTULO IV

### COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

	<b>Página</b>
4.1. Análisis estadístico descriptivo de los parámetros de resistencia al corte .....	45
4.2. Grado de relación de los parámetros de resistencia al corte en suelos CL y CH	52
4.3. Análisis de muestras CL (Arcillas de baja plasticidad) .....	53
4.3.1. Grado de relación entre Carga última (qu) vs Angulo de fricción interna ( $\Phi$ ) .	53
4.3.2. Prueba de Normalidad.....	54
4.3.3. Correlación de Pearson para muestras con distribución normal. ....	55
4.3.4. Regresión lineal simple.....	56
4.3.5. Grado de relación entre Carga última (qu) vs Cohesión (C).....	57
4.3.6. Prueba de Normalidad.....	58
4.3.7. Correlación de Pearson para muestras con distribución normal. ....	59
4.3.8. Regresión lineal simple.....	60
4.3.9. Grado de relación entre Cohesión (C) vs Ángulo de fricción.....	61
4.3.10. Prueba de Normalidad .....	62
4.3.11. Correlación de Pearson para muestras con distribución normal. ....	63
4.3.12. Regresión lineal simple.....	64
4.3.13. Grado de relación entre Cohesión (C) vs Cohesión (C) .....	65
4.3.14. Prueba de Normalidad .....	66
4.3.15. Correlación de Pearson para muestras con distribución normal. ....	67
4.3.16. Regresión lineal simple.....	68

4.4. Análisis de muestras CH (Arcillas de alta plasticidad).....	69
4.4.1. Grado de relación entre Carga última ( $q_u$ ) vs Ángulo de fricción ( $\Phi$ ).....	69
4.4.2. Prueba de Normalidad.....	69
4.4.3. Correlación de Pearson para muestras con distribución normal. ....	70
4.4.4. Regresión lineal simple.....	71
4.4.5. Grado de relación entre Carga última ( $q_u$ ) vs Cohesión (C).....	72
4.4.6. Prueba de Normalidad.....	73
4.4.7. Correlación de Pearson para muestras con distribución normal. ....	74
4.4.8. Regresión lineal simple.....	74
4.4.9. Grado de relación entre Cohesión (C) vs Ángulo de fricción.....	76
4.4.10. Prueba de Normalidad .....	76
4.4.11. Correlación de Pearson para muestras con distribución normal. ....	77
4.4.12. Regresión lineal simple.....	78
4.4.13. Grado de relación entre Cohesión (C) vs Cohesión (C) .....	79
4.4.14. Prueba de Normalidad .....	80
4.4.15. Correlación de Pearson para muestras con distribución normal. ....	81
4.4.16. Regresión lineal simple.....	82
4.5. Correlación del ángulo de fricción y cohesión en suelos cohesivos. ....	83
4.5.1. Correlación en suelos CL (Arcillas de baja plasticidad).....	83
4.5.2. Regresión lineal múltiple para el ángulo de fricción .....	84
4.5.3. Regresión lineal múltiple para la cohesión .....	85
4.6. Correlación en suelos CH (Arcillas de alta plasticidad) .....	91
4.6.1. Regresión lineal múltiple para el ángulo de fricción .....	91
4.6.2. Regresión lineal múltiple para la cohesión .....	93
4.7. Comparación de parámetros de resistencia al corte obtenidos en laboratorio.....	95
4.8. Porcentaje de variación .....	95

4.9. Comparación en suelos CL (Arcillas de baja plasticidad) .....	95
4.9.1. Porcentajes de variación de Ángulo de fricción .....	95
4.9.2. Porcentajes de variación de la Cohesión .....	97
4.10. Comparación en suelos CH (Arcillas de alta plasticidad) .....	98
4.10.1. Porcentajes de variación de Ángulo de fricción .....	98
4.10.2. Porcentajes de variación de la Cohesión .....	99
4.10.3. Prueba de Hipótesis .....	100

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

	<b>Página</b>
5.1. Conclusiones .....	101
5.2. Recomendaciones .....	103

### **BIBLIOGRAFÍA**

#### **ANEXO**

**ANEXO A:** Reporte fotográfico

**ANEXO B:** Planillas de ensayos en laboratorio



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
<b>Tabla 2.1</b> Variable 1.....	4
<b>Tabla 2.2</b> Variable 2.....	5
<b>Tabla 2.1</b> Escala de valores .....	14
<b>Tabla 2.2</b> Clasificación SUCS .....	18
<b>Tabla 3.1</b> Coordenadas zonas de extracción.....	21
<b>Tabla 3.3</b> Resumen Humedad natural .....	25
<b>Tabla 3.4</b> Resumen resultados del ensayo Granulometría .....	28
<b>Tabla 3.5</b> Resumen de resultados ensayo Límites de Atterberg.....	32
<b>Tabla 3.6</b> Resumen clasificación según SUCS.....	34
<b>Tabla 3.7</b> Resumen ensayo de compactación .....	37
<b>Tabla 3.8</b> Resumen ensayo compresión no confinada .....	40
<b>Tabla 3.9</b> Resumen ensayo corte directo.....	44
<b>Tabla 4.1</b> Tabla de frecuencias carga última ensayo compresión no confinada.....	45
<b>Tabla 4.2</b> Tabla de frecuencias cohesión ensayo de compresión no confinada. ....	47
<b>Tabla 4.3</b> Tabla de frecuencia ángulo de fricción obtenido ensayo de corte directo.	48
<b>Tabla 4.4</b> Tabla de frecuencias cohesión ensayo de corte directo. ....	50
<b>Tabla 4.5</b> Planilla de estadística descriptiva.....	51
<b>Tabla 4.6</b> Escala de valores r.....	52
<b>Tabla 4.7</b> Resultados carga última y ángulo de fricción .....	53
<b>Tabla 4.8</b> Prueba de normalidad .....	54
<b>Tabla 4.9</b> Correlación de Pearson de la Carga última y Ángulo de fricción.....	55
<b>Tabla 4.10</b> Resumen de regresión lineal simple .....	56
<b>Tabla 4.11</b> Resultados carga última y cohesión .....	57
<b>Tabla 4.12</b> Prueba de normalidad .....	58

<b>Tabla 4.13</b>	Correlación de Pearson de la Carga última y Cohesión .....	59
<b>Tabla 4.14</b>	Resumen de regresión lineal simple .....	60
<b>Tabla 4.15</b>	Resultados cohesión y ángulo de fricción.....	61
<b>Tabla 4.16</b>	Prueba de normalidad .....	62
<b>Tabla 4.17</b>	Correlación de Pearson de la Cohesión y Ángulo de fricción .....	63
<b>Tabla 4.18</b>	Resumen de regresión lineal simple .....	64
<b>Tabla 4.19</b>	Resultados cohesión y cohesión.....	65
<b>Tabla 4.20</b>	Prueba de normalidad .....	66
<b>Tabla 4.21</b>	Correlación de Pearson de la Cohesión y Cohesión .....	67
<b>Tabla 4.22</b>	Resumen de regresión lineal simple Cohesión vs Cohesión.....	68
<b>Tabla 4.23</b>	Resultados carga última y ángulo de fricción .....	69
<b>Tabla 4.24</b>	Prueba de normalidad .....	69
<b>Tabla 4.25</b>	Correlación de Pearson de la Carga última y Ángulo de fricción.....	70
<b>Tabla 4.26</b>	Resumen de regresión lineal simple ángulo de fricción vs carga última.	71
<b>Tabla 4.27</b>	Resultados carga última y cohesión.....	72
<b>Tabla 4.28</b>	Prueba de normalidad .....	73
<b>Tabla 4.29</b>	Correlación de Pearson de la Carga última y Cohesión.....	74
<b>Tabla 4.30</b>	Resumen de regresión lineal simple cohesión vs carga última.....	75
<b>Tabla 4.31</b>	Resultados cohesión y ángulo de fricción.....	76
<b>Tabla 4.32</b>	Prueba de normalidad .....	76
<b>Tabla 4.33</b>	Correlación de Pearson de la Cohesión y Ángulo de fricción .....	77
<b>Tabla 4.34</b>	Resumen de regresión lineal simple ángulo de fricción vs cohesión. ....	78
<b>Tabla 4.35</b>	Resultados cohesión y cohesión.....	79
<b>Tabla 4.36</b>	Prueba de normalidad .....	80
<b>Tabla 4.37</b>	Correlación de Pearson de la Cohesión y Cohesión.....	81
<b>Tabla 4.38</b>	Resumen de regresión lineal simple cohesión vs cohesión. ....	82

<b>Tabla 4.39</b> Resumen resultados caracterización muestras CL .....	83
<b>Tabla 4.40</b> Regresión lineal simple por pasos .....	84
<b>Tabla 4.41</b> Regresión lineal simple por pasos .....	85
<b>Tabla 4.42</b> Coeficientes de regresión múltiple .....	90
<b>Tabla 4.43</b> Resumen caracterización de muestras CH.....	91
<b>Tabla 4.44</b> Regresión lineal simple por pasos .....	91
<b>Tabla 4.45</b> Coeficientes de regresión múltiple .....	92
<b>Tabla 4.46</b> Regresión lineal múltiple por pasos .....	93
<b>Tabla 4.47</b> Coeficientes regresión múltiple.....	94
<b>Tabla 4.48</b> Porcentaje de variación.....	95
<b>Tabla 4.49</b> Porcentajes de variación del ángulo de fricción en suelos CL.....	96
<b>Tabla 4.50</b> Porcentaje de variación Total.....	96
<b>Tabla 4.51</b> Porcentaje de variación de la cohesión en suelos CL.....	97
<b>Tabla 4.52</b> Comparación variación.....	98
<b>Tabla 4.53</b> Porcentaje de variación de ángulo de fricción en suelos CH.....	98
<b>Tabla 4.54</b> Porcentaje de variación.....	99
<b>Tabla 4.55</b> Porcentaje de variación de la cohesión en suelos CH .....	99
<b>Tabla 4.56</b> Comparación variación.....	100

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 2.1</b> Envolvente de falla de Mohr .....	10
<b>Figura 2.2</b> Valores típicos del ángulo de fricción drenado para arenas y limos.....	11
<b>Figura 2.3</b> Principales ensayos de laboratorio resistencia y deformabilidad .....	12
<b>Figura 2.4</b> Gráfica Carta de Plasticidad SUCS.....	17
<b>Figura 3.1</b> Ciudad de Tarija.....	20
<b>Figura 3.2</b> Zonas de Extracción de muestra .....	22
<b>Figura 3.3</b> Excavación de calicatas.....	23
<b>Figura 3.4</b> Ensayo contenido de humedad .....	24
<b>Figura 3.5</b> Ensayo de granulometría .....	26
<b>Figura 3.6</b> Ensayo Límite líquido.....	29
<b>Figura 3.7</b> Ensayo de Límite plástico .....	30
<b>Figura 3.8</b> Gráfica de plasticidad SUCS .....	33
<b>Figura 3.9</b> Ensayo compactación.....	35
<b>Figura 3.10</b> Ensayo Compresión no Confinada.....	38
<b>Figura 3.11</b> Preparación de muestra para el ensayo de corte directo.....	41
<b>Figura 3.12</b> Realización del ensayo de corte directo .....	42
<b>Figura 4.1</b> Histograma de frecuencia absoluta para la carga última.....	46
<b>Figura 4.2</b> Histograma de frecuencia acumulada para la carga última.....	46
<b>Figura 4.3</b> Histograma de frecuencia absoluta para la cohesión. ....	47
<b>Figura 4.4</b> Histograma de frecuencia acumulada para la cohesión. ....	48
<b>Figura 4.5</b> Histograma de frecuencia absoluta para el ángulo de fricción.....	49
<b>Figura 4.6</b> Histograma de frecuencia acumulada para el ángulo de fricción. ....	49
<b>Figura 4.7</b> Histograma de frecuencia absoluta para la cohesión. ....	50
<b>Figura 4.8</b> Histograma de frecuencia acumulada para la cohesión. ....	51

<b>Figura 4.9</b>	Gráfica de normalidad carga última y ángulo de fricción.....	54
<b>Figura 4.10</b>	Diagrama de dispersión de datos ángulo de fricción vs carga última....	56
<b>Figura 4.11</b>	Gráfica de normalidad carga última y cohesión .....	58
<b>Figura 4.12</b>	Diagrama de dispersión de datos cohesión vs carga última .....	60
<b>Figura 4.13</b>	Gráfica de normalidad carga última y cohesión .....	62
<b>Figura 4.14</b>	Diagrama de dispersión de datos ángulo de fricción vs cohesión .....	64
<b>Figura 4.15</b>	Gráfica de normalidad cohesión y cohesión.....	66
<b>Figura 4.16</b>	Diagrama de dispersión de datos cohesión vs cohesión.....	68
<b>Figura 4.17</b>	Gráfica de normalidad carga última y ángulo de fricción suelos CH ....	70
<b>Figura 4.18</b>	Diagrama de dispersión de datos ángulo de fricción vs carga última....	72
<b>Figura 4.19</b>	Gráfica de normalidad carga última y cohesión. ....	73
<b>Figura 4.20</b>	Diagrama de dispersión de datos cohesión vs carga última. ....	75
<b>Figura 4.21</b>	Gráfica de normalidad ángulo de fricción y cohesión. ....	77
<b>Figura 4.22</b>	Diagrama de dispersión de datos ángulo de fricción vs cohesión. ....	79
<b>Figura 4.23</b>	Gráfica de normalidad cohesión y cohesión .....	80
<b>Figura 4.24</b>	Diagrama de dispersión de datos cohesión vs cohesión.....	82
<b>Figura 5.1</b>	Resumen Correlación.....	102