

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**“ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL INFILTRÓMETRO DE DOBLE ANILLO APLICADO A SUELOS EN ESTADO NATURAL DE LOS BARRIOS TORRECILLAS Y JESÚS MARÍA EN LA CIUDAD DE TARIJA”**

**Por:**

**MAMANI ASTETE DIEGO JOEL**

Proyecto 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 LA EFICIENCIA DEL INFILTRÓMETRO DE  
DOBLE ANILLO APLICADO A SUELOS EN ESTADO NATURAL  
DE LOS BARRIOS TORRECILLAS Y JESÚS MARÍA EN LA  
CIUDAD DE TARIJA”**

**Por:**

**MAMANI ASTETE DIEGO JOEL**

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

# ÍNDICE GENERAL

## CAPÍTULO I

### DISEÑO TEÓRICO

1.1	Introducción.....	1
1.2	Antecedentes.....	2
1.3	Justificación.....	3
1.3.1	Justificación académica.....	3
1.3.2	Justificación sobre la aplicación técnica – práctica.....	3
1.3.3	Justificación e importancia social.....	3
1.4.	planteamiento del problema.....	4
1.4.1.	situación problemática.....	4
1.4.2.	delimitación temporal y espacial.....	5
1.4.3.	formulación del problema.....	7
1.5.	objetivos.....	7
1.5.1	objetivo general.....	7
1.5.2	objetivo específico.....	7
1.6.	Hipótesis.....	7
1.7	Conceptualización de la variable.....	7
1.8	Alcance y tipo de la investigación.....	9

## CAPÍTULO II

### ESTADO DE CONOCIMIENTO

2.1 Marco conceptual.....	10
2.1.1 Eficiencia.....	10
2.1.2 Infiltración.....	10
2.1.3 Velocidad de infiltración.....	12
2.1.4 Infiltración acumulada.....	12
2.1.5 Factores que afectan la velocidad de infiltración.....	15
2.1.6 Infiltrómetro de doble anillo.....	16
2.1.7 Método Empírico de Kostiakov.....	22
2.1.8 Contenido de humedad.....	25
2.1.9 Análisis Granulométrico.....	26
2.1.10 Límites de atterberg.....	27
2.1.11 Clasificación de suelos.....	31
2.2 Marco normativo.....	33
2.3 Marco referencial.....	33

## CAPÍTULO III

### DISEÑO METODOLÓGICO Y RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1 Ubicación de la zona de estudio.....	35
3.2 Coordenadas U.T.M.....	37
3.3 Coordenadas Geográficas.....	39

3.4 Criterios del diseño metodológico.....	41
3.4.1 Unidad de muestra.....	41
3.4.2 Población.....	41
Clasificación de suelos, tasa de infiltración.....	41
3.4.3 Muestra.....	41
3.4.4 Tamaño de muestra.....	41
3.5 Muestreo Probabilístico.....	43
3.5.1 Justificación del tipo de muestreo.....	44
3.6 Operatividad del infiltrómetro de doble anillo.....	45
3.6.1 Eficiencia.....	45
3.6.2 Precisión.....	47
3.6.3 Confiabilidad.....	47
3.7 Muestreo de materiales.....	48
3.7.1 Muestreo zona de estudio.....	48
3.8 Contenido de humedad (ASTM D2216).....	49
3.9 Granulometría (ASTM D854 – AASHTO T100).....	52
3.9.1 Lavado por el tamiz #200 para suelos finos.....	52
3.10 Límites de Atterberg (AASHTO D4318 AASHTO T90-T89).....	56
3.10.1 Límite líquido (ASTM D4318 – AASHTO T89).....	56
3.10.2 Límite plástico e índice de plasticidad (ASTM D4318 – AASHTO T90).....	57
3.11 Clasificación de suelos finos.....	61

3.12 Procedimiento del infiltrómetro de doble anillo.....	63
3.13 Cálculo del infiltrómetro de doble anillo método directo.....	69
3.14 Cálculo del método empírico de Kostiakov.....	73
3.15 Cálculo de la eficiencia.....	77

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE LOS VALORES OBSERVADOS

4.1 Distribución de las tasas de infiltración.....	80
4.2 Infiltración comparada con el método Kostiakov.....	81
4.3 Comparación de infiltración y el método de Kostiakov por tipo de muestra.....	82
4.4 Comparación de infiltración entre los tipos de suelo.....	83
4.5 Correlación entre la infiltración y el método de Kostiakov.....	83
4.6 Comparación entre los Barrios Torrecillas y Jesús María.....	84
4.7 Análisis de la Eficiencia del Infiltrómetro de Doble Anillo.....	85
4.8 Análisis Estadístico.....	86
4.8.1 Estadística Descriptiva.....	87
4.8.2 Estadística Inferencial.....	93
4.9 Especificaciones técnicas puntuales del proceso y requerimientos mínimos.....	95
4.9.1 Proceso técnico.....	95
4.9.2 Requerimientos mínimos.....	96

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.....	98
5.2 Recomendaciones.....	99

### BIBLIOGRAFÍA

ANEXO I

ANEXO II

ANEXO III

ANEXO IV

ANEXO V

ANEXO VI

CÁLCULOS

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tabla de delimitación temporal.....	6
Tabla 2: Conceptualización y operación de las variables.....	8
Tabla 3: Rangos referenciales de velocidad de infiltración básica de los diferentes tipos de suelo.....	13
Tabla 4: Tabla Referencial de los tipos de suelos.....	14
Tabla 5: Tipos de suelos.....	33
Tabla 6: Coordenadas barrio Torrecillas.....	37

Tabla 7: Coordenadas barrio Jesús María.....	38
Tabla 8: Coordenadas geográficas barrio Torrecillas.....	39
Tabla 9: Coordenadas geográficas barrio Jesús María.....	40
Tabla 10: Elaboración de las técnicas de muestreo.....	43
Tabla 11: Muestreo estratificado desproporcional.....	44
Tabla 12: Tabla de tiempo promedio de la infiltración promedio.....	46
Tabla 13: Contenido de humedad de “P2 B/Torrecillas”.....	50
Tabla 14: Resumen del contenido de humedad de las muestras.....	51
Tabla 15: Granulometría de “P2 B/Torrecillas”.....	54
Tabla 16: Resumen granulometría de las muestras.....	55
Tabla 17: Límite líquido y límite plástico de “P2 B/Torrecillas”.....	58
Tabla 18: Resumen de límites de consistencia de las muestras.....	60
Tabla 19: Resumen de clasificación de las muestras.....	62
Tabla 20: Cálculo de la tasa de infiltración “P1 B/Torrecillas”.....	69
Tabla 21: Resumen de contenido de infiltración.....	72
Tabla 22: Cálculo de la infiltración método empírico de kostiakov.....	73
Tabla 23: Resumen de los resultados de infiltración.....	75
Tabla 24: Tabla de resultados de los cálculos realizados.....	76
Tabla 25: Cálculo de la eficiencia del infiltrómetro de doble anillo.....	78
Tabla 26: Tabla de comparación.....	84
Tabla 27: Eficiencia del infiltrómetro.....	85

Tabla 28: Distribución de datos.....	87
Tabla 29: Distribución de frecuencias.....	88
Tabla 30: Medidas de Tendencia y Dispersión Torrecillas.....	89
Tabla 31: Distribución de datos.....	90
Tabla 32: Distribución de frecuencias.....	91
Tabla 33: Estadísticas.....	92
Tabla 34: Valor de frecuencia observada ( $f_o$ ).....	94
Tabla 35: Cálculo de la frecuencia esperada ( $f_e$ ).....	94
Tabla 36: Determinando el $X_{calculado2}$ .....	94

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Velocidad de infiltración.....	11
Gráfico 2: Curvas características de la velocidad de infiltración e infiltración acumulada de un suelo.....	11
Gráfico 3: Variación de la curva de velocidad de infiltración del suelo.....	13
Gráfico 4: Curva granulométrica del agregado.....	27
Gráfico 5: Límites de atterberg.....	28
Gráfico 6: Copa de Casagrande.....	29
Gráfico 7: Carta de plasticidad.....	32
Gráfico 8: Curva granulométrica de “P2 B/Torrecillas”.....	54
Gráfico 9: Límite líquido.....	59
Gráfico 10: Clasificación con la carta de plasticidad de “P2 B/Torrecillas”.....	61

Gráfico 11: Grafica de lámina acumulada vs Tiempo acumulado.....	70
Gráfico 12: Resultados por los dos métodos.....	82
Gráfico 13: Infiltrómetro vs el método de Kostiakov.....	83
Gráfico 14: Análisis estadístico.....	86
Gráfico 15: Histograma y Polígono de Frecuencias.....	88
Gráfico 16: Polígono de frecuencias acumuladas.....	89
Gráfico 17: Histograma y Polígono de Frecuencias.....	91
Gráfico 18: Polígono de frecuencias acumuladas.....	92

#### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Identificación del tipo de investigación.....	9
Figura 2: Infiltrómetro de doble anillo.....	20
Figura 3: Horno de secado.....	26
Figura 4: Límite plástico.....	30

#### ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Mapa barrio Torrecillas.....	35
Imagen 2: Mapa barrio Jesús María.....	36
Imagen 3: Zona de estudio.....	48
Imagen 4: Contenido de humedad.....	49
Imagen 5: Muestra natural.....	50

Imagen 6: Lavado por el tamiz #200.....	52
Imagen 7: Tamizado de las arcillas.....	53
Imagen 8: Límite líquido.....	57
Imagen 9: Límite plástico.....	58
Imagen 10: Limpieza de la zona de estudio.....	63
Imagen 11: Instalación de los anillos de doble cilindro.....	64
Imagen 12: Nivelación de los anillos.....	65
Imagen 13: Instalación de la boya.....	66
Imagen 14: Llenado de agua.....	66
Imagen 15: Llenado de agua del anillo interno y registro de la medida inicial.....	67
Imagen 16: Aumento del agua del anillo interno.....	68