

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y OBRAS SANITARIAS**



**" ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE UNA  
SUBUNIDAD Y CALIBRACIÓN DE EMISORES A RIEGO POR GOTEO PARA  
EL CULTIVO DE VID"**

**APLICACIÓN PRÁCTICA: COMUNIDAD DE SAN ANTONIO - TARIJA**

**POR:**

**MIGUEL ANGEL MAMANI AGUIRRE**

**SEMESTRE I – 2024**

**TARIJA – BOLIVIA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y OBRAS SANITARIAS**

**"ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE UNA  
SUBUNIDAD Y CALIBRACIÓN DE EMISORES A RIEGO POR GOTEJO PARA  
EL CULTIVO DE VID"**

**APLICACIÓN PRÁCTICA: COMUNIDAD DE SAN ANTONIO – TARIJA**

**POR:**

**MIGUEL ANGEL MAMANI AGUIRRE**

**Proyecto de grado elaborado en la asignatura CIV 502**

**SEMESTRE I – 2024**

**TARIJA – BOLIVIA**

## **DEDICATORIA**

Dedicar esta tesis de investigación a Dios por otorgarme el don de la vida, fortalezas y determinación para culminar con éxito esta etapa de mis estudios.

A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional, consejos, valores y por ser mi mayor motivación para crecer y mejorar cada día.

A mi pareja e hija por ser mi motivación y motor de vida, para seguir fortaleciéndome como persona.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.2. HIPÓTESIS.....	3
1.3. OBJETIVOS .....	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
1.4. JUSTIFICACIÓN .....	4
1.5. DELIMITACIÓN .....	5
1.5.1. LÍMITE TEMPORAL .....	5
1.5.2. LÍMITE GEOGRÁFICO .....	5
CAPÍTULO 2: SISTEMAS DE RIEGO LOCALIZADO DE ALTA FRECUENCIA ....	8
2.1. VENTAJAS E INCONVENIENTES .....	9
2.1.1. VENTAJAS AGRONÓMICAS .....	9
2.1.2. VENTAJAS ECONÓMICAS Y DE MANEJO .....	10
2.1.3. INCONVENIENTES.....	11
2.2. EMISORES.....	11
2.2.1. EMISORES DE RIEGO A GOTEO.....	12
2.2.2. CONDICIONES EXIGIBLES.....	13
2.3. CLASIFICACIÓN DE EMISORES DE RIEGO POR GOTEO .....	15
2.4. HIDRÁULICA EN LOS EMISORES .....	22
2.4.1. RÉGIMEN HIDRÁULICO DE LOS EMISORES.....	22
2.4.2. ECUACIÓN DEL GOTERO.....	24
2.5 HIDRÁULICA EN LAS TUBERÍAS .....	25
2.5.1. COEFICIENTE DE CHRISTIENSEN.....	26

2.5. UNIFORMIDAD DE RIEGO.....	29
2.5.1. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (C.U.).....	29
2.5.2. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL C.U. ....	31
2.5.3. EVALUACIÓN DE C.U. EN OPERACIÓN .....	32
2.5.4. UNIFORMIDAD DE LA SUBUNIDAD DE RIEGO .....	32
2.6. MANTENIMIENTO DE ELEMENTOS DE DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN SISTEMAS DE RIEGO A GOTEO .....	34
2.6.1. EVALUACIÓN VISUAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LATERALES Y EMISORES.....	34
2.6.2. LAVADO DE LA LÍNEA DE GOTEO .....	35
2.6.3. TRATAMIENTO DE LATERALES INYECTANDO CLORO.....	36
2.6.4. TRATAMIENTO DE LATERALES INYECTANDO ÁCIDO .....	38
2.6.5. ENRAIZADO DE EMISORES .....	40
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO .....	43
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN O ESTUDIO .....	43
3.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	43
3.3. EQUIPOS Y MATERIALES .....	44
3.4. PROCEDIMIENTO .....	44
CAPÍTULO 4: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	48
4.1. RECOPIACIÓN DE DATOS.....	51
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS .....	60
5.1. CALIBRACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO CARACTERÍSTICO DEL EMISOR .....	60
5.2. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (CU) .....	64
5.4. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE LA SUBUNIDAD ..	67
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69

6.1. CONCLUSIONES .....	69
6.2. RECOMENDACIONES.....	70
BIBLIOGRAFÍA.....	72
ANEXOS.....	74
ANEXO 1. TABLA MODELO PARA LA ANOTACIÓN DE DATOS MEDIDOS. .....	74
ANEXO 2. ESTIMACIÓN DE ERRORES DE LAS MEDICIONES REALIZADAS PARA LOS VOLÚMENES MEDIDOS. ....	75
ANEXO 3. ESTIMACIÓN DE ERRORES DE LAS MEDICIONES REALIZADAS PARA LOS TIEMPOS MEDIDOS. ....	77
ANEXO 4. ESTIMACIÓN DE ERRORES DE LAS MEDICIONES INDIRECTAS REALIZADAS PARA LOS CAUDALES.....	79
ANEXO 5. ESTIMACIÓN DE ERRORES DE LAS MEDICIONES DIRECTAS REALIZADAS PARA LAS PRESIONES.....	80
ANEXO 6. IMÁGENES DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN EL SISTEMA DE RIEGO.....	82
ANEXO 7. ANÁLISIS DE CALIDAD DEL AGUA.....	86
ANEXO 8. ÁBACOS PARA LA ESTIMACIÓN DEL FACTOR DE FRICCIÓN.....	88
ANEXO 9. DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES Y PRESIONES EN LA SUBUNIDAD DE ESTUDIO.....	89

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades del agua.....	23
Tabla 2: Coeficientes de descarga de emisores.....	25
Tabla 3: Coeficientes de Christiansen.....	28
Tabla 4: Operacionalización de variables .....	43
Tabla 5: Medición de volúmenes [ml] .....	53
Tabla 6: Medición de tiempos [min].....	54
Tabla 7: Estimación de caudales [lts/h] .....	56
Tabla 8: Medición de presiones [Bares].....	58
Tabla 9: Tabla de registros de caudales [lts/h].....	61
Tabla 10: Tabla de coeficientes de variación .....	64
Tabla 11: Tabla de referencia de los caudales promedios.....	64
Tabla 12: Caudales promedios [lts/h] .....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa Político del Departamento de Tarija.....	6
Figura 2: Mapa político de la Provincia José María Avilés.....	6
Figura 3: Fotografía aérea de la parcela de estudio.....	7
Figura 4: Sistemas de riego localizado de alta frecuencia .....	8
Figura 5: Bulbos húmedos según tipos de suelos.....	13
Figura 6: Uniformidad de riego.....	14
Figura 7: Relación Caudal – Presión.....	15
Figura 8: Microtubo .....	16
Figura 9: Gotero helicoidal .....	17
Figura 10: Goteros de laberinto.....	17
Figura 11: Goteros de orificio.....	18
Figura 12: Gotero Vortex.....	19
Figura 13: Viñas en terrenos irregulares con pendientes elevadas .....	21
Figura 14: Gotero autocompensante .....	22
Figura 12: Modelo sugerido para la selección de emisores a analizar .....	33
Figura 13: Estimación del caudal de un gotero.....	35
Figura 14: Lavado de una lateral.....	36
Figura 15: Intrusión de raíces en el emisor .....	41
Figura 16: Vivero “El Carmen” .....	45
Figura 17: Selección de la subunidad denominada “Lote I”.....	46
Figura 18: Revisión de elementos del cabezal de riego y limpieza de filtros .....	46
Figura 19: Mantenimiento de tuberías terciaria y laterales.....	47
Figura 20: Medición de volúmenes y presiones en la subunidad en estudio .....	47
Figura 21: Esquema del sistema de la unidad de riego a analizar.....	48



Figura 22: Subunidad seleccionada.....	49
Figura 23: Esquema del sistema de la subunidad de riego a analizar .....	49
Figura 24: Esquema del cabezal de riego.....	50
Figura 25: Fuente de agua del sistema (tipo atajado).....	51
Figura 26: Emisor autocompensantes tipo interlinea utilizado en la subunidad .....	51
Figura 27: Distribución de los emisores en la subunidad de riego .....	52
Figura 28: Medición de los caudales y presiones en la subunidad de riego .....	52
Figura 29: Obtención de los caudales y presiones en planilla .....	55
Figura 30: Esquema armado para la calibración y mediciones.....	61
Figura 31: Curva de descarga del gotero.....	62