

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES
INGENIERÍA AGRONÓMICA**



**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE
VERTIENTE Y SU ADMINISTRACIÓN PARA EL RIEGO AGRICOLA EN
LA COMUNIDAD DE GUAYABILLAS DE LA PROVINCIA ARCE,
DEPARTAMENTO DE TARIJA**

Por:

RAFAEL SAUL VILLCA CALIZAYA

Tesis presentada a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Agronómica

**Gestión 2023
TARIJA- BOLIVIA**

V°B°

.....
M. Sc. Ing. Domingo Cesar Ríos Muñoz
DOCENTE GUÍA

M. Sc. Ing. Milton Javier Caba Olguín
DECANO
FACULTAD DE CIENCIAS
AGRÍCOLAS Y FORESTALES

M. Sc. Ing. Víctor Enrique Zenteno López
VICEDECANO
FACULTAD DE CIENCIAS
AGRÍCOLAS Y FORESTALES

APROBADO POR:

.....
Ing. Omar Gutiérrez Catari
TRIBUNAL

.....
M. Sc. Ing. Claudia Bazán Ortega
TRIBUNAL

.....
M. Sc. Ing. José Lindolfo Laime Nieves
TRIBUNAL

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo esta responsabilidad del autor.

DEDICATORIA:

La presente tesis lo dedico a mi padre Francisco Villca Rodríguez y a mi madre Irene Calizaya Uño que siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo incondicional y sus consejos para hacer de mí una mejor persona, a mis hermanas por sus palabras y su compañía.

AGRADECIMIENTOS:

Agradecer primeramente a Dios, por permitirme lograr esta meta tan anhelada, a la U.A.J.M.S. y la F.C.A y F. por haberme permitido formarme en mi carrera profesional, a mis docentes de la Carrera de Ingeniería Agronómica; gracias a mis padres, hermanas y toda mi familia. Agradezco a mi docente guía Ing. Domingo Cesar Ríos Muñoz, Ing. Grover Mealla, Ing. Linder Espinoza, a la Lic. Lesly Masiel Herrera Arenas por todo el apoyo en el desarrollo de mi tesis; a mis tribunales asignados que me ayudaron a concluir la tesis y a mis queridos amigos y compañeros que siempre me apoyaron.

PENSAMIENTO:

“El agua se ha convertido en un recurso muy preciado. Hay lugares en los que un barril de agua cuesta más que un barril de petróleo”

Lloyd Axworthy

ÍNDICE

Dedicatoria

Agradecimiento

Resumen

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1	Introducción.....	1
1.2	Planteamiento del Problema.....	2
1.3	Justificación.....	2
1.4	Hipótesis.....	3
1.5	Objetivos.....	3
1.5.1	Objetivo general.....	3
1.5.2	Objetivos específicos.....	4

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....5

2.1	El agua que baja de las montañas.....	5
2.1.1	Agua de las vertientes.....	5
2.1.2	Captación de vertientes, ríos, lagos y embalse (reservorios).....	5
2.1.3	Reservorio de agua.....	7
2.1.3.1	Reservas de agua artificial y natural.....	7
2.1.3.2	Reservas de agua artificiales.....	7
2.1.3.3	Reservas de agua naturales.....	7
2.1.4	La hidrósfera.....	7
2.1.4.1	Composición de la hidrosfera.....	7
2.1.4.2	Hidrosfera en la superficie terrestre.....	8
2.1.5	Cuenca hidrográfica.....	8

2.1.5.1	Función Ambiental.....	8
2.1.5.2	Función Ecológica.....	9
2.1.5.3	Función Hidrológica	9
2.1.6	Cuencas.....	9
2.1.6.1	Sub cuenca.....	9
2.1.6.2	Microcuenca.....	10
2.1.7	Fuentes naturales de agua.....	10
2.1.8	Fuentes subterráneas.....	10
2.1.9	Fuentes superficiales.....	10
2.1.10	Gestión del recurso hídrico.....	11
2.1.11	Uso sostenible del agua.....	11
2.1.12	Plan Nacional de Cuencas (Bolivia).....	11
2.1.13	Gestión integral de recurso hídricos (GIRH).....	11
2.1.14	Gestión de sistemas de riego.....	12
2.1.15	Manejo integral de cuencas (MIC).....	12
2.1.16	Riego por gravedad.....	13
2.1.17	Riego tecnificado.....	14
2.1.17.1	Beneficios del riego tecnificado.....	14
2.1.17.2	Aplicaciones del riego tecnificado.....	15
2.1.18	Riego por goteo.....	15
2.1.19	Riego por aspersión.....	15
2.1.20	Riego por microaspersión.....	15
2.1.21	La captación de agua.....	16
2.1.22	La calidad del agua para riego.....	16

2.1.22.1	Salinidad del agua.....	17
2.1.22.2	Medida del contenido de sales.....	18
2.1.22.3	Medida de la conductividad eléctrica.....	19
2.1.22.4	Tolerancia de los cultivos a la salinidad.....	21
2.1.22.5	Toxicidad.....	22
2.1.22.6	Problemas de infiltración.....	24
2.1.22.7	Otros criterios de calidad.....	27
2.1.23	Microcuenca como espacio de vida.....	29
2.1.24	Uso actual del recurso hídrico.....	29
2.1.24.1	Medición del escurrimiento (aforos).....	29
2.1.24.2	Método de aforo volumétrico.....	30
2.1.24.3	Aforo Volumétrico.....	30
2.1.24.4	Cálculo del Caudal.....	30
2.1.25	Modelos de administración de agua para riego agrícola.....	31
2.1.25.1	Gestión centralizada.....	31
2.1.25.2	Participación comunitaria.....	31
2.1.26	Ciclo Hidrológico.....	31
2.1.27	Balance hídrico.....	32
2.1.27.1	Balance hídrico de una cuenca hidrográfica.....	33
2.1.28	Balance hídrico de los cultivos.....	34
2.1.29	Cálculo del Área Bajo Riego Optimo (ABRO).....	34
2.1.29.1	Caudal ecológico.....	34
	CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
3.1	Ubicación.....	36

3.2	Aspectos Biofísicos.....	38
3.2.1	Clima.....	38
3.2.2	Temperatura.....	38
3.2.2.1	Temperatura Máxima y Mínima.....	38
3.2.3	Precipitaciones Pluviales, Periodos.....	38
3.2.4	Riesgos Climáticos.....	38
3.2.5	Fisiografía.....	39
3.2.5.1	Descripción del paisaje fisiográfico	41
3.2.6	Suelo.....	42
3.2.7	Uso de la tierra.....	42
3.2.8	Flora.....	43
3.2.9	Fauna.....	44
3.2.10	Características socioeconómicas.....	44
3.3	Materiales.....	45
3.3.1	Material de campo.....	45
3.3.2	Material de gabinete.....	45
3.3.3	Herramientas menores y equipo.....	45
3.4	METODOLOGÍA.....	45
	Planificación, preparación y recopilación de información de la investigación.....	46
3.4.1	Fase 1: Reconocimiento del área de estudio	46
3.4.2	Fase 2: Aforo de caudales por el método volumétrico.....	46
3.4.2.1	Procedimiento del aforo.....	47
3.4.3	Fase 3: Determinar la calidad de agua para riego.....	47
3.4.4	Fase 4: Encuesta a beneficiarios.....	48

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
4.1 Estado situacional del sistema de captación de agua de vertiente el Mololito.....	49
4.1.1 Evaluación del reservorio de agua.....	53
4.1.2 Medición de caudal de agua de vertiente (Aforo volumétrico).....	55
4.1.2.1 Primer aforo de caudal de la vertiente.....	56
4.1.2.2 Segundo aforo de caudal de la vertiente.....	56
4.1.2.3 Tercer aforo de caudal de la vertiente.....	57
4.1.2.4 Cuarto aforo de caudal de la vertiente.....	57
4.1.3 Resultados del aforo y cálculo del caudal de la vertiente.....	57
4.1.4 Medición de caudal de agua de ingreso al reservorio (Aforo volumétrico) ...	58
4.1.4.1 Primer aforo de caudal de ingreso al reservorio.....	59
4.1.4.2 Segundo aforo de caudal de ingreso al reservorio.....	59
4.1.4.3 Tercer aforo de caudal de ingreso al reservorio.....	59
4.1.4.4 Cuarto aforo de caudal de ingreso al reservorio.....	60
4.1.5 Resultados del aforo y cálculo del caudal de entrada al reservorio.....	60
4.2 Balance Hídrico.....	61
4.2.1 Cedula y calendario de los cultivos.....	61
4.2.2 Calendario Agrícola.....	62
4.2.3 Cedula de cultivo.....	64
4.2.4 Cálculo del Área Bajo Riego Optimo.....	64
4.2.4.1 Datos agrometeorológicos.....	65
4.2.4.2 Necesidades hídricas de los cultivos.....	66

4.2.4.3	Determinación de la oferta y demanda.....	68
4.2.4.4	Caudal ecológico.....	68
4.2.4.5	Frecuencia de riego para los diferentes cultivos.....	69
4.2.4.6	Tiempo de riego.....	73
4.2.5	Calidad de agua del reservorio.....	75
4.2.6	Resultados de Análisis de Laboratorio.....	75
4.2.6.1	Clasificación según su Relación de Absorción de Sodio.....	76
4.2.6.2	Clasificación según su Conductividad Eléctrica.....	77
4.3	DIAGNOSTICO SITUACIONAL DE LA GESTIÓN SOCIAL DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE GUAYABILLAS.....	80
4.3.1	Número de encuestados.....	80
4.3.2	¿Quién es el encargado de la gestión social del sistema de riego en la comunidad de Guayabillas?.....	81
4.3.3	¿Cómo es la administración de los turnos de agua de los regantes del sistema de riego de la comunidad Guayabillas?.....	82
4.3.4	¿Cada cuánto tiempo se realiza reuniones ordinarias del Comité de Agua para Riego?.....	82
4.3.5	¿Cuentan con estatutos y reglamentos para la gestión social del agua para riego?.....	82
4.3.6	¿Qué cultivos se produce con más frecuencia en el área de riego de la comunidad?.....	83
4.3.7	¿Usted está conforme con la distribución del agua que se realiza en la comunidad?.....	83
4.3.8	¿Qué tipo de riego emplea en su cultivo?.....	84
4.3.9	¿Cuál cree que es el principal agente contaminante del agua hoy en día?.....	85

4.3.10 ¿Cada cuánto tiempo cree que se debe realizar mantenimiento del sistema de captación de agua, tuberías y limpieza del reservorio de agua?.....	85
4.3.11 ¿Cuántas hectáreas de tierra cultivable bajo riego posee cada beneficiario con el uso del agua de la vertiente en la comunidad?.....	86
4.4 PROPUESTA DEL SISTEMA DE GESTIÓN SOCIAL DEL AGUA PARA RIEGO EN LA COMUNIDAD DE GUAYABILLAS.....	87
4.4.1 Estructura organizacional.....	87
4.4.1.1 Atribuciones del presidente:	87
4.4.1.2 Atribuciones del vicepresidente:.....	88
4.4.1.3 Atribuciones del secretario de actas:.....	88
4.4.1.4 Atribuciones del Tesorero:.....	88
4.4.1.5 Atribuciones Juez de agua:.....	88
4.4.1.6 Atribuciones del Vocal:.....	89
4.4.2 Duración de la directiva.....	89
4.4.3 Derechos de agua.....	89
4.4.4 Distribución.....	89
4.4.5 Actividades de operación.....	91
4.4.6 Mantenimiento.....	91
4.4.6.1 Mantenimiento de toma de obra.....	92
4.4.6.2 Mantenimiento del tanque de almacenamiento.....	93
4.4.6.3 Mantenimiento de red de distribución.....	93
4.4.7 Aporte en Dinero.....	93
4.4.7.1 Presupuesto de Mantenimiento.....	93
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	95

5.1 CONCLUSIONES.....	95
5.2 RECOMENDACIONES.....	97
BIBLIOGRAFÍA.....	98
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Interpretación de análisis de agua de riego.....	18
Tabla 2.	Tolerancia de los cultivos a la salinidad.....	22
Tabla 3.	Grados franceses.....	28
Tabla 4.	Datos climatológicos.....	39
Tabla 5.	Leyenda fisiográfica.....	41
Tabla 6.	Fechas del aforo y datos del aforo.....	56
Tabla 7.	Resultados del aforo y cálculo del caudal de la vertiente.....	58
Tabla 8.	Fechas del aforo y datos del aforo.....	59
Tabla 9.	Resultados del aforo y cálculo del caudal de ingreso al reservorio.....	60
Tabla 10.	Área actual cultivada en hectáreas, del área de incidencia de riego.....	62
Tabla 11.	Cedula de cultivo y calendario agrícola.....	64
Tabla 12.	Datos agroclimatológicos de la estación La Merced, para la realización del balance hídrico.....	65
Tabla 13.	Cálculo del requerimiento de riego.....	67
Tabla 14.	Balance de oferta y demanda.....	69
Tabla 15.	Cálculo de la frecuencia de riego para el cultivo de maíz.....	70
Tabla 16.	Cálculo de la frecuencia de riego para el cultivo de papa.....	70
Tabla 17.	Cálculo de la frecuencia de riego para el cultivo de arveja.....	71
Tabla 18.	Cálculo de la frecuencia de riego para el cultivo de cebolla.....	71
Tabla 19.	Cálculo de la frecuencia de riego para el cultivo de manzana.....	72
Tabla 20.	Cálculo de la frecuencia de riego para el cultivo de durazno.....	72
Tabla 21.	Resumen de la frecuencia de riego para los diferentes cultivos.....	73
Tabla 22.	Cálculo del tiempo de riego.....	74
Tabla 23.	Resultados de Análisis Químico.....	76
Tabla 24.	Parámetros de calidad de agua del reservorio.....	78
Tabla 25.	Beneficiarios del sistema de riego en la comunidad de Guayabillas.....	80
Tabla 26.	Tipos de cultivos y superficie cultivada por beneficiario.....	83
Tabla 27.	Tierra cultivable por beneficiario.....	86

Tabla 28.	Distribución de los tiempos de entrega de acuerdo a la tenencia de tierra.....	90
Tabla 29.	Mantenimientos de la infraestructura.....	92
Tabla 30.	Presupuesto de materiales para el primer año.....	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Sales más frecuentes en el agua de riego y en el suelo.....	19
Figura 2.	Medida de la conductividad eléctrica de un agua de riego usando un conductímetro portátil.....	20
Figura 3.	Riesgo de salinización del suelo según la conductividad eléctrica o el contenido total de sales del agua de riego.....	21
Figura 4.	Síntomas de exceso de sodio en una hoja de platanera.....	23
Figura 5.	Síntomas de exceso de cloruro en una hoja de maíz	24
Figura 6.	Calidad del aguade riego en función del contenido de sales y la relación de adsorción de sodio.....	26
Figura 7.	Método volumétrico.....	30
Figura 8.	Ciclo Hidrológico.....	32
Figura 9.	Sistema de abastecimiento de agua de riego.....	49
Figura 10.	Sistema de captación de agua.....	50
Figura 11.	Área de captación de agua.....	51
Figura 12.	Tubos PVC de 2 pulg, de conducción.....	51
Figura 13.	Cámara desarenadora.....	52
Figura 14.	Reservorio de agua de vertiente.....	53
Figura 15.	Tubo PVC de saneamiento.....	53
Figura 16.	Vertedero de excedencias.....	54
Figura 17.	Cámara de llave de ingreso de agua al reservorio.....	54
Figura 18.	Cámara de llaves de distribución de agua.....	55
Figura 19.	Normas Riverside para evaluar la calidad de aguas de riego.....	79
Figura 20.	Junta directiva.....	81
Figura 21.	Distribución del agua.....	84
Figura 22.	Sistemas de riego.....	84
Figura 23.	Contaminantes del agua.....	85
Figura 24.	Junta directiva.....	87

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Área de estudio.....	37
Mapa 2. Mapa Fisiográfico de la comunidad de Guayabillas. Imagen Google Earth.....	40

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Sistema de captación de agua	
Anexo 2. Reservorio	
Anexo 3. Medición del caudal de la vertiente por el método volumétrico	
Anexo 4. Medición del caudal del reservorio por el método volumétrico	
Anexo 5. Recolección de agua de vertiente, y del reservorio	
Anexo 6. Medición del caudal de ingreso a la parcela	
Anexo 7. Encuesta a beneficiarios	
Actas firmadas como respaldo del trabajo realizado en la comunidad de Guayabillas	
Resultados de análisis de la calidad de agua de vertiente	
Resultados de análisis de la calidad de agua del reservorio	
Datos preliminares para riego	
Cálculos de Área Bajo Riego Optimo (ABRO 3.1).	

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO III
MATERIALES Y MÉTODOS

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES