

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



**“DETERMINACIÓN DE BALANCE HÍDRICO ACTUAL Y  
MODELOS CON VARIABILIDAD DE TEMPERATURA Y  
PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA PEDAGÓGICA YESERA  
DEPARTAMENTO TARIJA”**

**Por:**

**RAFAEL SANDOVAL TAPIA**

Tesis presentada a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar el grado académico de licenciatura en Ingeniería Forestal.

Octubre del 2019

TARIJA-BOLIVIA

**V°B°**

-----  
MSc. Ing. Edwin Fernando Hiza Sánchez  
**PROFESOR GUÍA**

-----  
MSc. Ing. Henry Esnor Valdez Huanca  
**DECANO DE LA FACULTAD DE  
CIENCIAS AGRÍCOLAS Y  
FORESTALES**

-----  
MSc. Ing. Juan Oscar Hiza Zúñiga  
**VICEDECANO DE LA FACULTAD  
DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y  
FORESTALES**

**APROBADA POR:**

**TRIBUNAL**

-----  
MSc. Ing. Milton Javier Caba Olguín

-----  
MSc. Ing. Orlando Erazo Campos

-----  
MSc Ing. Fidel Ibarra Martínez.

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

## **DEDICATORIA**

Dedico este modesto trabajo a mis padres: Rafael Sandoval y Juana Tapia, a mis hermanas Soledad y Wendy y a mis abuelos que supieron darme su apoyo incondicional, me dieron su aliento, su confianza y su amor en todo momento.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradecerle a Dios por la oportunidad de la vida para seguir cumpliendo un objetivo más en mi vida.

Agradecer al proyecto de ***“Desarrollo de Capacidades Locales y Académicas en GIRH-MIC e Investigación, Acción en la Cuenca Pedagógica Yesera Municipio de Cercado - Tarija” Tarija, Bolivia 2018***”, por la oportunidad de participar en el mismo.

A mi docente guía Ing. Edwin Hiza por su enseñanza, apoyo.

A cada uno de mis tribunales por su apoyo y mis amigos y compañeros que me brindaron su amistad en este proceso.

## ÍNDICE

**Dedicatoria**  
**Agradecimiento**  
**Resumen**

**Página**

### CAPÍTULO I

<b>1.1 INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.2 JUSTIFICACIÓN</b> .....	3
<b>1.3 OBJETIVOS</b> .....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos .....	4
1.3.3 Hipótesis .....	4

### CAPÍTULO II

<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	5.
2.1 Cambio Climático .....	5.
2.1.1 Efecto invernadero .....	5.
2.1.2 Gases de efecto invernadero .....	6.
2.1.3 Variabilidad de la precipitación .....	8.
2.1.4 Variabilidad de la temperatura .....	8.
2.2 Balance Hídrico .....	9.
2.2.1 Descripción de componentes del balance hídrico .....	9.
2.2.2 Evaporación y transpiración .....	10.
2.2.3 Evapotranspiración Potencial .....	11.
2.2.4 Método de Hargreaves .....	12.
2.2.5 Temperatura .....	12.
2.2.6 Radiación solar incidente .....	13.
2.2.7 Radiación Solar Extraterrestres .....	13.
2.3 Cuenca Pedagógica .....	14.

## CAPÍTULO III

<b>III. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO</b> .....	16.
3.1 Localización de la zona de estudio .....	16.
3.2 Ubicación Geográfica .....	16.
3.3 Mapa de Ubicación .....	17.
3.4 Características biofísicas .....	18.
3.4.1 Clima .....	18.
3.4.2 Análisis de Temperaturas .....	18.
3.4.3 Precipitaciones .....	18.
3.4.4 Escurrimiento .....	19.
3.4.5 Usos actuales de los recursos hídricos .....	20.
3.4.6 Análisis de la calidad de agua .....	20.
3.4.7 Geología .....	20.
3.4.8 Fisiografía .....	22.
3.4.9 Suelos y uso de la tierra .....	23.
3.4.10 Cobertura vegetal .....	24.
3.4.11 Fauna .....	27.
3.4.12 Demografía .....	28.

## CAPÍTULO IV

<b>IV. MATERIALES, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b> .....	29.
<b>4.1 METODOLOGÍA</b> .....	29.
4.1.1 Fase de trabajo .....	30.
4.1.2 Operabilización de las Variables .....	32.
4.1.3 Procedimiento .....	34.

## CAPÍTULO V

<b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	47.
<b>5.1 BALANCE HÍDRICO ACTUAL</b> .....	47.
5.1.1. Déficit Alto .....	47.
5.1.2. Déficit Moderado .....	49.

5.1.3. Exceso Moderado .....	50.
5.1.4. Exceso Alto .....	52.
5.1.5. BALANCE POR MESES (Balance Hídrico Actual) .....	53.
<b>5.2 BALANCE HÍDRICO MODELO PESIMISTA I .....</b>	<b>56.</b>
5.2.1. Déficit Alto .....	56.
5.2.2. Déficit Moderado .....	57.
5.2.3. Exceso Moderado .....	59.
5.2.4 BALANCE POR MESES (Modelo Pesimista I) .....	60.
<b>5.3 BALANCE HÍDRICO MODELO PESIMISTA II .....</b>	<b>62.</b>
5.3.1 Déficit Alto .....	62.
5.3.2 Déficit Moderado .....	63.
5.3.3 BALANCE POR MESES (Modelo Pesimista II) .....	64.
<b>5.4. BALANCE MODELO OPTIMISTA I .....</b>	<b>67.</b>
5.4.1. Déficit Moderado .....	67.
5.4.2. Exceso Moderado .....	68.
5.4.3. Exceso Alto .....	69.
5.4.4. BALANCE POR MESES (Modelo Optimista I) .....	70.
<b>5.5. BALANCE MODELO OPTIMISTA II .....</b>	<b>73.</b>
5.5.1. Déficit Moderado .....	73.
5.5.2. Exceso Moderado .....	74.
5.5.3. Exceso Alto .....	75.
5.5.4. BALANCE POR MESES (Modelo Optimista II) .....	76.
<b>5.6. DETERMINACIÓN DE COMUNIDADES AFECTADAS POR LOS MODELO OBTENIDOS .....</b>	<b>79.</b>
5.6.1. Balance hídrico normal (Actual).....	79.
5.6.2. Balance hídrico modelos pesimista 1 .....	79.



5.6.3. Balance hídrico modelos pesimista 2.....	80.
5.6.4. Balance hídrico modelos optimista 1 .....	80.
5.6.4. Balance hídrico modelos optimista 2.....	81.

## **CAPÍTULO VI**

<b>VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>82.</b>
<b>6.1. CONCLUSIONES .....</b>	<b>82.</b>
<b>6.2. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>84.</b>
• <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>85.</b>

### **Índice de Mapas**

<b>Mapa 1. Ubicación de la cuenca yesera departamento Tarija .....</b>	<b>17.</b>
<b>Mapa 2. Balance Hídrico Actual .....</b>	<b>54.</b>
<b>Mapa 3. Balance hídrico Modelo Pesimista I .....</b>	<b>61.</b>
<b>Mapa 4. Balance hídrico Modelo Pesimista II .....</b>	<b>66.</b>
<b>Mapa 5. Balance Hídrico Modelo Optimista I .....</b>	<b>72.</b>
<b>Mapa 6. Balance Hídrico Modelo Optimista II .....</b>	<b>78.</b>

### **Índice de figuras**

<b>Figura 1. Organigrama del trabajo establecido .....</b>	<b>31.</b>
<b>Figura 2. Ejemplo de “Raster Calculator” .....</b>	<b>33.</b>
<b>Figura 3. Crear Polígono .....</b>	<b>35.</b>
<b>Figura 4. Descarga de datos del WorldClim .....</b>	<b>36.</b>
<b>Figura 5. Parámetro de precipitación .....</b>	<b>37.</b>
<b>Figura 6. Parámetro Temperatura Máxima .....</b>	<b>37.</b>

<b>Figura 7. Parámetro Temperatura Media</b> .....	38.
<b>Figura 8. Parámetro Temperatura Mínima</b> .....	38.
<b>Figura 9. Determinación de Radiación Solar Extraterrestre</b> .....	39.
<b>Figura 10. Cálculo de la radiación solar incidente</b> .....	40.
<b>Figura 11. Obtención de la Radiación solar Incidente</b> .....	40.
<b>Figura 12. Cálculo de la Evapotranspiración Potencial</b> .....	41.
<b>Figura 13. Obtención de la Evapotranspiración Potencial</b> .....	42.
<b>Figura 14. Cálculo del balance hídrico Actual</b> .....	43.

### Índice de Tablas

<b>Tabla 1. Descripción geológica</b> .....	21.
<b>Tabla 2. Especies Gramíneas</b> .....	24.
<b>Tabla 3. Cobertura vegetal</b> .....	26.
<b>Tabla 4. Especies forestales</b> .....	26.
<b>Tabla 5. Especies consideradas con influencia positiva por los pobladores de la cuenca</b> .....	27.
<b>Tabla 6. Fauna</b> .....	27.
<b>Tabla 7. Escenarios de Balance Hídrico</b> .....	44.
<b>Tabla 8. Clases de riesgo para el balance hídrico actual</b> .....	47.
<b>Tabla 9. Resumen del subtítulo “Déficit Alto”</b> .....	48.
<b>Tabla 10. Resumen del subtítulo “Déficit Moderado”</b> .....	49.
<b>Tabla 11. Resumen del subtítulo “Exceso Moderado”</b> .....	51.
<b>Tabla 12. Resumen del subtítulo “Exceso Alto”</b> .....	52.
<b>Tabla 13. Clases de riesgo para el balance hídrico M.P.I</b> .....	56.

<b>Tabla 14. Resumen del subtítulo “Déficit Alto”</b>	57.
<b>Tabla 15. Resumen del subtítulo “Déficit Moderado”</b>	58.
<b>Tabla 16. Resumen del subtítulo “Exceso Moderado”</b>	59.
<b>Tabla 17. Clases de riesgo para el balance hídrico M.P.II</b>	62.
<b>Tabla 18. Resumen del subtítulo “Déficit Alto”</b>	63.
<b>Tabla 19. Resumen del subtítulo “Déficit Moderado”</b>	64.
<b>Tabla 20. Clases de riesgo para el balance hídrico M.O.I</b>	67.
<b>Tabla 21. Resumen del subtítulo “Déficit Moderado”</b>	68.
<b>Tabla 22. Resumen del subtítulo “Exceso Moderado”</b>	69.
<b>Tabla 23. Resumen del subtítulo “Exceso Alto”</b>	70.
<b>Tabla 24. Clases de riesgo para el balance hídrico M.O.II</b>	73.
<b>Tabla 25. Resumen del subtítulo “Déficit Moderado”</b>	74.
<b>Tabla 26. Resumen del subtítulo “Exceso Moderado”</b>	75.
<b>Tabla 27. Resumen del subtítulo “Exceso Alto”</b>	76.
<b>Tabla 28. Resumen de comunidades afectadas mediante clases de riesgo...</b>	79.
<b>Tabla 29. Resumen de comunidades afectadas mediante clases de riesgo:</b>	
<b>(Modelo Pesimista I).</b>	79.
<b>Tabla 30. Resumen de comunidades afectadas mediante clases de riesgo:</b>	
<b>(Modelo Pesimista II).</b>	80.
<b>Tabla 31. Resumen de comunidades afectadas mediante clases de riesgo:</b>	
<b>(Modelo Optimista I).</b>	80.
<b>Tabla 32. Resumen de comunidades afectadas mediante clases de riesgo:</b>	
<b>(Modelo Optimista II).</b>	81.

## Índice de Anexos

### ANEXO I (Cuadros)

**Cuadro 1.** Datos obtenidos para determinar la radiación solar incidente, evapotranspiración potencial mediante la plataforma de WORLDCLIM.

**Cuadro 2.** Resultados obtenidos de balance hídrico actual.

**Cuadro 3.** Datos obtenidos mediante datos del balance hídrico actual con una variación de precipitación “PESIMISTA I” (-25%) y la temperatura (+1 °C).

**Cuadro 4.** Resultados obtenidos para el modelo pesimista 1 con una variación de precipitación “PESIMISTA I” (-25%) y la temperatura (+1 °C).

**Cuadro 5.** Datos obtenidos mediante datos del balance hídrico actual con una variación de precipitación “PESIMISTA II” (-50 %) y la temperatura (+1 °C).

**Cuadro 6.** Resultados obtenidos para el modelo pesimista 1 con una variación de precipitación “PESIMISTA II” (-50 %) y la temperatura (+1 °C).

**Cuadro 7.** Datos obtenidos mediante datos del balance hídrico actual con una variación de precipitación “OPTIMISTA I” (+25 %) y la temperatura (+1 °C).

**Cuadro 8.** Resultados obtenidos para el modelo pesimista 1 con una variación de precipitación “OPTIMISTA I” (+25 %) y la temperatura (+1 °C).

**Cuadro 9.** Datos obtenidos mediante datos del balance hídrico actual con una variación de precipitación “OPTIMISTA II” (+50 %) y la temperatura (+1 °C).

**Cuadro 10.** Resultados obtenidos para el modelo pesimista 1 con una variación de precipitación “OPTIMISTA II” (+50 %) y la temperatura (+1 °C).

### ANEXO II (Fotos)

**Foto 1.** Imágenes de presas de captación y almacenamiento de agua en Chiguaypolla donde va disminuyendo el déficit de alto a medio.

**Foto 2.** Imágenes de agricultura en la comunidad de Yesera San Sebastián de riego a inundación produciendo un déficit regular.

**Foto 3.** Agricultura en la comunidad de Yesera Centro mediante riego de inundación produciendo un déficit medio.

**Foto 4.** Agricultura en la comunidad de Chiguaypolla mediante riego proporcionado por la presa y produciendo el déficit medio en la misma.

**Foto 5.** Agricultura en la comunidad de Caldera Grande donde existe un exceso medio.

**Foto 6.** Vegetación arbustiva en la parte alta de la cuenca donde predomina la tola (*Paratrephia lepidophylla*).

**Foto 7.** Imágenes de plantación introducida de pino (*Pinus radiata*) en la comunidad de Yesera San Sebastián.

**Foto 8.** Imágenes de la vegetación en la comunidad de Chiguaypolla donde el déficit va disminuyendo.

**Foto 9.** Vegetación en la comunidad de Yesera Norte donde predomina el Churqui (*Acacia caven*) donde disminuye el déficit medio.

**Foto 10.** Imágenes de constante vegetación en la comunidad de Caldera Grande donde el exceso es moderado.

**Foto 11.** Pequeños reservorios de agua que aportan a las presas en la comunidad de Caldera Grande.

**Foto 12.** Imágenes de las presas en Caldera Grande donde son un gran aportante de agua y hace que haya un exceso medio.

**Foto 13.** Imágenes de pequeños cuerpos de agua, presas y demás.

### **ANEXO III (Gráficos)**

**Gráfico 1.** Diagrama climático del balance hídrico actual donde nos muestra los meses aportantes de agua (diciembre, enero, febrero), y los demás meses hay déficit según el mismo.

**Gráfico 2.** Diagrama Climático del modelo pesimista 1 donde nos muestra que solo los meses enero y febrero lo cual disminuye los meses aportantes de agua.

**Gráfico 3.** Diagrama Climático del modelo pesimista 2 donde nos muestra que no hay meses aportantes de agua y que el déficit se hace presente en todos los meses.

**Gráfico 4.** Diagrama Climático del modelo optimista 1 donde nos muestra que aumentan los meses aportantes de agua (noviembre, diciembre, enero, febrero), y el déficit está en los meses restantes.

**Gráfico 5.** Diagrama Climático del modelo optimista 2 donde nos muestra que aumentan los meses aportantes de agua (noviembre, diciembre, enero, febrero), y el déficit está en los meses restantes.