

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“MODELACIÓN HIDRÁULICA CON EL SOFTWARE IBER EN EL RÍO
SAN JUAN DEL ORO PARA DETERMINAR ZONAS DE RIESGO DE
INUNDACIÓN EN EL DISTRITO RURAL VI DEL MUNICIPIO DE
TUPIZA”**

Por:

BERNARDO URZAGASTE OCAMPO

Proyecto de grado 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

DEDICATORIA

A mi madre, (María Ocampo) por su amor incondicional, su fuerza y guía constante en cada paso de este camino.

Al padre Alessandro y a la comunidad La Colmena Santa Rita, por su apoyo espiritual y acompañamiento sincero.

Índice de contenido

1.	Generalidades.....	1
1.1.	Antecedentes.....	1
1.2.	Descripción del problema.....	3
1.2.1.	Planteamiento del problema.....	3
1.2.2.	Formulación del problema	3
1.2.3.	Sistematización del problema	4
1.3.	Objetivos.....	4
1.3.1.	Objetivo general	4
1.3.2.	Objetivos específicos	4
1.4.	Justificación.....	5
1.4.1.	Justificación teórica.....	5
1.4.2.	Justificación metodológica.....	5
1.4.3.	Justificación práctica	5
1.5.	Hipótesis.....	6
1.6.	Alcance.....	6
1.7.	Delimitación del Estudio	7
1.7.1.	Área geográfica de estudio.....	7
1.7.2.	Alcances técnicos y temporales	7
1.7.3.	Limitaciones del estudio	8
2.	Marco de referencia.....	10
2.1.	Marco teórico.....	10
2.1.1.	Introducción a la modelación hidráulica	10
2.1.2.	Importancia en el análisis y gestión de sistemas fluviales	10
2.1.3.	Aplicaciones comunes en ingeniería civil.....	11

2.1.4.	Fundamentos de hidráulica fluvial	12
2.1.5.	Ecuaciones básicas para la modelación hidráulica.....	15
2.1.6.	Condiciones iniciales y de contorno	24
2.1.7.	Modelos hidráulicos en 1D y 2D	26
2.1.8.	Parámetros necesarios para la modelación.....	29
2.1.9.	Inundación.....	30
2.1.10.	Consecuencias de las inundaciones	30
2.1.11.	Obras de defensa fluvial	30
2.1.12.	Periodo de diseño para el diseño de obras de defensa fluvial	31
2.2.	Marco conceptual	33
2.2.1.	Modelo bidimensional (2D)	33
2.2.2.	Zonas de amortiguamiento.....	33
2.2.3.	Dominio de simulación:	33
2.2.4.	Restauración fluvial	33
2.2.5.	Malla de cálculo	34
2.2.6.	Paso de tiempo (time step)	34
2.2.7.	Modelo digital del terreno (MDT)	34
2.3.	Marco espacial.....	35
2.3.1.	Ubicación	35
2.4.	Marco temporal	36
2.4.1.	Periodo de estudio	36
3.	Diagnóstico de la zona de estudio	37
3.1.	Ubicación geográfica y características generales de la zona.....	37
3.2.	Antecedentes históricos de inundaciones y vulnerabilidad de la zona.....	38
3.3.	Causas principales de las inundaciones.....	40

3.4.	Consecuencias sociales y económicas.....	41
3.5.	Propósito del diagnóstico	42
3.6.	Limitaciones y contratiempos comunes	42
4.	Estudio hidrológico	43
4.1.1.	Ubicación geográfica de la cuenca, río San Juan del Oro	43
4.1.2.	Delimitación de la cuenca	44
4.1.3.	Determinación de parámetros morfológicos de la cuenca	45
4.1.4.	Parámetros Hidrológicos de la cuenca	46
4.2.	Información meteorológica	48
4.3.	Precipitaciones de diseño	54
4.4.	Estimación de caudales máximos de diseño con el modelo Hec-Hms.....	60
4.4.1.	Caudales máximos para diferentes periodos de retorno.....	60
4.5.	Caudales instantáneos registrados en la estación hidrométrica Chuquiago .	63
4.5.1.	Caudales instantáneos para diferentes periodos de retorno.....	63
4.6.	Validación de caudales estimados con el modelo HEC-HMS y la estación Chuquiago.	64
4.6.1.	Comparación de caudales máximos instantáneos vs caudales estimados con modelo Hec-Hms.....	66
4.6.2.	Análisis comparativo de caudales observados vs caudales simulados..	68
5.	Estudio hidráulico	69
5.1.	Información topográfica del río en la zona de estudio	69
5.2.	Construcción del modelo digital de elevación.....	70
5.3.	Modelamiento hidráulico utilizando el Software Iber 2.5.2.....	70
5.3.1.	Formato de archivos compatible con Iber 2.5.2	70
5.3.2.	Datos de entrada al modelo Iber 2.5.2.....	70
5.3.3.	Simulación hidráulica en el río San Juan del Oro con Iber 2.5.2.....	71

5.3.4.	Validación del modelo Iber	74
5.4.	Resultados e interpretación.....	75
5.4.1.	Resultados	75
5.4.2.	Interpretación de resultados	75
5.5.	Generación de mapas de inundación	77
5.6.	Justificación de obras de protección para cultivos	81
6.	Propuesta diseño de obras de protección fluvial como alternativa de control de futuros eventos hidrológicos extremos.....	82
6.1.	Diseño de muros de gaviones longitudinales	82
6.1.1.	Estimación de la profundidad de socavación	84
6.1.2.	Determinación de la profundidad de fundación de los muros protección 85	
6.2.	Dimensiones finales del muro de gavión.....	88
6.3.	Análisis de estabilidad de los muros	89
6.4.	Presupuesto general de las obras de protección	92
7.	Conclusiones y recomendaciones	94
7.1.	Conclusiones.....	94
7.2.	Recomendaciones	95

Referencias bibliográficas

Anexos

Anexo A. Caracterización de la cuenca

Anexo B. Información meteorológica.

Anexo C. Estimación de la precipitación máxima de la cuenca río San Juan del Oro.

Anexo D. Estimación de caudales máximos en el modelo hidrológico HEC-HMS.

Anexo E. Estimación de la profundidad de socavación.

Anexo F. Planos de los muros de contención.

Anexo G. Presupuesto general de las obras de protección.

Anexo H. Reporte fotográfico del levantamiento topográfico en la zona de estudio.

Anexo I. Obras de protección existentes en la zona evaluada.

Índice de tablas

Tabla 1-1. Identificación de terrenos en el área de estudio.....	7
Tabla 2-1 Valores recomendados de coeficiente de Manning para cauces naturales.	23
Tabla 2-2 Comparación modelo 1D vs 2D.	26
Tabla 2-3 Modelos Hidráulicos recomendados según el tipo de estudio.....	28
Tabla 2-4. Parámetros de entrada para modelación hidráulica con Iber 2D.	29
Tabla 2-5. Periodo de diseño de acuerdo al uso de las obras de protección fluvial en Bolivia.	31
Tabla 3-1. Datos climatológicos de la zona evaluada.	37
Tabla 4-1. Distribución de municipio y comunidades dentro la cuenca en la parte boliviana.....	43
Tabla 4-2. Distribución de provincias y departamentos en el lado argentino.	43
Tabla 4-3. Unidades hidrográficas dentro la cuenca del río San Juan del Oro	44
Tabla 4-4. Datos necesarios para determinar el tiempo de concentración.	46
Tabla 4-5. Resultados del tiempo de concentración.....	47
Tabla 4-6. Estaciones meteorológicas más cercanas a la cuenca del río S.J.O.	48
Tabla 4-7. Estaciones meteorológicas más representativas en la cuenca del R.S.J.O.	49
Tabla 4-8. Precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones seleccionadas.	50
Tabla 4-9. Precipitaciones máximas en 24hr para diferentes (T).....	52
Tabla 4-10. Precipitaciones máximas en 24 hrs de la cuenca.	53
Tabla 4-11. Precipitación en 24 horas desagregada cada hora.....	55
Tabla 4-12. Intensidad de precipitación por cada hora.	56
Tabla 4-13. Hietograma de diseño método bloques alternos.	57
Tabla 4-14. Caudales máximos del río San Juan del Oro para diferentes periodos de retorno.	62
Tabla 4-15. Caudales máximos instantáneos en la estación Chuquiago.	63
Tabla 4-16. Caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno.	63
Tabla 4-17. Eventos de caudales instantáneos extremos en río San Juan del Oro.....	64
Tabla 4-18. Precipitaciones máximas observadas el día del evento.	64
Tabla 4-19. Precipitaciones máximas en la cuenca el día de los eventos.	65
Tabla 4-20. Hietogramas de precipitación de diseño para los 3 eventos.	65

Tabla 4-21. Caudales máximos modelados con precipitaciones del día que sucedieron los 3 eventos.....	66
Tabla 4-22. Caudales máximos con modelo HEC-HMS vs caudales en la estación Chuquiago.	66
Tabla 4-23. Comparación de caudales máximos registrados en los 3 eventos vs los modelados con HEC-HMS para cada evento.....	67
Tabla 4-24. Caudales máximos registrados en los 3 eventos vs los modelados con HEC-HMS para cada evento.....	67
Tabla 5-1. Uso de suelo en la zona de estudio y asignación de rugosidades.	71
Tabla 5-2. Resumen de resultados de la modelación hidráulica río San Juan del Oro.	75
Tabla 6-1. Ubicación y altura de gaviones de todos los tramos.....	83
Tabla 6-2. Socavación en los tramos de inundación.	86
Tabla 6-3. Profundidad de fundación de los muros de protección.....	87
Tabla 6-4. Datos seleccionados en función de las características del suelo.....	89
Tabla 6-5. Peso total del muro ($L = 1\text{m}$).....	91
Tabla 6-6. Cálculos métricos de los muros de protección.	92
Tabla 6-7. Materiales y mano de obra.....	92
Tabla 6-8. Presupuesto por ítems y general de la obra.	93

Índice de figuras

Figura. 1-1. Inundaciones y pérdidas de cultivo en zona de estudio.....	2
Figura. 2-1 Simulación realista de condiciones iniciales en la modelación hidráulica.	24
Figura. 2-2 Condiciones de contorno en la modelación hidráulica.....	25
Figura. 2-3. Ubicación gráfica de la zona de estudio.....	35
Figura. 3-1. Secuencia de imágenes satelitales de la zona de estudio 2006, 2011, 2023.....	38
Figura. 3-2. Destrucción del puente de Chuquiago año 2011.	39
Figura. 3-3. crecida del río destruye puente vehicular e inunda cultivos.....	40
Figura. 3-4. Ausencia de obras de protección en la zona estudiada (Tomatas).	41
Figura. 4-1. Cuenca del río San Juan del Oro	45
Figura. 4-2. Numero de curva de acuerdo al tipo de suelo y cobertura vegetal de la cuenca.....	48
Figura. 4-3. Ubicación de las estaciones seleccionadas en la cuenca río S.J.O.	50
Figura. 4-4. Polígonos de Thiessen.	54
Figura. 4-5. Curvas IDF para diferentes periodos de retorno.	56
Figura. 4-6. Hietograma de diseño para 2 años de retorno.	57
Figura. 4-7. Hietograma de diseño para 5 años de retorno.	58
Figura. 4-8. Hietograma de diseño para 10 años de retorno.	58
Figura. 4-9. Hietograma de diseño para 25 años de retorno.	58
Figura. 4-10. Hietograma de diseño para 50 años de retorno.	59
Figura. 4-11. Hietograma de diseño para 75 años de retorno.	59
Figura. 4-12. Hietograma de diseño para 100 años de retorno.	59
Figura. 4-13. Hietograma de diseño para 200 años de retorno.	60
Figura. 4-14. Ingreso del hietograma de diseño al modelo Hec-Hms.....	61
Figura. 4-15. Caudal máximo determinado por el modelo Hec-Hms.....	61
Figura. 4-16. Hietograma de precipitación, infiltración e Hidrograma de salida.	61
Figura. 4-17. Hidrogramas de crecidas para diferentes periodos de retorno.	62
Figura. 4-18. Hietograma de precipitación de diseño para el evento 1.....	66
Figura. 4-19. Gráfica de comparación de caudales estimados vs medidos.	67

Figura. 5-1. Área de terreno con topografía.....	69
Figura. 5-2. Asignación de coeficientes de rugosidad a los suelos en la zona de estudio.	71
Figura. 5-3. Visualización de la ventana de Iber con la malla de la superficie.....	72
Figura. 5-4. Visualización de rugosidades en los tipos de suelo en la zona estudiada.	72
Figura. 5-5. Condiciones de contorno hidrodinámica para el tramo del río San Juan del Oro.....	73
Figura. 5-6. Tirantes máximos para un T = 75 años.	73
Figura. 5-7. Velocidades máximas para un T= 75 años.....	73
Figura. 5-8. Caudal específico ($m^2/s.m$) para un T = 75 años.....	74
Figura. 5-9. Validación del modelo Iber.	74
Figura. 5-10. Mapa de áreas de inundación para un T = 2 años.	77
Figura. 5-11. Mapa de áreas de inundación para un T = 5 años.	78
Figura. 5-12. Mapa de áreas de inundación para un T = 10 años.	78
Figura. 5-13. Mapa de áreas de inundación para un T = 25 años.	79
Figura. 5-14. Mapa de áreas de inundación para un T = 50 años.	79
Figura. 5-15. Mapa de áreas de inundación para un T = 75 años.	80
Figura. 5-16. Mapa de áreas de inundación para un T = 100 años.	80
Figura. 5-17. Mapa de áreas de inundación para un T = 200 años.	81
Figura. 6-1. Ubicación de los gaviones de protección en el río San Juan del Oro.....	82
Figura. 6-2. resultado se la simulación para un T = 75 años con obras de protección.	83
Figura. 6-3. Gráfico de la profundidad de socavación con respecto al lecho del río. .	85
Figura. 6-4. Dimensiones del muro de gavión tramo 1 (1-B).	88
Figura. 6-5. Dimensiones del muro (tramo 2, 3 y 4).....	91