

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL



TESIS DE GRADO

**ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS PARA PREVENCIÓN
DE INUNDACIONES EN CAUCE DEL ÁREA URBANA DE
YACUIBA, APLICANDO EL MODELO HIDROLÓGICO HEC –
RAS**

Por:

MEIBEL GISELLE CLEMENTE EVANGELISTA

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

**GESTIÓN 2025
TARIJA – BOLIVIA**

Vº Bº

.....
M.Sc. Ing. Juan Oscar Hiza Zúñiga
PROFESOR 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:
TRIBUNAL:

.....
M.Sc. Ing. Orlando Erazo Campos
TRIBUNAL

.....
M.Sc. Ing. Edwin Fernando Hiza Sánchez
TRIBUNAL

.....
M.Sc. Ing. Luis Arandia Mendivil
TRIBUNAL

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

DEDICATORIA

A mi madre, el pilar de mi vida: tu fe inquebrantable me da la confianza para nunca rendirme. Gracias por guiarme, inculcarme el lado bueno de la vida y ser una gran madre y amiga.

A mis hermanas y hermano: a Emilsen, por su ejemplo y actitud positiva; a Danitza, por sus ánimos constantes y apoyo en cada etapa; y a Darwin, por su alegría y cuidado. Su unión y amor son mi refugio.

A la memoria de mi padre. Tu buena chispa siempre la recuerdo, al igual que tus consejos para esmerarme ante cualquier circunstancia; con la certeza de que, desde donde me cuidas, sonríes orgulloso de este logro.

A mis sobrinos: Daymel, Dana, Itza, Sebastián, Thiago y Elian. Mis eternos niños, gracias por sus sonrisas. A Brandon, nuestro pequeño, que vive por siempre en nuestra memoria.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la fortaleza, la salud y la resiliencia para afrontar los momentos difíciles y permitirme culminar con éxito esta etapa de mi vida.

A la facultad y a cada uno de mis docentes, por su valiosa guía, exigencia y por transmitirle rigor a mi formación profesional.

A mis compañeros y amigos, por el apoyo mutuo, las largas jornadas de estudio y por tantas experiencias agradables compartidas.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN.....	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
OBJETIVOS.....	4
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos	4
HIPÓTESIS	4

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
1.1	Hidrología y el ciclo hidrológico en cuencas urbanas	5
1.2	Conceptos de caudal y balance hídrico	5
1.3	Dinámica de las inundaciones urbanas	5
1.4	Gestión del riesgo y vulnerabilidad.....	5
1.5	Análisis estadístico de valores extremos.....	6
1.6	El tiempo de concentración (T_c).....	6
1.7	El Método Racional para la estimación de caudales	7
1.8	Desagregación de la precipitación (método de Campos Aranda)	7
1.9	Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF).....	8
1.10	Modelación con HEC-RAS y ArcGIS	8

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2	MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
2.1	Zona De Estudio.....	10
2.1.1	Ubicación	10
2.1.2	Características Generales De La Zona De Estudio	12
2.1.3	Características Climáticas	13
2.1.4	Características Bióticas	14
2.1.5	Aspectos Demográficos Y Socioeconómicos	17
2.2	MATERIALES	18
2.2.1	Materiales de Campo.....	18
2.2.2	Materiales de gabinete.....	18
2.2.3	Software:	18
2.3	Enfoque y Diseño Metodológico	18
2.3.1	Operacionalización de Variables.....	18
2.3.2	Fases del Procedimiento Técnico.....	19

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
3.1	Resultados	23
3.1.1	Análisis hidrológico y estimación de caudales máximos de diseño	23
3.1.2	Simulación hidráulica y análisis de la mancha de inundación.....	26
3.1.3	Propuestas de medidas de mitigación y prevención.....	35
3.2	Discusión.....	38
3.2.1	Dinámica hidrológica y la alteración del coeficiente de escorrentía.....	38
3.2.2	Comportamiento hidráulico y el efecto de remanso por rugosidad urbana	39
3.2.3	Justificación ecológico-forestal de la restauración del entorno ripario...	40

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
4.1	Conclusiones	42
4.2	Recomendaciones.....	44
	BIBLIOGRAFIA	45
	ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Ubicación de la Zona de Estudio	11
Figura 2. Climograma de la estación Yacuiba: Precipitación media mensual y temperatura media (1956-2018).	14
Figura 3. Mapa de zonificación del área de interés, delimitación de la microcuenca de aporte urbano directo ($A = 9.97$ ha) y tramo crítico de estudio en los barrios Chaqueño y Aserradero.	28
Figura 4. Mapa de mancha de inundación y tirantes hidráulicos para un periodo de retorno de 10 años en el área urbana de la quebrada internacional Yacuiba	30
Figura 5. Mapa de mancha de inundación y tirantes hidráulicos para un periodo de retorno de 50 años en los barrios Chaqueño y Aserradero.	32
Figura 6. Mapa de mancha de inundación para el escenario crítico de un periodo de retorno de 100 años e invasión del flujo sobre el tejido urbano consolidado	34
Figura 7. Evidencia de socavamiento lateral y desplome de vegetación inestable en la margen urbana (Barrio Chaqueño).	36
Figura 8. Detalle de inestabilidad de taludes y pérdida de cobertura vegetal en la margen natural de la quebrada.	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especies vegetales representativas en el municipio de Yacuiba y su entorno.	15
Tabla 2. Fauna representativa del municipio de Yacuiba.	16
Tabla 3. Población comparativa del municipio de Yacuiba (Censos 2012 - 2024). ...	17
Tabla 4. Matriz de operacionalización de variables para la estimación de caudales y delimitación de áreas de inundación.	19
Tabla 5. Precipitaciones máximas proyectadas para diferentes periodos de retorno. 23	
Tabla 6. Resultados de la relación Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF)	24
Tabla 7. Resumen de caudales máximos para diferentes periodos de retorno.	26
Tabla 8. Superficie urbana afectada por inundación según el periodo de retorno.....	29

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Evidencia de procesos de erosión hídrica superficial en la red vial colindante a la Quebrada Internacional

Anexo 2 Evidencia de procesos de erosión en surcos en la plataforma urbana del sector.

Anexo 3 Acumulación antropogénica de residuos sólidos y restos vegetales en el margen de la quebrada.

Anexo 4 Estado de saturación y pérdida de transitabilidad en la vía principal de acceso durante el periodo de precipitaciones.

Anexo 5 Proceso de socavamiento lateral severo y desprendimiento de talud en el margen consolidado del Barrio Chaqueño.

Anexo 6 Caracterización granulométrica del lecho menor e introducción de elementos antropogénicos.

Anexo 7 Condición de la vegetación herbácea en la llanura de inundación ordinaria.

Anexo 8 Depósitos de biomasa vegetal flotante y obstrucciones mecánicas en los márgenes del flujo.

Anexo 9 Configuración topográfica de las vías urbanas como canales de concentración de escorrentía superficial.

Anexo 10 Evidencia de vulnerabilidad estructural extrema en la infraestructura habitacional por pérdida de soporte geotécnico.

Anexo 11 Resumen Climatológico de SENAMHI Para el Periodo (1949 - 2017)

Anexo 12 Valores estimados de precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno (T).

Anexo 13 Matriz de desagregación de precipitación acumulada e intensidades máximas por periodos de retorno.

Anexo 14 Valores de referencia para la selección del coeficiente de rugosidad de Manning (n).

Anexo 15 Valores normativos del coeficiente de escorrentía (C) para el Método Racional.

Anexo 16 Valores de referencia del coeficiente de escorrentía según Ven Te Chow (1959).