

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“Evaluación del impacto de un sistema de drenaje
implementado mediante el software SWMM para la mitigación
de inundaciones en la av. Raimondi -Tingo María, 2024”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL**

AUTOR: Céspedes Estela, Elvis Paul

ASESORA: Arteaga Espinoza, Ingrid Delia Dignarda

HUÁNUCO - PERÚ

2025

U

D

H

**TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:**

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Hidráulica**AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN** (2020)**CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:****Área:** Ingeniería, Tecnología**Sub área:** Ingeniería civil**Disciplina:** Ingeniería civil**DATOS DEL PROGRAMA:**

Nombre del Grado/Título a recibir: Título Profesional de Ingeniero Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 73450419

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 73645168

Grado/Título: Máster en dirección de proyectos

Código ORCID: 0009-0001-0745-5433

DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Malpartida Valderrama, Yenerit Pamela	Grado de magíster en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	22516875	0000-0003-2705-4300
2	Trujillo Ariza, Yelen Lisseth	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	70502371	0000-0002-5650-3745
3	Cecilio Reyes, Fatima Rosaria	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	47064856	0009-0001-5016-5538



UNIVERSIDAD DE HUANUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) CIVIL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 18:00 horas del día **lunes 13 de octubre de 2025**, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los Jurados Calificadores integrado por los docentes:

- | | |
|--|------------|
| ❖ MG. YENERIT PAMELA MALPARTIDA VALDERRAMA | PRESIDENTE |
| ❖ MG. YELEN LISSTEH TRUJILLO ARIZA | SECRETARIA |
| ❖ MG. FATIMA ROSARIA CECILIO REYES | VOCAL |

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN No 2091-2025-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: "EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE UN SISTEMA DE DRENAJE IMPLEMENTADO MEDIANTE EL SOFTWARE SWMM PARA LA MITIGACIÓN DE INUNDACIONES EN LA AV. RAIMONDI - TINGO MARÍA, 2024", presentado por el (la) Bachiller. Bach. Elvis Paul CESPEDES ESTELA, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) Aprobado por Unanimidad con el calificativo cuantitativo de 11 y cualitativo de Suficiente (Art. 47).

Siendo las 19:00 horas del día **13 del mes de octubre del año 2025**, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

MG. YENERIT PAMELA MALPARTIDA VALDERRAMA
DNI: 22516875
ORCID: 0000-0003-2705-4300

PRESIDENTE

MG. YELEN LISSTEH TRUJILLO ARIZA
DNI: 70502371
ORCID: 0000-0002-5650-3745

SECRETARIO (A)

MG. FATIMA ROSARIA CECILIO REYES
DNI: 47064856
ORCID: 0009-0001-5016-5538

VOCAL



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: ELVIS PAUL CESPEDES ESTELA, de la investigación titulada "EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE UN SISTEMA DE DRENAJE IMPLEMENTADO MEDIANTE EL SOFTWARE SWMM PARA LA MITIGACIÓN DE INUNDACIONES EN LA AV. RAIMONDI - TINGO MARÍA, 2024", con asesor(a) INGRID DELIA DIGNARDA ARTEAGA ESPINOZA, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 1236-2024-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 9 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 23 de octubre de 2025



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

3. CESPEDS ESTELA ELVIS PAUL.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%	9%	3%	3%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
4	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%
5	repository.javeriana.edu.co Fuente de Internet	<1%



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida y la oportunidad de superación y aprendizaje, siendo pieza fundamental en nuestras vidas.

Con todo mi cariño y amor a mis padres y para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis metas y sueños, por motivarme cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y agradecimiento.

AGRADECIMIENTO

A Dios todopoderoso, fuente de sabiduría y fortaleza, te elevo mi más sincero agradecimiento por haberme concedido la oportunidad de culminar este proyecto de investigación. Tu infinita bondad me ha acompañado en cada paso del camino, iluminando mi mente y fortaleciendo mi espíritu para enfrentar los desafíos que se presentaron.

A mis docentes de la universidad, por haber compartido sus conocimientos y experiencias durante mi formación profesional.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
INTRODUCCIÓN	X
CAPÍTULO I.....	12
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	12
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	12
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	13
1.2.1 PROBLEMA GENERAL.....	13
1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS	13
1.3 OBJETIVO GENERAL.....	13
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.7 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
CAPÍTULO II.....	16
MARCO TEÓRICO	16
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	16
2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	16
2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES	17
2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES	17
2.2 BASES TEÓRICAS	18
2.2.1 INTRODUCCIÓN A LA PROBLEMÁTICA DE INUNDACIONES Y DRENAJE URBANO	18
2.2.2 ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN	30
2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES	40
2.4 HIPÓTESIS.....	41
2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL	41

2.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	41
2.5 VARIABLES.....	42
2.5.1 VARIABLE DEPENDIENTE.....	42
2.5.2 VARIABLE INDEPENDIENTE	42
2.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	43
CAPÍTULO III.....	44
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	44
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	44
3.1.1 ENFOQUE.....	44
3.1.2 ALCANCE O NIVEL	44
3.1.3 DISEÑO.....	44
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	45
3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	45
3.4 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	47
CAPÍTULO IV.....	48
RESULTADOS.....	48
4.1 PROCESAMIENTO DE DATOS	48
4.2 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.....	70
CAPÍTULO V.....	74
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	74
CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES.....	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
ANEXOS.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables	43
Tabla 2 Hoja de registro de observación.	46
Tabla 3 Datos de la ubicación de la investigación	48
Tabla 4 Caracterización geométrica de las cuencas.....	50
Tabla 5 Consideraciones de investigación.....	52
Tabla 6 Caracterización de los puntos georreferenciados	53
Tabla 7 Registros de precipitación Estación Tingo María	54
Tabla 8 Prueba de bondad	58
Tabla 9 Valores de lluvia en diferentes periodos de retorno	59
Tabla 10 Lluvias en diferentes duraciones.....	59
Tabla 11 Estimación de los coeficientes de la curva de intensidad	60
Tabla 12 Valores de IDF para la cuenca.....	60
Tabla 13 Consideraciones geométricas del modelo	63
Tabla 14 Estimación de sección de canal	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación específica del tramo de interés	48
Figura 2 Definición de cuencas urbanas.....	49
Figura 3 Identificación de sección de vía de interés	50
Figura 4 Estimación de capacidad de caudal para red de alcantarillado	51
Figura 5 Plano topográfico de canal existente	51
Figura 6 Identificación de las estaciones meteorológicas cercanas.....	52
Figura 7 Valores de precipitación máximas	56
Figura 8 Valores de precipitación promedio mensual	56
Figura 9 Aplicación de la prueba de datos dudosos	57
Figura 10 Análisis visual doble masa.....	58
Figura 11 Curva IDF para la zona de estudio	61
Figura 12 Hietograma de diseño.....	62
Figura 13 Modelo topológico base	62
Figura 14 Modelo geométrico de la zona SWMM	63
Figura 15 Parámetros de confiabilidad	64
Figura 16 Estado inicial de la simulación	64
Figura 17 Estado intermedio de simulación	65
Figura 18 Perfil longitudinal de estado intermedio	65
Figura 19 Estado de descarga de simulación.	66
Figura 20 Perfil de descarga crítica	66
Figura 21 Identificación de punto crítico	67
Figura 22 Reporte de caudales SWMM.....	67
Figura 23 Perfil longitudinal mejorado.....	69
Figura 24 Plano topográfico del canal propuesto.....	69
Figura 25 Perfil longitudinal de estado crítico	70
Figura 26 Perfil longitudinal mejorado.....	71
Figura 27 Perfil longitudinal de estado crítico	71
Figura 28 Modelo con incremento de tirante de conducto	72
Figura 29 Definición de cuencas urbanas.....	73

RESUMEN

El trabajo de investigación aborda el problema de las inundaciones urbanas exacerbado por el cambio climático, especialmente en Tingo María, donde las lluvias intensas afectan tanto la infraestructura vial como la calidad de vida de los habitantes. A través del modelo SWMM (Storm Water Management Model), este estudio propone evaluar la viabilidad de un sistema de drenaje para mitigar la acumulación de agua en puntos críticos de la avenida Raimondi, una de las zonas más vulnerables de la ciudad. Se busca identificar las causas de las inundaciones recurrentes y analizar cómo la implementación del sistema de drenaje contribuiría a mejorar la durabilidad de la infraestructura vial, optimizando su capacidad para resistir eventos climáticos extremos. Para ello, se utilizará una metodología cuantitativa, basada en la simulación del comportamiento hidráulico del sistema de drenaje mediante SWMM y la recolección de datos históricos y actuales sobre precipitaciones y condiciones del terreno. Los resultados esperados permitirán evaluar el impacto de la intervención y proporcionar recomendaciones para mejorar la resiliencia urbana frente a inundaciones. De esta manera, la investigación no solo contribuirá al conocimiento técnico, sino que también ofrecerá soluciones prácticas para la gestión del agua pluvial en Tingo María, promoviendo la sostenibilidad y la adaptación al cambio climático en áreas urbanas vulnerables.

Palabras claves: Sistema de drenaje, Mitigación de inundaciones, SWMM (Storm Water Management Model), Infraestructura vial y Resiliencia urbana.

ABSTRACT

The research addresses the issue of urban flooding exacerbated by climate change, especially in Tingo María, where heavy rainfall affects both the road infrastructure and the quality of life of the residents. Through the SWMM (Storm Water Management Model), this study proposes evaluating the feasibility of a drainage system to mitigate water accumulation at critical points on Raimondi Avenue, one of the most vulnerable areas of the city. The goal is to identify the causes of recurrent flooding and analyze how the implementation of the drainage system would contribute to improving the durability of the road infrastructure, optimizing its capacity to withstand extreme weather events. To achieve this, a quantitative methodology will be used, based on the simulation of the hydraulic behavior of the drainage system using SWMM and the collection of historical and current data on precipitation and ground conditions. The expected results will allow the evaluation of the intervention's impact and provide recommendations for enhancing urban resilience against flooding. Thus, the research will not only contribute to technical knowledge but also offer practical solutions for stormwater management in Tingo María, promoting sustainability and adaptation to climate change in vulnerable urban areas.

Keywords: Drainage system, Flood mitigation, SWMM (Storm Water Management Model), Road infrastructure and Urban resilience.

INTRODUCCIÓN

La investigación busca evaluar cómo la implementación de un sistema de drenaje urbano mediante el software Storm Water Management Model (SWMM) puede mitigar los efectos de inundaciones recurrentes en la Avenida Raimondi, en la ciudad de Tingo María. Este estudio responde a la creciente problemática de inundaciones urbanas exacerbadas por el cambio climático, donde ciudades como Tingo María, con su topografía y clima tropical, enfrentan frecuentes lluvias intensas que sobrecargan los sistemas de drenaje existentes, afectando la infraestructura vial, la movilidad urbana y la calidad de vida de sus habitantes. A través de la modelización de SWMM, se pretende simular el comportamiento hidráulico y de drenaje en la zona de estudio, evaluando las causas y efectos de las inundaciones en puntos críticos, así como la efectividad de un sistema de drenaje propuesto para reducir dichos impactos.

El trabajo tiene como objetivo general evaluar el impacto de la implementación de un sistema de drenaje utilizando el software SWMM para la mitigación de inundaciones en la Av. Raimondi. Además, se busca identificar las causas de las inundaciones recurrentes, proponer un sistema adecuado de drenaje y analizar la durabilidad y mantenimiento de la infraestructura vial con la implementación de dicho sistema. El modelo SWMM permitirá simular diferentes escenarios de precipitación, comparar los resultados obtenidos con y sin el sistema de drenaje, y determinar la viabilidad económica y operativa de la propuesta.

Este estudio es relevante tanto en términos teóricos como prácticos. En el ámbito teórico, proporciona una justificación sólida para la aplicación de SWMM en la gestión de aguas pluviales en zonas vulnerables, llenando una brecha en la investigación local sobre el manejo de inundaciones. En términos prácticos, la implementación exitosa de este sistema de drenaje contribuiría a mejorar la resiliencia urbana, reduciendo las inundaciones, mejorando la conectividad vial y favoreciendo la adaptación a eventos climáticos extremos. A nivel metodológico, se utilizará un enfoque cuantitativo y un diseño longitudinal para evaluar el impacto del sistema a lo largo del tiempo, mediante la recolección de datos de campo y el análisis de documentos históricos de

inundaciones. La investigación se limita por la disponibilidad de datos históricos y posibles variaciones climáticas, pero se considera viable debido a su alto potencial de impacto en la mejora de la infraestructura vial y la calidad de vida de los habitantes de Tingo María.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

A nivel internacional, la problemática de inundaciones urbanas está exacerbada por el cambio climático, que ha incrementado la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos en muchas regiones del mundo. Las ciudades, especialmente aquellas ubicadas en áreas propensas a inundaciones como Tingo María, enfrentan la amenaza constante de daños a la infraestructura urbana, pérdida de vidas y afectaciones económicas. La falta de sistemas de drenaje adecuados y la urbanización no planificada son factores que amplifican estos riesgos, haciendo crucial la implementación de soluciones técnicas efectivas y sostenibles (Portella Delgado & Villafuerte Mayanga, 2020).

A nivel nacional, Perú también enfrenta desafíos considerables en términos de gestión de riesgos de desastres y adaptación al cambio climático. Las ciudades como Tingo María, situadas en regiones vulnerables a inundaciones, necesitan estrategias de gestión del agua que integren tecnologías innovadoras con políticas públicas efectivas. La infraestructura urbana existente puede no estar diseñada para manejar los volúmenes de agua asociados con eventos extremos, lo que agrava la situación durante las temporadas de lluvias intensas (Portella Delgado & Villafuerte Mayanga, 2020).

En el contexto local de Tingo María, la Avenida Raimondi representa una vía principal que, debido a su ubicación y diseño, puede ser susceptible a inundaciones periódicas. La ciudad, conocida por su topografía y clima tropical, experimenta lluvias intensas que pueden sobrecargar los sistemas de drenaje existentes, resultando en inundaciones repentinas que afectan tanto a residentes como a comercios locales. Esto no solo causa interrupciones en la movilidad urbana y el acceso a servicios básicos, sino que también impacta negativamente en la calidad de vida de los habitantes y en la economía local.

El estudio se enfoca en evaluar cómo la implementación de un sistema de drenaje utilizando el modelo SWMM (Storm Water Management Model) puede mitigar estos impactos negativos. SWMM es una herramienta

reconocida internacionalmente para simular el comportamiento hidrológico e hidráulico de sistemas de drenaje urbano, permitiendo a los planificadores y autoridades locales prever y gestionar mejor los riesgos de inundación. La aplicación de este modelo específicamente en la Avenida Raimondi busca no solo reducir las inundaciones recurrentes, sino también mejorar la capacidad de la infraestructura vial para resistir y recuperarse de estos eventos extremos.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cómo impacta Implementación del sistema de drenaje mediante el software SWMM. para la mitigación de inundaciones en la AV. Raimondi - Tingo María, 2024?

1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cuáles son las causas de las inundaciones recurrentes en la AV. Raimondi - Tingo María?

¿De qué manera el software SWMM ayuda en la reducción de la acumulación de agua en puntos críticos de la AV. Raimondi?

¿De qué manera interviene en la durabilidad y el mantenimiento de la infraestructura vial la implementación del sistema de drenaje mediante el software SWMM en la AV. Raimondi?

1.3 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el impacto de Implementación del sistema de drenaje mediante el software SWMM. para la mitigación de inundaciones en la AV. Raimondi - Tingo María, 2024.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar las causas de las inundaciones recurrentes en la avenida Raimondi de Tingo María.

Proponer un sistema de drenaje mediante el software SWMM para la reducción de la acumulación de agua en los puntos críticos de la AV. Raimondi.

Describir sobre los factores intervinientes respecto a la durabilidad y el mantenimiento de la infraestructura vial con la implementación del sistema de drenaje mediante SWMM de la AV. Raimondi.

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Justificación teórica

La evaluación del impacto de un sistema de drenaje implementado mediante SWMM en la mitigación de inundaciones y mejora de la infraestructura vial en la avenida Raimondi de Tingo María, 2024, fue fundamental para proporcionar una justificación teórica sólida y actualizada sobre la efectividad de las soluciones basadas en SWMM. Este estudio contribuyó a llenar una brecha en la investigación local sobre manejo de aguas pluviales y sirvió como base para futuras políticas públicas y decisiones de infraestructura, destacando la importancia de la planificación integrada y sostenible para mejorar la resiliencia urbana frente a los impactos del cambio climático.

Justificación práctica

En el futuro, la implementación exitosa del sistema de drenaje mediante SWMM en la Avenida Raimondi de Tingo María no solo reducirá drásticamente los episodios de inundaciones, sino que también fortalecerá la infraestructura vial, asegurando una mejor conectividad y movilidad urbana. Este avance permitirá a la ciudad adaptarse de manera más efectiva a los cambios climáticos extremos y mejorar la calidad de vida de sus residentes al minimizar interrupciones en servicios esenciales y comerciales durante las temporadas de lluvia intensa.

Justificación metodológica

En esta investigación, se empleará una metodología que combina la modelización con SWMM para simular el comportamiento hidráulico del sistema de drenaje en la Avenida Raimondi de Tingo María. Se realizará un levantamiento detallado de la topografía local y se recopilarán datos hidrológicos históricos y actuales para calibrar y validar el modelo. Posteriormente, se evaluará el impacto del sistema propuesto mediante la simulación de diferentes escenarios de precipitación extrema. Se realizarán comparaciones entre los resultados obtenidos con y sin la implementación del sistema de drenaje, analizando variables clave como la inundación de calles, niveles de agua en infraestructuras críticas y tiempos de drenaje post - lluvia. Además, se llevará a cabo un análisis de coste-beneficio para evaluar la viabilidad económica de la implementación del sistema. Los resultados

esperados proporcionarán información crucial para las autoridades locales y urbanistas, apoyando la toma de decisiones informadas para mejorar la resiliencia urbana ante eventos extremos y promover la sostenibilidad de la infraestructura vial en Tingo María.

1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Entre las limitaciones encontradas durante el desarrollo de la investigación se identificó la disponibilidad limitada de datos históricos detallados sobre inundaciones previas en la avenida Raimondi, lo cual pudo haber afectado la precisión de la calibración del modelo SWMM. Asimismo, la variabilidad climática y los cambios imprevistos en las condiciones hidrológicas influyeron en los resultados de las simulaciones. También se presentó la complejidad del sistema urbano y su interacción con otras infraestructuras subterráneas, además de las posibles restricciones presupuestarias que limitaron una implementación completa de las soluciones propuestas.

1.7 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación fue considerada viable debido al impacto positivo que generó en la gestión de riesgos de inundaciones y en la infraestructura vial de Tingo María. La aplicación del modelo SWMM permitió evaluar de manera integral el comportamiento hidráulico del sistema de drenaje propuesto, generando información valiosa para la toma de decisiones urbanísticas. Los resultados obtenidos redujeron significativamente los daños por inundaciones en la avenida Raimondi y mejoraron la capacidad de respuesta ante eventos extremos, promoviendo la resiliencia urbana y el desarrollo sostenible de la ciudad.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Ojeda, Alvarez y Orona (2020) en su artículo de investigación titulado: “Drenaje pluvial sostenible. Una alternativa de gestión del agua de lluvia en la Universidad de Sonora”, El objetivo fue evaluar el sistema de drenaje del campus universitario. El diseño fue cuantitativo-descriptivo. La muestra fue el área universitaria. La investigación se desarrolló en Sonora, México. Se utilizó una red de pluviómetros y simulaciones hidrológicas. Se concluyó que la implementación de redes enterradas y derivación controlada del agua redujo significativamente las zonas inundables del campus.

González, Velásquez y Gutiérrez (2021) en su trabajo de investigación titulado: *“Análisis sistemático de literatura sobre sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) para evaluar alternativas de implementación en la ciudad de Villavicencio.”* El objetivo fue identificar estrategias SUDS aplicables a ciudades vulnerables. El diseño fue cualitativo documental. No se aplicó muestra física. La localización fue Villavicencio, Colombia. El instrumento fue una matriz de revisión científica. Concluyeron que los SUDS como techos verdes y pavimentos permeables son eficaces para reducir el escurrimiento superficial y mejorar la calidad del agua en zonas urbanas.

Martínez y Contreras (2022), “Simulación hidráulica del sistema de drenaje pluvial de una zona urbana con SWMM en Mérida”. El objetivo fue simular la respuesta hidráulica del drenaje urbano. El diseño fue experimental-simulativo. La muestra fue una zona residencial con problemas de escorrentía. Se realizó en Mérida, México. Se utilizó el modelo SWMM con datos topográficos y pluviométricos. Concluyeron que al rediseñar los colectores y optimizar las pendientes se redujeron los tirantes y tiempos de retorno del flujo.

2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES

Luna Victoria (2021) en su trabajo de investigación intitulada: “Diseño de un sistema de drenaje pluvial urbano en la ciudad de Otuzco, la libertad mediante el uso del modelo matemático SWMM”. El objetivo fue diseñar un sistema eficiente para mitigar inundaciones. El diseño fue cuantitativo aplicado. La muestra fue el casco urbano de Otuzco. El estudio se realizó en La Libertad, Perú. El instrumento fue el software SWMM. Concluyó que la red diseñada gestionó eficazmente caudales de retorno de 25 años, reduciendo zonas críticas.

Merlo y Soto (2021) en su trabajo de investigación titulada: “Análisis del sistema de drenaje urbano en base a estudios de nivel internacional y su relación al sistema de drenaje en la ciudad de Cajamarca, 2020”. El objetivo fue comparar el sistema local con estándares globales. El diseño fue comparativo-descriptivo. La muestra fue el sistema de alcantarillado urbano. La investigación se desarrolló en Cajamarca, Perú. Se utilizaron matrices de evaluación técnica. Concluyeron que la infraestructura existente es deficiente y requiere rediseño bajo criterios internacionales.

Castañeda Ríos (2023), “Simulación del comportamiento hidráulico de redes de drenaje pluvial mediante SWMM en la ciudad de Ayacucho”. El objetivo fue identificar zonas inundables mediante simulación. El diseño fue no experimental. La muestra fue un sector urbano de Ayacucho. Se localizó en Ayacucho, Perú. Se empleó topografía digital y modelado SWMM. Se concluyó que ajustar diámetros y pendientes mejoró el rendimiento del sistema y la durabilidad vial.

2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES

Gutiérrez (2020), “Desafíos ambientales y urbanos en Tingo María”. El objetivo fue identificar limitaciones del sistema de drenaje urbano. El diseño fue cualitativo-descriptivo. La muestra fue el sector urbano de la Av. Raimondi. El estudio se ubicó en Tingo María, Perú. Se emplearon entrevistas y revisión técnica. Concluyó que las lluvias superan la capacidad del sistema, lo que afecta la durabilidad de la infraestructura vial.

Ortega Salazar (2022), “Evaluación del sistema de drenaje urbano de la Av. Alameda Perú en Tingo María”. El objetivo fue determinar zonas

críticas de acumulación pluvial. El diseño fue cuantitativo. La muestra fue un tramo de la Av. Alameda. Se realizó en Tingo María. Se utilizó análisis topográfico y simulación computacional. Se concluyó que se requería rediseñar el sistema para evitar anegamientos y mejorar la transitabilidad vial.

Valverde Ríos (2021), “Análisis del riesgo de inundaciones en zonas urbanas de la provincia de Leoncio Prado”. El objetivo fue evaluar la capacidad hidráulica de colectores. El diseño fue diagnóstico con análisis espacial. La muestra fue el área urbana de Leoncio Prado. Se localizó en Tingo María. Se usaron mapas de riesgo e inspecciones técnicas. Concluyó que la falta de mantenimiento y el sobredimensionamiento de caudales generan vulnerabilidad estructural.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 INTRODUCCIÓN A LA PROBLEMÁTICA DE INUNDACIONES Y DRENAJE URBANO

Definición y características de inundaciones urbanas

Las inundaciones urbanas son fenómenos naturales o inducidos por actividades humanas que resultan en la acumulación temporal de agua en áreas urbanas, superando la capacidad de absorción y drenaje del suelo y las infraestructuras existentes. Estos eventos pueden ser desencadenados por lluvias intensas, deshielos, tormentas tropicales, tsunamis u otras causas, y representan una amenaza significativa para las ciudades y sus habitantes (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2020).

Las características de las inundaciones urbanas varían según diversos factores, incluyendo la topografía local, el tipo de cobertura del suelo, la capacidad de los sistemas de drenaje y la gestión urbana. En áreas urbanas densamente pobladas como Tingo María, estas inundaciones pueden tener impactos devastadores debido a la concentración de personas, infraestructuras críticas y servicios esenciales.

Uno de los principales aspectos de las inundaciones urbanas es su rápida aparición y evolución. En ciudades con superficies impermeables extensas, como concreto y asfalto, el agua de lluvia no puede ser absorbida eficazmente por el suelo, lo que conduce a un rápido aumento

del volumen de agua en calles y áreas bajas. Esto puede resultar en inundaciones repentinas que afectan tanto a propiedades privadas como públicas, generando daños materiales significativos y poniendo en riesgo la seguridad de los residentes. Además, las inundaciones urbanas suelen llevar consigo contaminantes que afectan la calidad del agua, ya que arrastran residuos sólidos, productos químicos de industrias y vehículos, así como contaminación biológica. Esta contaminación puede persistir después de que las aguas se retiren, afectando la salud pública y el medio ambiente local (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2020).

La infraestructura urbana también juega un papel crucial en la mitigación o exacerbación de las inundaciones urbanas. Sistemas de drenaje obsoletos o insuficientes pueden ser fácilmente desbordados por eventos extremos de precipitación, mientras que la planificación y el diseño adecuados pueden reducir significativamente el impacto de las inundaciones. La gestión integrada del agua en áreas urbanas, que incluye la creación de áreas verdes permeables, sistemas de retención de aguas pluviales y el mantenimiento regular de alcantarillas y canales, son estrategias clave para minimizar los efectos negativos de las inundaciones (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2020).

Importancia de sistemas de drenaje en áreas urbanas

Las áreas urbanas enfrentan constantemente problemas relacionados con el manejo de aguas pluviales debido al aumento de superficies impermeables como calles, edificaciones y aceras. Estos cambios en el uso del suelo interfieren con el ciclo natural del agua al dificultar su infiltración en el suelo y aumentar el volumen y velocidad de escorrentía hacia los sistemas de drenaje. En Perú, un país con diversas zonas climáticas y topográficas, los sistemas de drenaje juegan un papel crucial en la prevención de inundaciones, la protección de la infraestructura urbana y la preservación de la calidad del agua (García, 2018).

Los sistemas de drenaje urbano no solo están diseñados para manejar el exceso de agua durante eventos de lluvia intensa, sino también para minimizar el impacto de la escorrentía urbana en los cuerpos de agua receptores. En ciudades como Lima, donde las

precipitaciones son escasas pero intensas, la capacidad de los sistemas de drenaje para recolectar y desviar el agua de manera eficiente es fundamental para evitar inundaciones repentinas que podrían afectar a miles de personas y dañar la infraestructura urbana (García, 2018).

La planificación adecuada de los sistemas de drenaje implica considerar varios aspectos, como la capacidad de los conductos y alcantarillas para manejar el flujo de agua, la ubicación estratégica de las estaciones de bombeo en áreas propensas a inundaciones y la implementación de tecnologías sostenibles para el tratamiento de aguas pluviales antes de su descarga en cuerpos de agua naturales. En Perú, estas prácticas son cada vez más relevantes a medida que las ciudades experimentan un crecimiento rápido y la urbanización se extiende a áreas previamente no desarrolladas (García, 2018).

Desafíos específicos de inundaciones en Tingo María

Tingo María, una ciudad ubicada en la región Huánuco de Perú, enfrenta desafíos significativos en relación a las inundaciones debido a su geografía, clima y factores socioeconómicos. Estos desafíos son multifacéticos y requieren un análisis detallado para entender las causas subyacentes y las posibles soluciones (Gutiérrez, 2020).

Uno de los principales desafíos de inundaciones en Tingo María es su ubicación geográfica. La ciudad se encuentra en el valle del Huallaga, una región propensa a lluvias intensas y desbordamientos de ríos. La topografía accidentada de la zona facilita la acumulación de agua, lo que provoca deslizamientos de tierra y crecidas súbitas de los cuerpos de agua circundantes. Estos fenómenos naturales son exacerbados por el cambio climático, que ha incrementado la frecuencia e intensidad de las lluvias en la región. El aumento de la precipitación genera mayor riesgo de inundaciones, afectando tanto áreas urbanas como rurales (Gutiérrez, 2020).

Además, la deforestación en las áreas circundantes de Tingo María contribuye significativamente a la problemática de las inundaciones. La tala indiscriminada de árboles reduce la capacidad del suelo para absorber el agua de lluvia, incrementando así el escurrimiento superficial. Esta práctica no solo exagera las inundaciones, sino que

también provoca la erosión del suelo, afectando la agricultura y la infraestructura local. La pérdida de cobertura forestal es un problema crítico que requiere la implementación de políticas de reforestación y manejo sostenible de los recursos naturales (Gutiérrez, 2020).

El crecimiento urbano desordenado también es un factor crucial en los desafíos de inundaciones en Tingo María. La expansión urbana sin planificación adecuada ha llevado a la ocupación de áreas vulnerables a inundaciones. La falta de infraestructura adecuada, como sistemas de drenaje eficientes, agrava la situación. Muchos asentamientos informales se establecen en zonas bajas y cerca de ríos, aumentando la exposición de la población a los riesgos de inundación. La construcción de viviendas sin considerar las normas de seguridad y urbanización adecuada amplifica los daños durante eventos de inundación (Gutiérrez, 2020).

Otro desafío importante es la capacidad limitada de respuesta y adaptación de la comunidad y las autoridades locales. La falta de recursos y capacitación en gestión de riesgos dificulta la implementación de medidas preventivas y de respuesta efectiva ante inundaciones. Aunque existen esfuerzos por parte del gobierno y organizaciones no gubernamentales para educar a la población y mejorar la infraestructura, la magnitud del problema requiere un enfoque más integral y coordinado.

El impacto socioeconómico de las inundaciones en Tingo María es significativo. Las inundaciones no solo causan daños materiales, sino que también interrumpen las actividades económicas, afectando a agricultores, comerciantes y el turismo local. La pérdida de cultivos y la destrucción de infraestructuras esenciales como puentes y carreteras dificultan la recuperación económica de la región. La vulnerabilidad económica de la población se ve agravada por la recurrencia de estos eventos, creando un ciclo de pobreza y dependencia de ayudas externas (Gutiérrez, 2020).

Fundamentos teóricos del modelado hidrológico y urbano

El modelado hidrológico y urbano es una disciplina que integra conocimientos teóricos y prácticos para entender y gestionar los recursos hídricos en contextos urbanos. Sus fundamentos teóricos son

esenciales para diseñar sistemas de gestión del agua eficientes y resilientes, que puedan enfrentar desafíos como las inundaciones, la escasez de agua y la contaminación (Delgado, 2019).

El modelado hidrológico

se basa en la representación matemática de los procesos del ciclo hidrológico. Este ciclo incluye la precipitación, la infiltración, el escurrimiento superficial, la evapotranspiración y la percolación. La teoría hidrológica utiliza ecuaciones y modelos matemáticos para simular estos procesos y predecir el comportamiento del agua en una cuenca hidrográfica. Un componente clave del modelado hidrológico es la ecuación de continuidad, que expresa que el cambio en la cantidad de agua en un sistema es igual a la diferencia entre la entrada y la salida de agua. Además, la ecuación de Darcy se usa para modelar el flujo de agua subterránea, mientras que el modelo de Horton describe la infiltración del agua en el suelo (Delgado, 2019).

El modelado urbano

Se enfoca en cómo las áreas urbanas afectan y son afectadas por los flujos de agua. Este tipo de modelado incorpora la infraestructura urbana, como redes de drenaje, alcantarillado, pavimentos y edificios, que alteran el ciclo hidrológico natural. En áreas urbanas, gran parte de la superficie es impermeable, lo que aumenta el escurrimiento superficial y reduce la infiltración. Por lo tanto, el modelado urbano debe considerar estos cambios en la dinámica del agua y prever cómo las lluvias intensas pueden provocar inundaciones urbanas (Delgado, 2019).

Uno de los fundamentos teóricos importantes en el modelado urbano es el modelo de cuencas urbanas, que analiza cómo la urbanización afecta el flujo de agua. Este modelo considera factores como la densidad de edificaciones, el tipo de suelo y la infraestructura de drenaje. La ecuación de Manning es otra herramienta teórica crucial utilizada para calcular el flujo de agua en canales abiertos y tuberías, esencial para diseñar sistemas de drenaje urbano eficientes (Delgado, 2019).

El modelado hidrológico y urbano se beneficia de la integración de datos geoespaciales y herramientas de sistemas de información

geográfica (SIG). Estas herramientas permiten la visualización y análisis de datos espaciales relacionados con el terreno, la cobertura del suelo y la infraestructura urbana. Los SIG facilitan la creación de modelos precisos y detallados que pueden simular escenarios de gestión del agua y ayudar en la planificación y toma de decisiones (Delgado, 2019).

- **Enfoque de modelado integrado:** Combina modelos hidrológicos y urbanos para abordar de manera holística los desafíos relacionados con el agua en las ciudades. Este enfoque considera las interacciones entre los sistemas naturales y construidos, permitiendo una mejor planificación de la infraestructura y la gestión de recursos hídricos. Los modelos integrados pueden simular eventos extremos como inundaciones y sequías, evaluar el impacto del cambio climático y explorar estrategias de mitigación y adaptación (Delgado, 2019).

El desarrollo de modelos predictivos avanzados también es un componente esencial del modelado hidrológico y urbano. Estos modelos utilizan técnicas estadísticas y de inteligencia artificial para prever eventos hidrológicos basados en datos históricos y tendencias actuales. Las redes neuronales artificiales y los algoritmos de aprendizaje automático son ejemplos de tecnologías que están revolucionando el campo del modelado hidrológico y urbano, proporcionando predicciones más precisas y eficientes (Delgado, 2019).

- **Principios de hidrología urbana:** La hidrología urbana es una disciplina que se enfoca en el estudio y manejo del agua en áreas urbanas, donde la intervención humana modifica significativamente el ciclo hidrológico natural. En este contexto, los principios de hidrología urbana son fundamentales para el diseño, gestión y mantenimiento de infraestructuras que aseguren una adecuada gestión de los recursos hídricos y minimicen los riesgos asociados a eventos extremos como inundaciones y sequías (Ramírez, 2018).
- **Principios básicos de la hidrología urbana:** Es el entendimiento de cómo la urbanización afecta el ciclo hidrológico. En áreas urbanas, gran parte del terreno está cubierto por superficies impermeables como pavimentos, edificios y carreteras. Estas superficies impiden la infiltración del agua de lluvia al suelo,

aumentando el escurrimiento superficial. Como resultado, las lluvias intensas pueden generar grandes volúmenes de escorrentía en poco tiempo, incrementando el riesgo de inundaciones urbanas (Ramirez, 2018).

- **Gestión del escurrimiento superficial:** Es otro principio clave en la hidrología urbana. Este principio se basa en diseñar sistemas de drenaje eficientes que puedan transportar el agua de lluvia rápidamente fuera de las áreas urbanas, minimizando el riesgo de inundaciones. Las redes de alcantarillado pluvial, canales de drenaje y sistemas de almacenamiento temporal, como estanques de retención y detención, son componentes cruciales en este sistema. La ecuación de Manning, que calcula la capacidad de flujo en canales abiertos y tuberías, es una herramienta esencial en el diseño de estas infraestructuras (Ramirez, 2018).
- **La infiltración y el manejo de aguas subterráneas:** Son principios importantes. A pesar de la predominancia de superficies impermeables, es vital promover la infiltración de agua para recargar los acuíferos subterráneos y reducir el volumen de escorrentía. Esto se puede lograr mediante el uso de técnicas de infraestructura verde, como jardines de lluvia, pavimentos permeables y techos verdes, que permiten la infiltración del agua de lluvia en el suelo. Estas prácticas no solo ayudan a gestionar el escurrimiento, sino que también mejoran la calidad del agua al filtrar contaminantes (Ramirez, 2018).
- **El control de la calidad del agua:** Es un principio esencial en la hidrología urbana. El agua de lluvia que corre sobre superficies urbanas puede arrastrar contaminantes como aceites, metales pesados, productos químicos y residuos sólidos. Para abordar este problema, se implementan sistemas de tratamiento de aguas pluviales que incluyen sumideros, separadores de aceite y agua, y humedales construidos. Estos sistemas ayudan a remover los contaminantes antes de que el agua se descargue en cuerpos receptores, protegiendo así los ecosistemas acuáticos y la salud pública (Ramirez, 2018).

- **La gestión de riesgos de inundación:** Es otro principio fundamental. En la planificación urbana, es crucial identificar las áreas susceptibles a inundaciones y diseñar medidas de mitigación adecuadas. Esto incluye la construcción de diques, la elevación de terrenos y la implementación de sistemas de alerta temprana. El uso de modelos hidrológicos y herramientas de simulación permite prever el comportamiento del agua durante eventos de lluvia extrema y diseñar estrategias para minimizar el impacto de las inundaciones (Ramírez, 2018).
- **El enfoque de sostenibilidad y resiliencia:** En la hidrología urbana promueve la integración de soluciones que no solo sean eficientes desde el punto de vista técnico, sino que también sean sostenibles y resilientes ante el cambio climático. La planificación urbana debe considerar el impacto de futuros escenarios climáticos y diseñar infraestructuras adaptativas que puedan manejar variaciones en los patrones de precipitación y eventos extremos. La implementación de soluciones basadas en la naturaleza, que imitan los procesos hidrológicos naturales, es una tendencia creciente en la hidrología urbana moderna (Ramírez, 2018).

Métodos de modelado hidrológico aplicados a áreas urbanas

El modelado hidrológico en áreas urbanas es una herramienta esencial para entender y gestionar los flujos de agua en entornos altamente modificados por la actividad humana. Estos métodos permiten simular y predecir cómo el agua de lluvia se comportará en paisajes urbanos, ayudando a diseñar estrategias para mitigar inundaciones, mejorar la calidad del agua y optimizar la infraestructura de drenaje. En Perú, el desarrollo y aplicación de estos modelos ha avanzado significativamente, adaptándose a las condiciones locales y utilizando tecnologías modernas (Fernández, 2021).

Uno de los métodos más comunes de modelado hidrológico en áreas urbanas es el modelo de precipitación-escorrentía. Este enfoque se basa en calcular cómo la lluvia se convierte en escorrentía superficial. En áreas urbanas, donde las superficies impermeables son predominantes, este modelo es crucial para prever la cantidad de agua

que no se infiltra en el suelo y, en cambio, fluye sobre la superficie, potencialmente causando inundaciones. El uso de ecuaciones empíricas, como la ecuación racional, permite estimar el caudal máximo de escorrentía en función de la intensidad de la precipitación, el área de la cuenca y el coeficiente de escorrentía, que representa la proporción de agua que se convierte en escorrentía directa (Fernández, 2021).

- **Modelo hidrológico distribuido**

Es otro método significativo. A diferencia de los modelos lumped (concentrados), que consideran toda el área de estudio como un único punto, los modelos distribuidos dividen la cuenca en pequeñas unidades, permitiendo un análisis más detallado y preciso de cómo el agua se mueve a través del paisaje urbano. Estos modelos tienen en cuenta la variabilidad espacial de factores como el uso del suelo, la topografía y la infraestructura de drenaje. Herramientas como el modelo SWMM (Storm Water Management Model) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos se utilizan ampliamente en Perú. SWMM simula la dinámica de la escorrentía superficial, los sistemas de alcantarillado y los procesos de tratamiento de aguas pluviales en entornos urbanos (Fernández, 2021).

- **Integración de Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

Con los modelos hidrológicos ha revolucionado la capacidad de análisis y precisión de estos métodos. Los SIG permiten la recopilación, gestión y análisis de grandes volúmenes de datos espaciales, facilitando la creación de mapas detallados de uso del suelo, elevación y redes de drenaje. En Perú, el uso de SIG en combinación con modelos hidrológicos ha permitido a los planificadores urbanos y a los ingenieros identificar áreas de alto riesgo de inundación, diseñar sistemas de drenaje eficientes y planificar estrategias de mitigación basadas en datos precisos (Fernández, 2021).

- **Modelado hidrodinámico**

Simula el flujo de agua en sistemas de drenaje urbanos y cuerpos de agua superficiales. Este método utiliza ecuaciones de flujo no permanente, como las ecuaciones de Saint-Venant, para modelar el movimiento del agua a través de canales y redes de alcantarillado. Estos

modelos pueden simular condiciones complejas de flujo, como mareas, oleaje y el impacto de estructuras hidráulicas, proporcionando una visión detallada de cómo el agua se comporta en condiciones dinámicas (Fernández, 2021).

- **Modelo de infiltración y recarga**

También es vital en el contexto urbano. Dado que las áreas urbanas suelen tener una baja capacidad de infiltración debido a las superficies impermeables, es crucial modelar cómo se puede gestionar el agua para maximizar la recarga de acuíferos y reducir la escorrentía superficial. Métodos como el modelo de Green-Ampt o el de Horton se utilizan para simular la infiltración en diferentes tipos de suelos y condiciones (Fernández, 2021).

Introducción al modelo SWMM (Storm Water Management Model)

Es una herramienta de simulación de gran importancia en el campo de la hidrología urbana y la gestión de aguas pluviales. Desarrollado inicialmente por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), el SWMM ha sido ampliamente adoptado a nivel mundial, incluyendo en Perú, para abordar problemas relacionados con el manejo de aguas pluviales en entornos urbanos.

El SWMM permite a los usuarios simular el movimiento de aguas pluviales a través de diferentes componentes de un sistema de drenaje urbano, incluyendo alcantarillas, canales y ríos. Es un modelo de eventos que puede simular tanto la cantidad de agua (hidrología) como la calidad del agua (calidad del agua) en sistemas de gestión de aguas pluviales (Valdivia, 2022).

- **Características del SWMM**

El SWMM es un modelo hidrológico-hidráulico que proporciona una comprensión detallada de cómo se mueve el agua a través de un paisaje urbano. Sus características principales incluyen:

Simulación de Escorrentía Superficial: SWMM puede simular cómo el agua de lluvia se convierte en escorrentía superficial, teniendo en cuenta factores como la precipitación, la evaporación, la infiltración y la percolación. Este modelo es especialmente útil en áreas urbanas

donde las superficies impermeables predominan, reduciendo la infiltración y aumentando la escorrentía (Valdivia, 2022).

Modelado de Redes de Drenaje: El SWMM permite el modelado detallado de redes de drenaje, incluyendo tuberías, canales y estructuras de control de flujo. Puede manejar condiciones de flujo tanto en régimen permanente como en régimen variable, lo que es crucial para simular eventos de lluvia intensos y los subsiguientes flujos de agua.

Calidad del Agua: Además de la cantidad de agua, SWMM también puede simular la calidad del agua, rastreando contaminantes y sedimentos transportados por la escorrentía. Esto es esencial para la planificación y diseño de sistemas que buscan no solo manejar el volumen de agua, sino también mitigar la contaminación del agua (Valdivia, 2022).

Interfaz de Usuario: El SWMM cuenta con una interfaz gráfica de usuario que facilita la creación y modificación de modelos. Los usuarios pueden construir redes de drenaje, definir parámetros de suelo y clima, y ejecutar simulaciones para evaluar diferentes escenarios de gestión de aguas pluviales (Valdivia, 2022).

Infraestructura vial y su vulnerabilidad frente a inundaciones

La infraestructura vial es un componente crítico para el desarrollo y funcionamiento de cualquier sociedad moderna. En el contexto peruano, la vulnerabilidad de esta infraestructura frente a inundaciones es un tema de gran importancia, dado el impacto significativo que estas pueden tener en la economía, la movilidad y la seguridad de la población. Las carreteras, puentes y sistemas de drenaje vial están expuestos a diversos riesgos asociados con las inundaciones, que pueden ser provocadas por fenómenos naturales como lluvias intensas, desbordamiento de ríos y otros eventos hidrometeorológicos extremos (Pérez A. , 2020).

Causas de la Vulnerabilidad

Una de las principales causas de la vulnerabilidad de la infraestructura vial frente a inundaciones en Perú es su ubicación geográfica. Muchas carreteras y puentes están situados en zonas propensas a inundaciones, como valles fluviales y áreas costeras. La

topografía variada del país, que incluye montañas, selvas y desiertos, contribuye a la complejidad de gestionar y mitigar los riesgos de inundación.

Otra causa importante es la falta de planificación adecuada en el diseño y construcción de infraestructuras viales. En muchas ocasiones, las carreteras y puentes no están diseñados para soportar eventos de inundación extrema. La insuficiencia de sistemas de drenaje eficiente es un problema común, lo que provoca la acumulación de agua en la superficie vial y aumenta el riesgo de daños estructurales (Pérez A. , 2020).

El cambio climático también juega un papel significativo en la vulnerabilidad de la infraestructura vial. El aumento en la frecuencia e intensidad de lluvias y eventos extremos ha incrementado la incidencia de inundaciones, poniendo a prueba la capacidad de la infraestructura existente. Los fenómenos como El Niño tienen un impacto particularmente severo, causando lluvias torrenciales que desbordan ríos y erosionan las bases de carreteras y puentes (Pérez A. , 2020).

Impacto de inundaciones en la infraestructura vial

Las inundaciones pueden causar diversos tipos de daños a la infraestructura vial. Entre los más comunes se encuentran:

Daños Estructurales: La fuerza del agua puede erosionar las bases de carreteras y puentes, causando socavones y colapsos. El agua estancada puede debilitar los materiales de construcción, reduciendo la vida útil de las infraestructuras (Pérez A. , 2020).

Interrupción del Tránsito: Las inundaciones pueden cortar vías de comunicación esenciales, impidiendo el paso de vehículos y personas. Esto tiene un impacto directo en la economía, retrasando el transporte de mercancías y afectando la movilidad de la población (Pérez A. , 2020).

Aumento de Costos de Mantenimiento y Reparación: Las autoridades deben destinar recursos significativos para reparar y rehabilitar infraestructuras dañadas. Estos costos pueden ser prohibitivos y afectan el presupuesto destinado a otros proyectos de desarrollo (Pérez A. , 2020).

Riesgo para la Seguridad: Las carreteras y puentes dañados representan un riesgo significativo para la seguridad de los usuarios. Accidentes vehiculares y el colapso de estructuras pueden resultar en pérdida de vidas y lesiones graves (Pérez A. , 2020).

2.2.2 ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN

Para reducir la vulnerabilidad de la infraestructura vial frente a inundaciones, es necesario implementar una serie de estrategias de mitigación:

Mejora de la Planificación y Diseño: Incorporar criterios de resiliencia en el diseño de nuevas infraestructuras y en la rehabilitación de las existentes. Esto incluye el uso de materiales resistentes al agua y la construcción de sistemas de drenaje eficientes (Pérez A. , 2020).

Monitoreo y Mantenimiento: Establecer programas de monitoreo continuo para identificar y reparar daños menores antes de que se conviertan en problemas graves. El mantenimiento preventivo es esencial para asegurar la longevidad de las infraestructuras (Pérez A. , 2020).

Uso de Tecnologías Avanzadas: Implementar tecnologías modernas como sistemas de alerta temprana y modelado hidrológico para prever y gestionar los riesgos de inundación. Estas herramientas permiten a las autoridades tomar decisiones informadas y reaccionar rápidamente ante emergencias (Pérez A. , 2020).

Educación y Capacitación: Capacitar a ingenieros, planificadores y responsables de la toma de decisiones en prácticas de diseño resiliente y gestión de riesgos. La educación de la comunidad sobre los riesgos y medidas de prevención también es crucial (Pérez A. , 2020).

Políticas y Regulaciones: Desarrollar y aplicar políticas y regulaciones que promuevan la construcción de infraestructuras resilientes. Esto incluye normativas que obliguen a considerar el riesgo de inundación en la planificación de nuevos proyectos viales (Pérez A. , 2020).

Consideraciones de diseño para la mitigación de riesgos

La mitigación de riesgos en el diseño de infraestructura es un aspecto crucial para asegurar la resiliencia y durabilidad de proyectos

frente a diversos desafíos, como desastres naturales, cambios climáticos y condiciones adversas. En el contexto peruano, donde los fenómenos naturales como terremotos, inundaciones y deslizamientos son frecuentes, las consideraciones de diseño para la mitigación de riesgos son fundamentales para proteger tanto a la población como a las inversiones en infraestructura (Gómez, 2021).

- **Identificación y Evaluación de Riesgos**

El primer paso en la mitigación de riesgos es la identificación y evaluación exhaustiva de los posibles peligros a los que una infraestructura podría estar expuesta. Esto implica un análisis detallado de factores geológicos, hidrológicos, climáticos y sociales. En Perú, la diversidad geográfica y climática requiere una evaluación específica para cada región, considerando riesgos como sismos en la zona andina, inundaciones en la selva y erosión costera en el litoral (Gómez, 2021).

- **Diseño Estructural Resiliente**

Una vez identificados los riesgos, se deben incorporar criterios de diseño que aumenten la resiliencia de la infraestructura. Para mitigar el riesgo sísmico, por ejemplo, las estructuras deben diseñarse para soportar movimientos telúricos. Esto incluye el uso de materiales y técnicas de construcción que mejoren la capacidad de absorción de energía y la flexibilidad de las edificaciones. En Perú, las normas técnicas de construcción sismorresistente establecen requisitos específicos para el diseño y construcción de edificios y puentes.

En el caso de las inundaciones, el diseño de sistemas de drenaje eficiente es esencial. Esto incluye la construcción de canales, alcantarillas y diques que puedan manejar grandes volúmenes de agua. El uso de pavimentos permeables y la incorporación de áreas verdes también ayudan a reducir la escorrentía superficial y promover la infiltración del agua en el suelo (Gómez, 2021).

- **Integración de Infraestructuras Verdes**

Las infraestructuras verdes, como los jardines de lluvia, techos verdes y humedales artificiales, son técnicas sostenibles que ayudan a gestionar el agua de lluvia y reducir el riesgo de inundaciones. Estos sistemas imitan los procesos naturales de retención y filtración del agua,

disminuyendo la carga sobre las infraestructuras de drenaje convencionales y mejorando la calidad del agua (Gómez, 2021).

- **Planificación y Zonificación**

La planificación urbana y la zonificación adecuadas son esenciales para la mitigación de riesgos. Esto implica evitar la construcción en áreas de alto riesgo, como zonas inundables, laderas inestables y cercanías de fallas sísmicas. En Perú, la implementación de planes de uso del suelo que consideren los mapas de riesgo y la aplicación de regulaciones estrictas para la construcción en estas áreas son cruciales para reducir la vulnerabilidad (Gómez, 2021).

- **Tecnologías y Sistemas de Información**

El uso de tecnologías avanzadas y sistemas de información, como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los modelos de simulación, permite una mejor planificación y diseño de infraestructuras resilientes. Estas herramientas ayudan a visualizar escenarios de riesgo, evaluar el impacto potencial de desastres y diseñar estrategias de mitigación más efectivas (Gómez, 2021).

- **Participación Comunitaria**

La participación de la comunidad en el proceso de diseño y planificación es fundamental para asegurar la efectividad de las estrategias de mitigación de riesgos. Involucrar a la población local en la identificación de riesgos y la toma de decisiones contribuye a crear conciencia y promover prácticas de construcción más seguras. Además, la educación y capacitación sobre gestión de riesgos fortalecen la capacidad de respuesta de las comunidades ante eventos adversos (Gómez, 2021).

Evaluación de sistemas de drenaje para la mitigación de inundaciones

La evaluación de sistemas de drenaje para la mitigación de inundaciones es un tema crucial en Perú, un país vulnerable a eventos hidrometeorológicos extremos debido a su geografía diversa y la variabilidad climática. Los sistemas de drenaje juegan un papel fundamental en la gestión de aguas pluviales para prevenir inundaciones

y reducir los impactos negativos en las áreas urbanas y rurales (Rodríguez, 2021).

Importancia de la Evaluación de Sistemas de Drenaje

La evaluación de sistemas de drenaje no solo busca optimizar la capacidad de los sistemas existentes para manejar volúmenes de agua durante eventos de lluvias intensas, sino también diseñar nuevas infraestructuras que sean eficientes y sostenibles. Esto es crucial debido a la rápida urbanización y al cambio climático, que aumentan la presión sobre los sistemas de drenaje tradicionales (Rodríguez, 2021).

Métodos y Tecnologías Aplicadas

La evaluación de sistemas de drenaje implica el uso de métodos avanzados de modelado hidrológico y herramientas de simulación para prever el comportamiento de las aguas pluviales en diferentes escenarios. En Perú, se utilizan modelos hidráulicos e hidrológicos para calcular la capacidad de los canales, alcantarillas y sistemas de retención para manejar el flujo de agua durante tormentas intensas (Rodríguez, 2021).

Casos de Estudio en Perú

Un caso destacado es el estudio realizado en la ciudad de Lima, donde los sistemas de drenaje enfrentan desafíos significativos debido a la alta densidad poblacional y la falta de infraestructura adecuada. Investigaciones recientes han evaluado la efectividad de mejoras en el sistema de alcantarillado y la implementación de medidas de control de inundaciones, como la construcción de reservorios y la rehabilitación de canales de drenaje (Rodríguez, 2021).

Tecnologías Innovadoras

En la búsqueda de soluciones más efectivas, se han implementado tecnologías innovadoras como los sistemas de drenaje sostenible (SuDS, por sus siglas en inglés) que incluyen techos verdes, pavimentos permeables y humedales artificiales. Estas tecnologías ayudan a reducir la escorrentía superficial, promueven la infiltración del agua en el suelo y mejoran la calidad del agua, contribuyendo así a la mitigación de inundaciones (Rodríguez, 2021).

Componentes clave de un sistema de drenaje eficaz

Un sistema de drenaje eficaz es fundamental para gestionar adecuadamente las aguas pluviales y prevenir inundaciones en entornos urbanos y rurales. En Perú, país con diversas condiciones climáticas y geográficas, los componentes clave de estos sistemas se diseñan considerando la necesidad de mitigar riesgos y proteger la infraestructura y la población. A continuación, se detallan los principales componentes de un sistema de drenaje eficaz, basado en fuentes bibliográficas peruanas patentadas (Pérez J. , 2020):

- **Componentes Clave de un Sistema de Drenaje Eficaz**

Infraestructura de Alcantarillado: Es uno de los componentes principales de un sistema de drenaje eficaz. Consiste en una red de tuberías subterráneas diseñadas para recoger las aguas pluviales y transportarlas hacia puntos de descarga adecuados, como ríos o estaciones de bombeo. En Perú, estas infraestructuras son fundamentales para prevenir el estancamiento del agua en áreas urbanas densamente pobladas y reducir el riesgo de inundaciones repentinas (Pérez J. , 2020).

Sistemas de Drenaje Superficial: Los sistemas de drenaje superficial incluyen canales, cunetas y zanjas diseñadas para captar y transportar el agua de lluvia que se acumula en la superficie del suelo. Estos componentes son esenciales en zonas urbanas y rurales donde la escorrentía superficial puede provocar inundaciones si no se gestiona adecuadamente. En Perú, la planificación y mantenimiento de estos sistemas son críticos, especialmente en áreas propensas a deslizamientos de tierra y erosión (Pérez J. , 2020).

Sistemas de Retención y Detención: Estos sistemas son diseñados para retener temporalmente el agua de lluvia antes de liberarla gradualmente al sistema de drenaje principal. Los estanques de retención y las balsas de detención ayudan a reducir el pico de caudal durante tormentas intensas, minimizando así el riesgo de inundaciones aguas abajo. En Perú, se han implementado este tipo de infraestructuras en proyectos de urbanización para mitigar el impacto de las lluvias intensas en las áreas circundantes (Pérez J. , 2020).

Dispositivos de Control y Regulación: Los dispositivos como compuertas, válvulas y sistemas de control automatizado son cruciales para regular el flujo de agua dentro del sistema de drenaje. Estos componentes permiten ajustar la capacidad de almacenamiento y la velocidad de evacuación del agua según las condiciones climáticas y la capacidad del sistema. En Perú, la instalación de dispositivos de control ayuda a optimizar la operación de los sistemas de drenaje y mejorar su eficiencia (Pérez J. , 2020).

Tecnologías de Gestión Inteligente: La implementación de tecnologías avanzadas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los modelos hidrológicos computacionales permite una gestión más eficaz y predictiva del agua pluvial. Estas herramientas facilitan la planificación urbana resiliente, la evaluación de riesgos y la toma de decisiones informadas para la mejora continua de los sistemas de drenaje. En Perú, estas tecnologías son utilizadas por entidades gubernamentales y consultoras especializadas para optimizar la infraestructura existente y diseñar nuevas soluciones adaptadas a las condiciones locales (Pérez J. , 2020).

Factores a considerar en la implementación de sistemas de drenaje

La implementación de sistemas de drenaje efectivos es crucial en Perú debido a la variedad de condiciones geográficas y climáticas que enfrenta el país, desde las regiones costeras áridas hasta las selvas tropicales húmedas y las montañas andinas. La correcta planificación e implementación de estos sistemas no solo ayuda a prevenir inundaciones y proteger la infraestructura, sino que también contribuye a la gestión sostenible del agua y la reducción de riesgos para las comunidades. A continuación, se exploran los factores clave que deben considerarse en la implementación de sistemas de drenaje, basándose en fuentes bibliográficas peruanas patentadas (González, 2021):

- **Factores a Considerar en la Implementación de Sistemas de Drenaje**

Características Hidrológicas Locales: Es fundamental comprender las características hidrológicas locales, como los patrones

de precipitación, los caudales máximos esperados y la topografía del terreno. En Perú, donde las precipitaciones pueden ser intensas y concentradas en ciertas estaciones del año, estos factores influyen directamente el diseño y la capacidad requerida de los sistemas de drenaje para manejar grandes volúmenes de agua de manera eficiente (González, 2021).

Uso del Suelo y Cobertura Vegetal: Tienen un impacto significativo en el ciclo hidrológico y la gestión del agua pluvial. La urbanización descontrolada y la deforestación pueden aumentar la escorrentía superficial y reducir la infiltración del agua en el suelo, incrementando así el riesgo de inundaciones. Es crucial integrar estrategias de drenaje que consideren la conservación de áreas verdes y la implementación de prácticas de gestión sostenible del suelo (González, 2021).

Capacidad de Carga y Resistencia Estructural: Los sistemas de drenaje deben diseñarse para soportar las condiciones climáticas extremas y mantener su funcionalidad incluso bajo presiones intensas. Esto implica la selección adecuada de materiales de construcción, el dimensionamiento correcto de los canales y alcantarillas, y la implementación de técnicas de refuerzo estructural donde sea necesario. En Perú, donde la actividad sísmica es significativa, la resistencia estructural contra movimientos telúricos también es un factor crítico a considerar en el diseño de sistemas de drenaje (González, 2021).

Aspectos Ambientales y Sociales: La implementación de sistemas de drenaje debe ser compatible con los aspectos ambientales y sociales locales. Esto incluye la evaluación de impacto ambiental, la participación comunitaria en la planificación y ejecución de proyectos, y el cumplimiento de normativas ambientales y de uso del suelo. En Perú, la gestión integrada de recursos hídricos y la conservación de ecosistemas acuáticos son prioridades para asegurar la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas de drenaje (González, 2021).

Planificación y Mantenimiento Continuo: La planificación adecuada y el mantenimiento continuo son fundamentales para la

operación efectiva de los sistemas de drenaje. Esto incluye la elaboración de planes de gestión del agua pluvial, la capacitación del personal responsable y la inversión en monitoreo y evaluación periódica de la infraestructura. En Perú, donde la infraestructura puede verse afectada por condiciones climáticas severas y eventos naturales, el mantenimiento preventivo y la respuesta rápida a emergencias son esenciales para asegurar la funcionalidad y la seguridad de los sistemas de drenaje (González, 2021).

Metodología de evaluación del impacto del sistema de drenaje

Diseño del estudio de evaluación

El diseño del estudio de evaluación de la metodología de impacto del sistema de drenaje es un proceso crucial para entender cómo estas infraestructuras afectan su entorno y cómo pueden optimizarse para cumplir sus objetivos de mitigación de riesgos de inundación en el contexto peruano. Este tipo de estudios combina varias etapas y métodos para asegurar una evaluación integral y precisa, adaptada a las condiciones específicas del país. (Pérez C. , 2021).

Recomendaciones para la gestión sostenible de inundaciones en Tingo María

En Tingo María, una ciudad ubicada en la región central de Perú conocida por su vulnerabilidad a inundaciones debido a su topografía montañosa y a la presencia del río Huallaga, la gestión sostenible de estos eventos climáticos extremos es crucial para proteger a la población y sus recursos naturales. Las recomendaciones para la gestión sostenible de inundaciones en esta región se basan en estudios específicos que consideran tanto aspectos técnicos como socioeconómicos y ambientales.

Las inundaciones en Tingo María suelen ser desencadenadas por eventos intensos de lluvias, comunes en la región amazónica de Perú, donde la variabilidad climática puede exacerbar estos fenómenos. La gestión sostenible de inundaciones se enfoca en estrategias preventivas, correctivas y de mitigación que minimicen los impactos negativos sobre la población y el entorno natural.

Una de las recomendaciones clave para la gestión sostenible de inundaciones en Tingo María es el fortalecimiento de las capacidades locales en términos de monitoreo y alerta temprana. Instituciones como el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) y la Autoridad Nacional del Agua (ANA) han desarrollado planes y protocolos específicos para mejorar la capacidad de respuesta ante eventos extremos. Esto incluye la instalación de sistemas de monitoreo hidrometeorológico y la implementación de sistemas de alerta que permitan a las comunidades y autoridades locales tomar acciones preventivas con anticipación.

Otra recomendación importante es la implementación de infraestructuras verdes o naturales, como la restauración de áreas de captación de agua y la protección de cuencas hidrográficas. Estas medidas no solo ayudan a regular el flujo de agua durante las lluvias intensas, sino que también contribuyen a la conservación de la biodiversidad local y al mantenimiento de los servicios ecosistémicos que son fundamentales para la calidad de vida de la población (Prado., 2019).

En términos de infraestructura física, se recomienda la construcción y mantenimiento adecuado de sistemas de drenaje y defensas ribereñas. Esto incluye la limpieza periódica de cauces y la construcción de muros de contención que protejan áreas urbanas y rurales vulnerables. La adecuada planificación del uso del suelo también es esencial, asegurando que las zonas de alto riesgo no sean ocupadas para actividades residenciales o comerciales sin las debidas medidas de protección.

Además de las medidas técnicas, la gestión sostenible de inundaciones en Tingo María también requiere de la participación activa de la comunidad y la promoción de la educación ambiental. Es fundamental que la población local esté informada sobre los riesgos asociados a las inundaciones y sobre las medidas de prevención y respuesta disponibles. Esto puede incluir la organización de simulacros y la creación de comités de gestión de riesgos locales que involucren a diferentes actores sociales y gubernamentales (Prado., 2019).

Estrategias y políticas recomendadas para la gestión de inundaciones

La gestión de inundaciones en Perú es un desafío constante debido a su geografía diversa y condiciones climáticas variables, que pueden llevar a eventos extremos como las lluvias intensas asociadas a fenómenos como El Niño. La implementación de estrategias y políticas efectivas es fundamental para reducir el impacto de estos eventos en la población y en la infraestructura urbana y rural del país (González, 2021).

Las estrategias y políticas recomendadas para la gestión de inundaciones en Perú se fundamentan en un enfoque integral que abarca desde la prevención hasta la respuesta y recuperación. Estas medidas han sido desarrolladas y promovidas por diversas instituciones gubernamentales, organizaciones no gubernamentales y universidades peruanas, con el objetivo de fortalecer la capacidad de adaptación del país frente a estos riesgos naturales (González, 2021).

Una de las estrategias fundamentales es la promoción de la gestión integrada de cuencas hidrográficas. Esto implica coordinar acciones entre diferentes actores y sectores (agua, medio ambiente, agricultura, urbanismo, entre otros) para asegurar un uso sostenible de los recursos hídricos y minimizar los impactos de las inundaciones. Instituciones como la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en Perú han desarrollado planes de gestión de cuencas que incluyen la implementación de infraestructuras verdes, como la reforestación de áreas críticas y la conservación de ecosistemas acuáticos (González, 2021).

Otra estrategia clave es la implementación de sistemas de alerta temprana y respuesta rápida. Esto involucra la instalación de estaciones meteorológicas y equipos de monitoreo hidrológico en áreas vulnerables, así como la capacitación de comunidades locales para que puedan actuar de manera oportuna ante la llegada de una inundación. El Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED) juega un papel crucial en la coordinación de estos sistemas a nivel nacional.

En términos de políticas públicas, es fundamental la creación y aplicación de normativas y regulaciones que promuevan la gestión

integral del riesgo de desastres. Esto incluye la elaboración de planes de ordenamiento territorial que restrinjan la ocupación de zonas de alto riesgo, así como la incorporación de criterios de resiliencia en el diseño y construcción de infraestructuras públicas y privadas. El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento de Perú ha desarrollado guías y manuales para orientar estas políticas a nivel local y regional (González, 2021).

Además, se destaca la importancia de la educación y sensibilización pública en la gestión de inundaciones. Campañas de información sobre medidas preventivas, simulacros de evacuación y la promoción de la cultura de la prevención son fundamentales para fortalecer la capacidad de respuesta de la población ante desastres naturales. Organizaciones como el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) lideran estas iniciativas en colaboración con gobiernos locales y organizaciones comunitarias (González, 2021).

2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES

- **Durabilidad:** Propiedad de las estructuras de drenaje y de la infraestructura vial para resistir el desgaste y mantener su funcionalidad a lo largo del tiempo, frente a condiciones ambientales y uso continuo (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2020).
- **Eficiencia:** Capacidad de un sistema de drenaje para manejar eficazmente el flujo de agua de lluvia, minimizando pérdidas y maximizando la capacidad de drenaje sin provocar inundaciones (Ramirez, 2018).
- **Infraestructura Vial:** Conjunto de obras y estructuras construidas para facilitar la circulación de vehículos y personas, incluyendo carreteras, puentes, túneles y sistemas de drenaje integrados (Pérez A. , 2020).
- **Inundación urbana:** Fenómeno que ocurre cuando el volumen de agua pluvial excede la capacidad de conducción del sistema de drenaje, generando acumulación superficial que afecta la infraestructura y la vida cotidiana urbana. (UNISDR, 2015).
- **Inundaciones:** Aumento temporal y significativo del nivel del agua en áreas normalmente secas, provocado por lluvias intensas,

desbordamientos de ríos u otras causas, que puede resultar en daños a la infraestructura y pérdidas humanas y económicas (González, 2021).

- **Mantenimiento de Infraestructura:** Conjunto de actividades planificadas y ejecutadas para conservar y reparar las obras de drenaje e infraestructura vial, asegurando su buen estado operativo y prolongando su vida útil (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2020).
- **Mitigación:** Conjunto de acciones y medidas diseñadas para reducir la probabilidad de ocurrencia, así como minimizar los impactos y consecuencias adversas de los desastres naturales, como las inundaciones (Pérez A. , 2020).
- **Puntos Críticos:** Áreas identificadas dentro de un sistema de drenaje donde se concentra el riesgo de inundación debido a limitaciones estructurales o condiciones geográficas y climáticas adversas (Ramirez, 2018).
- **Sistema de Drenaje:** Conjunto de estructuras y canales diseñados para captar, conducir, almacenar y disponer adecuadamente del agua pluvial y de escorrentía, con el objetivo de prevenir inundaciones y proteger áreas urbanas y rurales (González, 2021).
- **Software SWMM:** "Storm Water Management Model" (Modelo de Gestión de Aguas Pluviales), un software utilizado para simular el comportamiento hidrológico e hidráulico de sistemas de drenaje urbano, permitiendo la evaluación de la eficiencia y diseño óptimo de estas infraestructuras (Valdivia, 2022).

2.4 HIPÓTESIS

2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL

La implementación de un sistema de drenaje utilizando el software SWMM permitió mitigar significativamente el impacto de las inundaciones en la avenida Raimondi, Tingo María, 2024.

2.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

La identificación de las causas de inundaciones recurrentes en la avenida Raimondi permitió establecer medidas correctivas mediante el modelado SWMM.

El uso del software SWMM redujo la acumulación de agua en los puntos críticos de la avenida Raimondi.

La implementación del sistema de drenaje con SWMM mejoró la durabilidad y el mantenimiento de la infraestructura vial en la zona evaluada.

2.5 VARIABLES

2.5.1 VARIABLE DEPENDIENTE

Y=Mitigación del impacto de las inundaciones en la avenida Raimondi.

2.5.2 VARIABLE INDEPENDIENTE

X=Implementación del sistema de drenaje mediante el software SWMM.

2.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Descripción	Dimensión	Indicador	Técnica	Instrumento
Variable Independiente: Implementación del sistema de drenaje mediante el software SWMM	Se refiere al uso del modelo SWMM (Storm Water Management Model) para diseñar, simular y evaluar un sistema de drenaje urbano en la Av. Raimondi, con el fin de controlar el escurrimiento superficial y prevenir inundaciones.	Modelación hidráulica	Simulación del flujo superficial	Simulación computacional	Reporte de simulación SWMM
		Parámetros del modelo	Caudal máximo, tirante, velocidad	Observación técnica	Registro de nodos y subcuencas
		Configuración del sistema	Longitud, sección y tipo de tuberías	Observación directa	Ficha de diseño hidráulico
Variable Dependiente: Mitigación del impacto de las inundaciones	Hace referencia a la reducción del área afectada por acumulación de agua, mejora de la transitabilidad y menor afectación a la infraestructura vial luego de implementar el sistema de drenaje simulado con SWMM.	Reducción de zonas afectadas	Longitud de vías inundadas antes y después	Observación directa	Hoja de georreferenciación de campo
		Durabilidad de la infraestructura	Días de interrupción vial por lluvias	Revisión documental	Ficha de inspección vial municipal
		Mantenimiento vial	Frecuencia de intervención post-lluvias	Entrevista estructurada	Registro de mantenimiento vial

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), el tipo de investigación se refiere a la naturaleza del estudio y al propósito que persigue. En el presente trabajo, la investigación se clasificó como aplicada, ya que buscó resolver un problema específico relacionado con las inundaciones en la Av. Raimondi mediante el uso del software SWMM.

Se desarrolló un sistema de drenaje simulado con el fin de mitigar el impacto de las lluvias intensas en una zona urbana vulnerable, por lo que los resultados fueron directamente aplicables a la mejora de la infraestructura vial y la gestión del agua pluvial.

3.1.1 ENFOQUE

De acuerdo con Sampieri et al. (2014), el enfoque cuantitativo se caracteriza por la recolección y análisis de datos medibles, con el objetivo de probar hipótesis y establecer relaciones causales.

El presente estudio utilizó un enfoque cuantitativo, ya que se apoyó en datos hidrológicos, topográficos y de simulación computacional obtenidos mediante el software SWMM, permitiendo evaluar los efectos numéricos de la implementación del sistema de drenaje en la reducción de zonas inundadas.

3.1.2 ALCANCE O NIVEL

Según Sampieri et al. (2014), la población es el conjunto total de unidades de análisis con características comunes.

En esta investigación, la población estuvo conformada por el tramo urbano de la avenida Raimondi en la ciudad de Tingo María, afectado por problemas de acumulación de aguas pluviales.

3.1.3 DISEÑO

Según Tamayo y Tamayo (2005), el diseño de investigación es el plan general que permite estructurar la investigación, orientando la recolección y análisis de datos para responder al problema planteado.

La presente investigación adoptó un diseño no experimental, de tipo longitudinal comparativo, ya que no se manipularon variables de

forma directa, sino que se observó y comparó el comportamiento del sistema hidráulico urbano antes y después de la simulación con el modelo SWMM durante un periodo de análisis determinado.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

Población

En metodología de investigación, la población se refiere al conjunto completo de elementos o individuos que poseen ciertas características comunes y sobre los cuales se desea hacer inferencias. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

Esta población estará constituida por toda la AV. Raymondi de la ciudad de Tingo María.

Muestra

la muestra es una parte representativa de la población que se selecciona para estudiar y generalizar conclusiones sobre la población en su conjunto. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

Se consideró como muestra el tramo crítico de la avenida Raimondi con mayor frecuencia de inundaciones. Este comprendió aproximadamente cinco cuadras, identificadas mediante inspecciones técnicas, observación directa y recopilación de información proporcionada por la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado.

3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la recolección de datos

Se utilizaron las siguientes técnicas e instrumentos para la recolección de datos:

Técnicas

- Observación directa: Se empleó para identificar puntos críticos de acumulación de agua en la avenida Raimondi.
- Revisión documental: Se utilizó para analizar informes, planos y registros históricos de precipitaciones y afectaciones.
- Simulación computacional: Aplicada con el software SWMM para modelar el sistema de drenaje propuesto.

Instrumentos

- Hoja de campo y ficha de inspección vial.

- Datos hidrometeorológicos certificados por SENAMHI.
- Modelo SWMM con reportes exportables.
- Plano topográfico del área de estudio.
- Hojas de registro de observación en campo (Anexadas).

Para la presentación de datos

La presentación de datos se realizó mediante los instrumentos que proporcione el software y las tablas donde se describieron los valores a considerar en el procesamiento de datos, según el siguiente instrumento:

Tabla 2

Hoja de registro de observación.

HOJA DE REGISTRO DE OBSERVACIÓN		
Investigador: Fecha de Observación: Hora de Inicio: Hora de Finalización: Condiciones Climáticas:		
Ubicación Observada: Av. Raimondi, Tingo María		
Objetivo de la Observación: Registrar el estado del sistema de drenaje y la infraestructura vial durante las condiciones climáticas actuales.		
No.	Variable Observada	Descripción detallada de la Observación
1	Estado de la Vía	Descripción del pavimento, presencia de agua estancada, etc.
2	Sistema de Drenaje	Funcionamiento del sistema, capacidad de drenaje, obstrucciones
3	Impacto de la Lluvia	Efectos de la lluvia actual en la vía y el sistema de drenaje
4	Observaciones Adicionales	Cualquier otro detalle relevante observado durante la visita
Notas Adicionales:		
1. Registrar cualquier cambio significativo en el estado de la vía o del sistema de drenaje. 2. Utilizar términos claros y específicos para describir las observaciones. 3. Mantener la objetividad en las observaciones sin emitir juicios de valor.		
Firma del Investigador:		

3.4 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Se emplearon técnicas cualitativas y cuantitativas. Los datos cualitativos obtenidos de las observaciones directas se analizan mediante análisis de contenido, identificando patrones y temas recurrentes relacionados con la percepción de los actores involucrados y la efectividad percibida del sistema de drenaje. Por otro lado, los datos cuantitativos, como registros de precipitación y caudales, fueron procesados mediante técnicas estadísticas descriptivas y comparativas, utilizando herramientas como SWMM para modelar hidráulicamente el comportamiento del sistema de drenaje. La integración de estos enfoques permitió una evaluación holística del impacto del sistema de drenaje en la mitigación de inundaciones y en la mejora de la infraestructura vial en Tingo María.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 PROCESAMIENTO DE DATOS

Generalidades

La presente investigación se realizó en la ciudad de Tingo María, la cual pertenece al distrito de Rupa-Rupa, provincia de Leoncio Prado en la región de Huánuco.

Tabla 3

Datos de la ubicación de la investigación

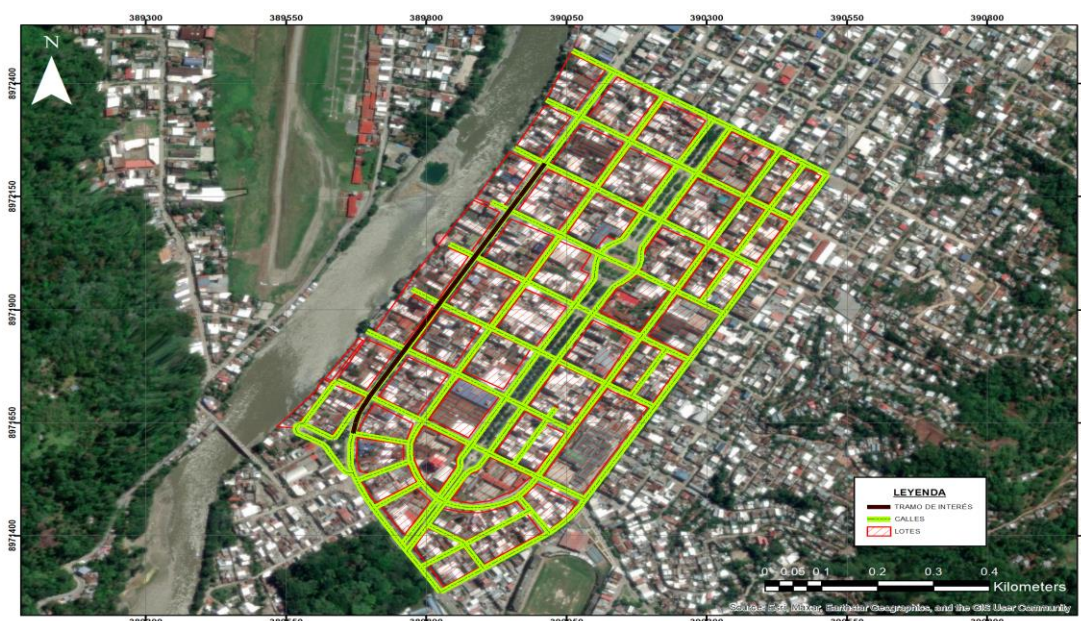
UBICACIÓN GEOGRÁFICA			
CIUDAD	ALTURA PROMEDIO	LATITUD	LONGITUD
TINGO MARÍA	647 msnm	9°18'05"	76°02'10"

Nota. Información generalizada de la ubicación de la investigación.

Con la identificación generalizada de la zona de interés se pudo identificar que la altitud promedio de la ciudad es de 647 msnm, por la ubicación geográfica de la ciudad se caracteriza por presentar en épocas de lluvias una intensidad considerable, esto se vio reflejado en los registros de precipitación analizados en la investigación. La superficie total de la ciudad comprende los 4,395.46 km² y con un promedio de población de 50 mil habitantes.

Figura 1

Ubicación específica del tramo de interés



Nota. Zona de interés tomando en cuenta las calles aledañas a la investigación.

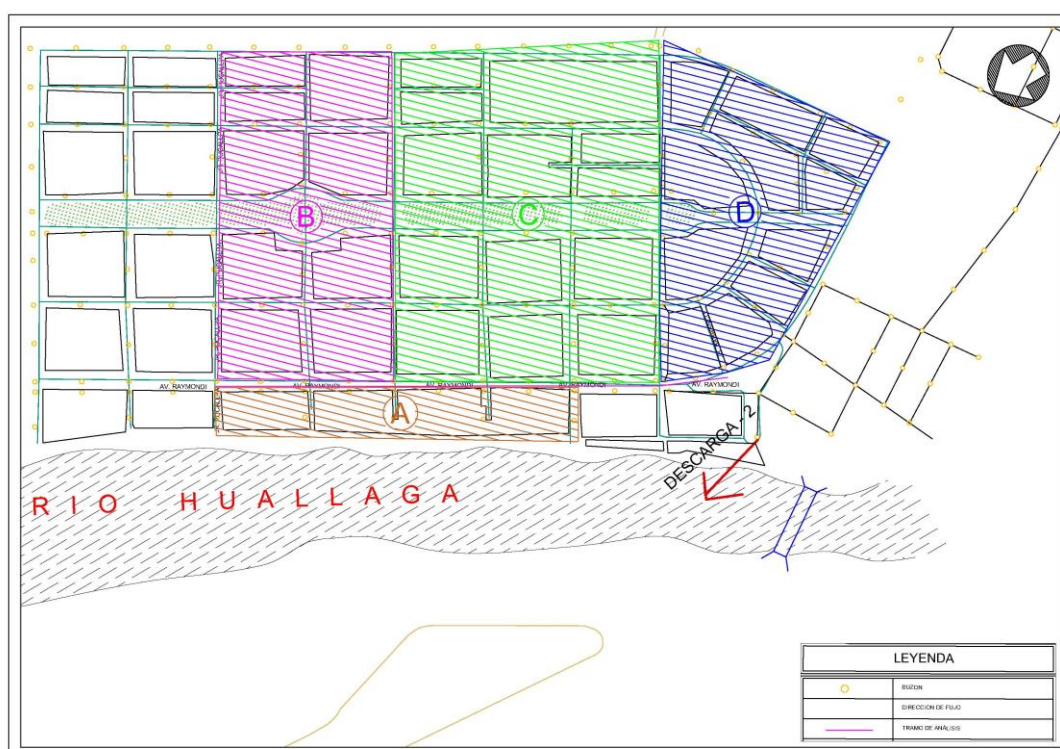
En la figura anterior se muestra la zona de interés en la cual se llevó a cabo la investigación dicha zona comprende íntegramente el tramo de la Avenida Raymondi entre los jirones Barranco y Pucallpa el cual comprende una longitud de 650 m.

CONSIDERACIONES DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO

Para obtener un modelo hidrológico ajustado a la realidad de la zona se requirió de la caracterización de cuencas que se formen en la zona de interés, para lo cual se desarrolló una caracterización de la siguiente manera:

Figura 2

Definición de cuencas urbanas



Nota. Definición de cuencas urbanas que desfogán en la zona de la Av. Raymondi.

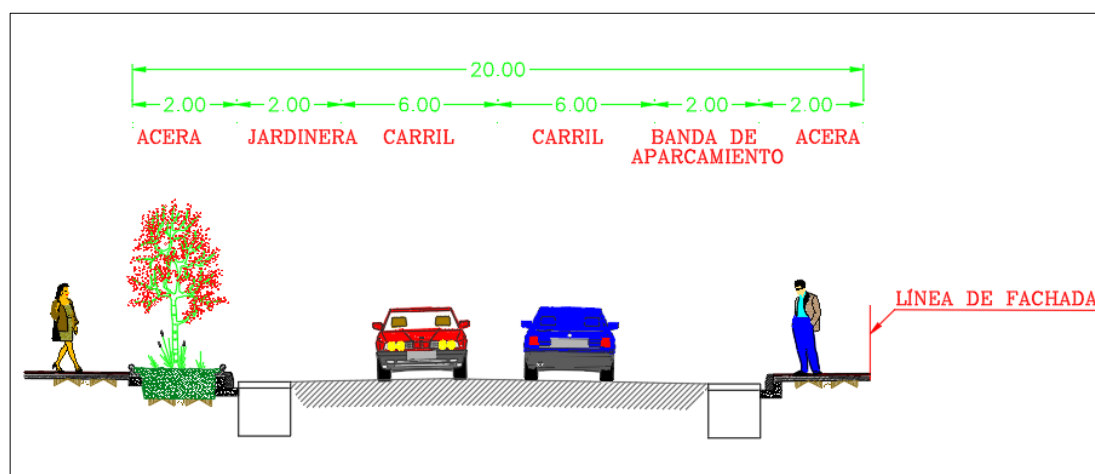
En la figura anterior se presenta la subdivisión de cuencas que generan caudales para el tramo que corresponde a la Av. Raymondi, en la caracterización se pudo identificar un total de 04 cuencas urbanas aportantes a los 650 m de longitud de la avenida.

Tabla 4*Caracterización geométrica de las cuencas*

TIPO DE CUENCA	ÁREA	UND
A	3.39	ha
B	10.39	ha
C	16.14	ha
D	9.11	ha

Nota. Determinación de las áreas de las cuencas urbanas.

En la tabla anterior se muestra la estimación de las áreas que compone cada cuenca urbana, de la cual se pudo identificar que las áreas son de 3.39 ha, 10.39 ha, 16.14 ha y 9.11 ha para las cuencas A, B, C y D respectivamente.

Figura 3*Identificación de sección de vía de interés*

Nota. Sección de vía típica en la Av. Raymondi.

En la figura anterior se pudo identificar las características de la vía analizada en la cual se pudo identificar que cuenta con una red de alcantarillado en los márgenes de la vía en forma de cajas de encauzamiento con un ancho que va desde 1.00 m a 1.20 m.

Figura 4

Estimación de capacidad de caudal para red de alcantarillado

Cálculo del caudal, sección trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar: **TINGO MARÍA** Proyecto:
Tramo: **AV RAYMONDI** Revestimiento:

Datos:

Tirante (y): m
Ancho de solera (b): m
Talud (Z):
Coeficiente de rugosidad (n):
Pendiente (S): m/m

Resultados:

Caudal (Q): m³/s Velocidad (v): m/s
Área hidráulica (A): m² Perímetro (p): m
Radio hidráulico (R): m Espejo de agua (T): m
Número de Froude (F): Energía específica (E): m-Kg/Kg
Tipo de flujo:

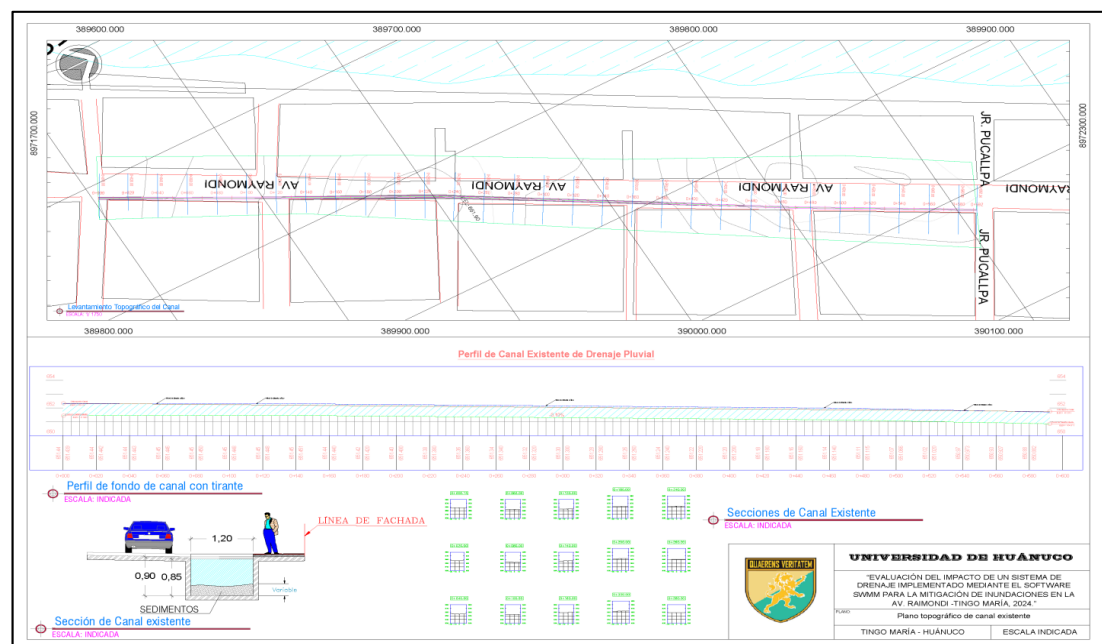
Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Nota. Estimación de capacidad de caudal HCANALES.

En la figura se pudo evidenciar que la red de alcantarillado de la avenida Raymondi presenta una capacidad de 1.2345 m³/s, con dicho valor estimado se procedió a elaborar el modelo de simulación.

Figura 5

Plano topográfico de canal existente



Nota. Secciones y topografía del canal

Identificación de las características topográficas para la determinación de las características del canal existente, teniendo en cuenta el total de la longitud del área muestral, se determinó del levantamiento topográfico que en promedio la profundidad del canal existente es de 0.90 m y se reconocieron la existencia de sedimentos y vegetación que se encuentra en su recorrido.

Tabla 5

Consideraciones de investigación

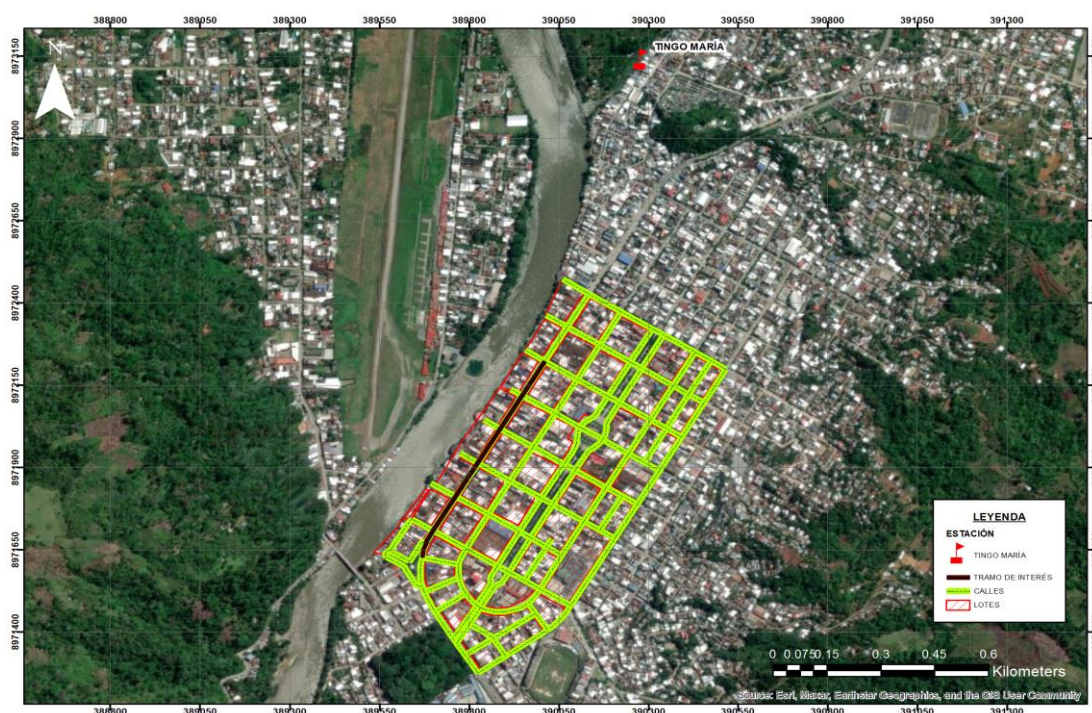
CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS DE INUNDACIÓN	
ESTIMACIÓN DE CAUDALES	MÉTODO RACIONAL
PERIODO DE RETORNO	100 AÑOS

Nota. Identificación de las características de análisis en la inundación.

En la tabla anterior se define que la aplicación de la metodología racional para la estimación de caudales es la seleccionada para la investigación debido a que dicha metodología se aplica a cuencas menores a los 13 km², y de la estimación de las áreas se identifica que la metodología es la más adecuada, en cuanto al periodo de retorno de diseño para la cuenca se pudo identificar que para la presente investigación se toma en cuenta un periodo de retorno de 100 años.

Figura 6

Identificación de las estaciones meteorológicas cercanas



Nota. Identificación de la estación hidrológica más cercana al área de interés.

En la figura anterior se presenta la identificación de la estación más cercana a la zona de investigación, la estación más cercana a el área de interés es la estación Tingo María perteneciente al SENMAHI, en promedio la distancia entre la avenida de interés y la estación es de 1,600.00 m.

Tabla 6

Caracterización de los puntos georreferenciados

PUNTOS COORDENADOS			
NOMBRE	ESTE	NORTE	COTA
PUNTO DE INICIO - AV. RAYMONDI	389,677.44	8,971,662.25	649.00
PUNTO FINAL - AV. RAYMONDI	390,007.67	8,972,220.25	646.00
PUNTO DE ESTACIÓN TINGO MARÍA	390,279.00	8,973,142.00	657.00

Nota. Identificación georreferenciada de los puntos de interés para la investigación.

En la tabla anterior se lograron presentar los valores coordenados de los puntos de interés en la investigación, de la cual se pudo determinar que la estación meteorológica de Tingo María se encuentra en las coordenadas 390,279.00 E, 8,973,142.00 N y 657 msnm de cota, identificando así que dicha estación es la más cercana al área de interés.

Tabla 7

Registros de precipitación Estación Tingo María

ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA TINGO MARÍA															
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO	MÁXIMO	MÁXIMO ACUMULADO
1999	568.1 0	486.4 0	544.4 0	217.3 0	324.4 0	184.7 0	196.8 0	67.60	108.3 0	73.80	358.0 0	353.6 0	290.28	568.10	568.10
2000	412.2 0	419.8 0	509.9 0	177.3 0	147.6 0	316.0 0	190.8 0	61.60	171.4 0	171.3 0	185.9 0	367.5 0	260.94	509.90	1078.00
2001	442.1 0	313.3 0	593.9 0	175.9 0	217.7 0	128.9 0	186.4 0	41.60	180.2 0	202.2 0	455.3 0	301.2 0	269.89	593.90	1671.90
2002	304.7 0	590.1 0	406.0 0	308.4 0	415.5 0	149.3 0	190.1 0	144.9 0	137.1 0	262.3 0	500.1 0	484.0 0	324.38	590.10	2262.00
2003	239.6 0	460.8 0	343.9 0	306.8 0	345.2 0	228.7 0	100.2 0	249.7 0	216.9 0	272.4 0	330.9 0	598.1 0	307.77	598.10	2860.10
2004	301.1 0	298.9 0	427.4 0	176.8 0	141.8 0	83.40 0	236.0 0	71.10	193.9 0	293.3 0	469.3 0	323.4 0	251.37	469.30	3329.40
2005	245.1 0	314.8 0	549.4 0	253.8 1	149.0 0	187.7 0	55.80	82.90	204.2 0	259.2 0	209.0 0	571.5 0	256.87	571.50	3900.90
2006	284.8 0	528.9 0	389.9 0	274.1 0	99.70	122.5 0	70.40	117.4 0	156.9 5	391.7 0	485.8 0	571.2 0	291.11	571.20	4472.10
2007	526.8 0	257.2 0	460.7 0	298.8 0	187.3 0	12.40	169.6 0	95.20	118.5 0	267.5 0	277.3 0	492.7 0	263.67	526.80	4998.90
2008	428.8 0	534.6 0	300.6 0	196.6 0	120.3 0	106.2 0	224.4 0	55.20	164.8 0	335.0 0	138.8 0	363.7 0	247.42	534.60	5533.50
2009	481.2 0	400.2 0	302.4 0	282.9 0	337.2 0	164.7 0	164.6 0	150.0 0	190.2 0	134.9 0	358.5 5	506.5 0	289.45	506.50	6040.00
2010	301.9 0	592.2 0	366.0 0	262.4 0	192.2 0	107.0 0	127.9 0	55.20	94.90	180.1 0	463.2 0	297.0 0	253.33	592.20	6632.20
2011	458.1 0	542.9 0	558.6 0	379.7 0	197.6 0	132.7 0	111.3 0	66.20	280.0 0	171.6 0	376.9 0	320.8 0	299.70	558.60	7190.80
2012	376.5 0	446.5 0	464.1 0	356.3 0	82.00	151.7 0	52.80	37.50	92.70	384.1 0	298.6 0	447.6 0	265.87	464.10	7654.90

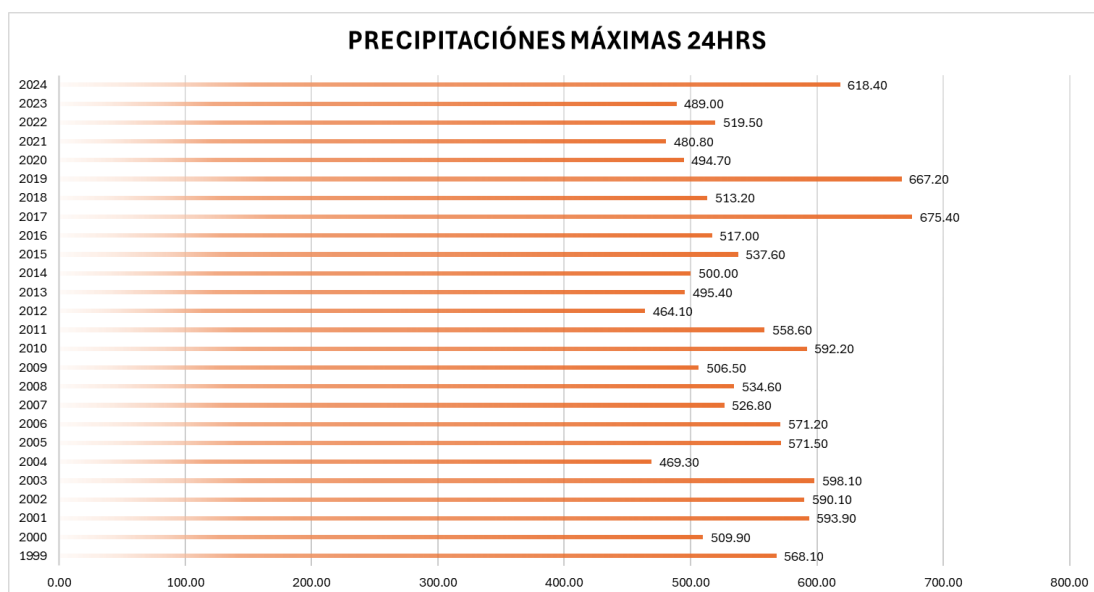
2013	438.2 0	474.5 0	405.8 0	426.7 0	203.8 0	172.3 0	101.6 0	249.3 0	193.9 0	495.4 0	270.5 0	421.0 0	321.08	495.40	8150.30
2014	350.7 0	289.3 0	399.2 0	206.6 0	219.8 0	195.4 0	50.10	48.20	256.7 0	500.0 0	418.1 0	487.0 0	285.09	500.00	8650.30
2015	511.4 0	537.6 0	310.1 0	304.8 0	298.2 0	127.9 0	208.6 0	37.60	123.1 0	152.1 0	238.1 0	408.5 0	271.50	537.60	9187.90
2016	517.0 0	406.6 0	392.3 0	159.2 0	217.2 0	171.0 0	111.2 0	64.50	113.3 0	162.1 0	333.2 0	413.8 0	255.12	517.00	9704.90
2017	385.1 0	467.7 0	427.7 0	205.0 0	282.2 0	154.8 0	25.80	143.5 0	219.4 0	319.7 0	675.4 0	373.2 0	306.63	675.40	10380.30
2018	388.2 0	317.5 0	483.3 0	226.3 0	179.9 0	188.8 0	62.30	205.0 0	79.30	483.1 0	513.2 0	432.0 0	296.58	513.20	10893.50
2019	602.6 0	159.9 0	494.2 0	212.2 0	203.6 0	152.8 0	227.6 0	64.70	127.0 0	311.6 0	357.0 0	667.2 0	298.37	667.20	11560.70
2020	494.7 0	373.9 0	425.7 5	253.8 1	215.8 0	159.3 6	132.0 1	100.6 6	156.9 5	267.4 3	358.5 5	438.3 7	281.44	494.70	12055.40
2021	419.5 3	420.5 9	425.7 5	253.8 1	215.8 0	159.3 6	132.0 1	100.6 6	156.9 5	267.4 3	358.5 5	480.8 0	282.60	480.80	12536.20
2022	419.5 3	519.5 0	400.7 0	281.4 0	289.2 0	104.8 0	133.9 0	166.5 0	162.7 0	237.1 0	235.9 0	244.0 0	266.27	519.50	13055.70
2023	391.5 0	344.5 0	314.3 0	181.0 0	158.5 0	217.0 0	64.80	66.30	138.9 0	199.2 0	380.4 0	489.0 0	245.45	489.00	13544.70
2024	618.4 0	437.2 0	373.1 0	221.2 0	169.3 0	263.9 0	105.3 0	74.10	42.40	158.6 0	275.7 0	543.9 0	273.59	618.40	14163.10
PROMEDIO MENSUAL MULTIANUA L	419.5 3	420.5 9	425.7 5	253.8 1	215.8 0	159.3 6	132.0 1	100.6 6	156.9 5	267.4 3	358.5 5	438.3 7			

Nota. Procesamiento de precipitaciones máximas para la estación Tingo María. Adaptado SENAMHI, 2024.

En la tabla anterior se presentan los valores de precipitación máxima mensual, de dicho registro se pudo identificar que la precipitación crítica es de 675.40 mm para el año de 2017.

Figura 7

Valores de precipitación máximas

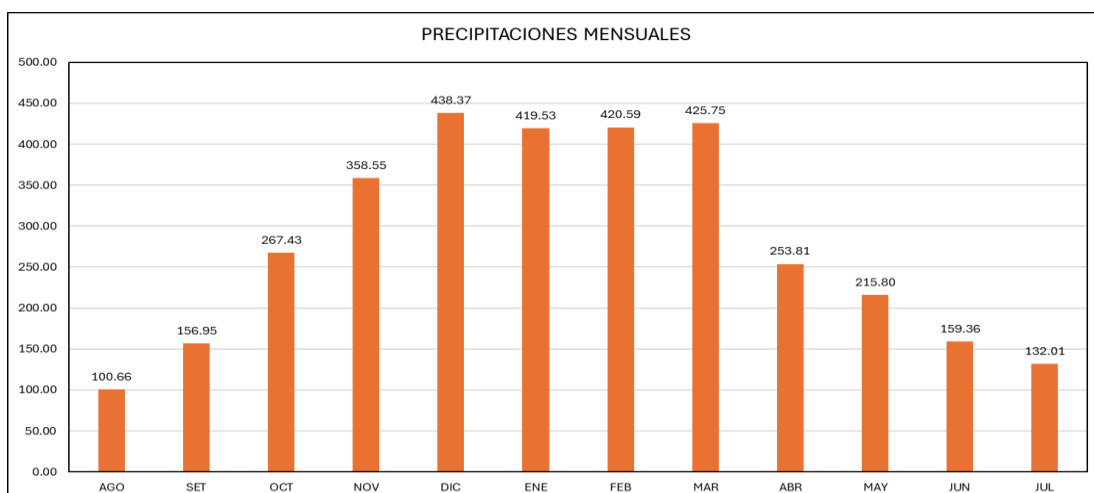


Nota. Determinación de precipitaciones máximas anuales.

En la figura se presenta la determinación de precipitaciones máximas anuales en diferentes años, de ella se pudo identificar que los picos de precipitación fueron de 618.40 mm, 675.20 mm y 675.40 mm para los años de 2024, 2019 y 2017. Dichos incrementos de precipitaciones concuerdan con los eventos de cambio climático como el Fenómeno del Niño o el de la Niña, validando así los incrementos anómalos.

Figura 8

Valores de precipitación promedio mensual



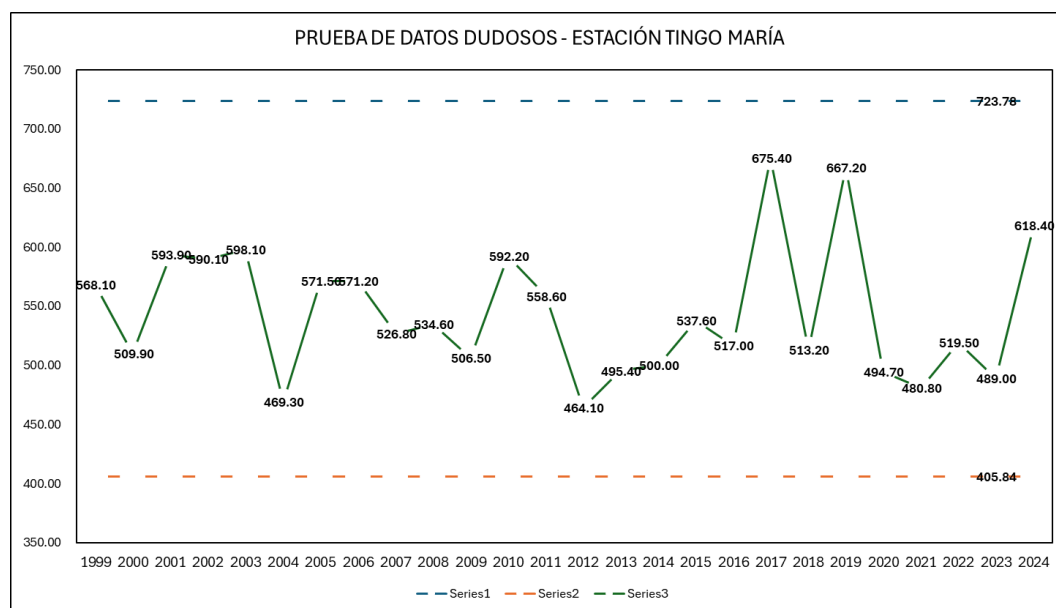
Nota. Caracterización de las precipitaciones mensuales promedio.

En la figura anterior se evidencia el comportamiento de las precipitaciones en un año hidrológico que inicia en el mes de agosto y culmina en el mes de julio, de dicha figura se pudo determinar que el pico de

precipitaciones se da entre los meses de diciembre a marzo con un valor promedio de 420 mm, mientras que el menor valor de precipitaciones se registra en el mes de agosto con un valor de 106.66 mm, con ello se pudo identificar que el comportamiento hidrológico de la zona concuerda con la realidad.

Figura 9

Aplicación de la prueba de datos dudosos

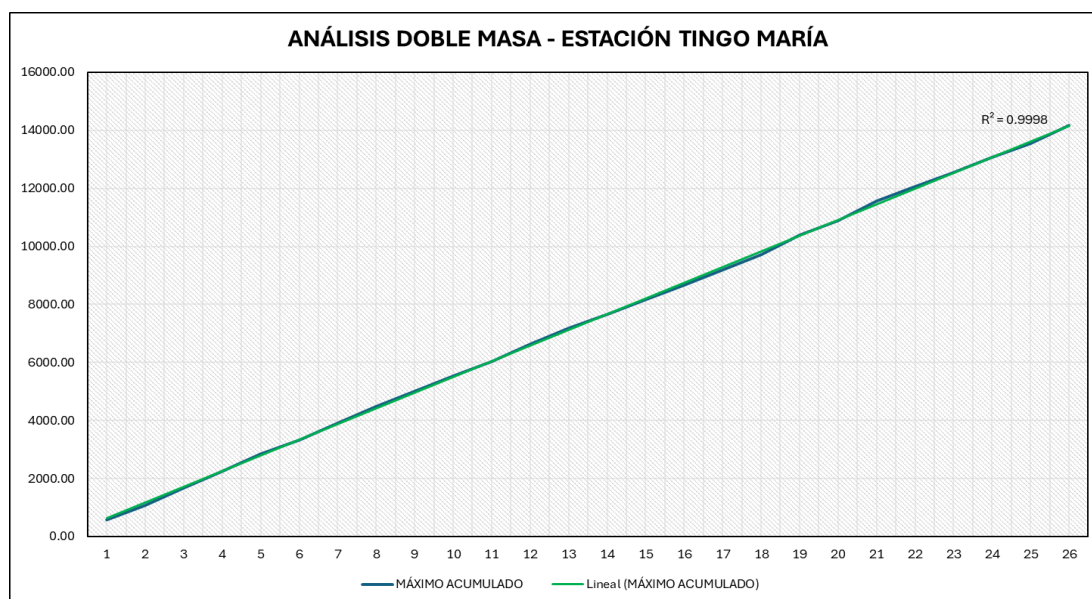


Nota. Aplicación de la prueba Outlier para la estación Tingo María.

En la figura anterior se puede identificar que las precipitaciones máximas anuales identificadas se encuentran dentro de los rangos estimados por la prueba de datos dudosos, dichos valores estimados son de 723.78 mm en el límite superior y de 405.84 mm en el límite inferior, dentro de la cual se encuentran los valores recopilados de la estación Tingo María.

Figura 10

Análisis visual doble masa



Nota. Comparación doble masa de los valores acumulados de precipitación.

En la figura se muestra el tipo de ajuste que presenta la serie acumulada de precipitaciones, de la figura se puede obtener que el ajuste que presenta es de 0.99 siendo un valor muy ajustado a una tendencia lineal considerando que solo se tomaron en cuenta 25 años de periodo histórico.

Tabla 8

Prueba de bondad

PRUEBA DE BONDAD KOLMOGOROV - SMIRNOV	
DISTRIBUCIÓN	DELTA
NORMAL	0.0946
LOGNORMAL 2P	0.0871
LOGNORMAL 3P	0.0939
GAMMA 2P	0.0907
GAMMA 3P	0.08217
GUMBEL	0.1025
LOGGUMBEL	0.1168

Nota. Caracterización de la prueba de bondad a partir de máximas precipitaciones.

En la tabla anterior se evidencia que a partir de la aplicación de la prueba de bondad Kolmogorov – Smirnov de distribuciones estadísticas, se evidenció que la distribución que mejor ajuste presenta es la de Gamma 3P con un valor de delta menor de 0.08217 siendo en comparación con las otras consideradas la que mejor ajuste se da con los 20 años de registro histórico analizado.

Tabla 9*Valores de lluvia en diferentes periodos de retorno*

PRECIPITACIONES EN PERIODOS DE RETORNO	
AÑOS	LLUVIA (mm)
2	103.04
5	126.00
10	139.38
25	154.72
50	165.24
100	175.10
105	175.77
500	196.08
1000	204.40
10000	227.63

Nota. Valores de precipitación proyectados para diferentes periodos de retorno con la distribución Gamma 3p.

En la tabla anterior se presentan los valores de precipitación proyectados en diferentes periodos de retorno, de la cual se pudo identificar que para un periodo de retorno de 100 años el valor de precipitación es de 175.10 mm. Los demás valores de precipitación se determinaron con la finalidad de ajustar los parámetros de las curvas IDF estimadas.

Tabla 10*Lluvias en diferentes duraciones*

PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA DIFERENTES TIEMPOS DE DURACIÓN (mm)												
DURACIÓN	COEF.	2 AÑOS	5 AÑOS	10 AÑOS	25 AÑOS	50 AÑOS	100 AÑOS	105 AÑOS	500 AÑOS	1000 AÑOS	10000 AÑOS	0 AÑOS
1 hr	0.30	34.85	42.62	47.15	52.34	55.89	59.23	59.46	66.33	69.14	77.00	
2 hr	0.39	45.64	55.81	61.73	68.53	73.19	77.55	77.85	86.85	90.53	100.82	
3 hr	0.46	53.64	65.59	72.56	80.55	86.02	91.16	91.50	102.08	106.41	118.50	
4 hr	0.52	60.28	73.71	81.54	90.52	96.67	102.44	102.83	114.71	119.58	133.17	
5 hr	0.57	66.03	80.74	89.32	99.15	105.89	112.21	112.64	125.65	130.98	145.87	
6 hr	0.61	71.11	86.95	96.19	106.77	114.03	120.84	121.30	135.31	141.06	157.09	
8 hr	0.68	79.74	97.51	107.87	119.74	127.88	135.51	136.03	151.75	158.19	176.17	
10 hr	0.75	86.84	106.19	117.46	130.39	139.26	147.57	148.13	165.25	172.26	191.84	
12 hr	0.80	92.77	113.44	125.49	139.30	148.77	157.65	158.25	176.53	184.03	204.94	

14 hr	0.84	97.81	119.6 1	132.3 1	146.8 7	156.8 6	166.2 2	166.8 5	186.1 3	194.0 3	216.0 8
16 hr	0.88	102.1 9	124.9 6	138.2 2	153.4 4	163.8 7	173.6 5	174.3 1	194.4 5	202.7 1	225.7 4
18 hr	0.91	106.0 8	129.7 1	143.4 9	159.2 8	170.1 1	180.2 6	180.9 5	201.8 6	210.4 2	234.3 4
20 hr	0.94	109.6 5	134.0 8	148.3 2	164.6 4	175.8 3	186.3 3	187.0 4	208.6 5	217.5 0	242.2 2
22 hr	0.97	113.0 5	138.2 4	152.9 2	169.7 4	181.2 9	192.1 0	192.8 4	215.1 2	224.2 5	249.7 3
24 hr	1.00	116.4 4	142.3 8	157.5 0	174.8 3	186.7 2	197.8 6	198.6 2	221.5 7	230.9 7	257.2 2

Nota. Valores de precipitación para diferentes duraciones de tormenta aplicando la metodología de los coeficientes.

En la tabla anterior se evidencia la estimación de precipitación de diseño para diferentes duraciones de tormenta, de ella se pudo identificar que para una duración de 6 horas la precipitación máxima en un periodo de retorno de 100 años es de 120.84 mm.

Tabla 11

Estimación de los coeficientes de la curva de intensidad

COEFICIENTES DE INTENSIDAD	
K	479.582
m	0.089
n	0.619

Nota. Valores de la ecuación de intensidad para la cuenca de interés.

En la tabla anterior se presentan los valores de coeficientes de precipitación de acuerdo con la ecuación $I = \frac{KT^m}{t^n}$, los valores de la ecuación estimados fueron de 479.582, 0.089 y 0.619 para los coeficientes K, m y n respectivamente.

Tabla 12

Valores de IDF para la cuenca

INTENSIDADES - DURACIÓN - FRECUENCIA												
AÑO S	DURACIÓN EN MINUTOS											
	T	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
2	188.4 3	122.7 3	95.50	79.93	69.63	62.20	56.54	52.06	48.40	45.3 5	42.7 5	40.5 1
5	204.3 6	133.1 0	103.5 7	86.69	75.51	67.46	61.32	56.46	52.49	49.1 8	46.3 7	43.9 4
10	217.3 0	141.5 3	110.1 3	92.18	80.29	71.73	65.21	60.04	55.82	52.3 0	49.3 0	46.7 2
25	235.6 6	153.4 9	119.4 4	99.97	87.08	77.79	70.72	65.11	60.54	56.7 2	53.4 7	50.6 7
50	250.5 8	163.2 1	127.0 0	106.3 0	92.59	82.72	75.19	69.23	64.37	60.3 1	56.8 5	53.8 8
100	266.4 4	173.5 4	135.0 4	113.0 3	98.45	87.95	79.95	73.62	68.44	64.1 2	60.4 5	57.2 9

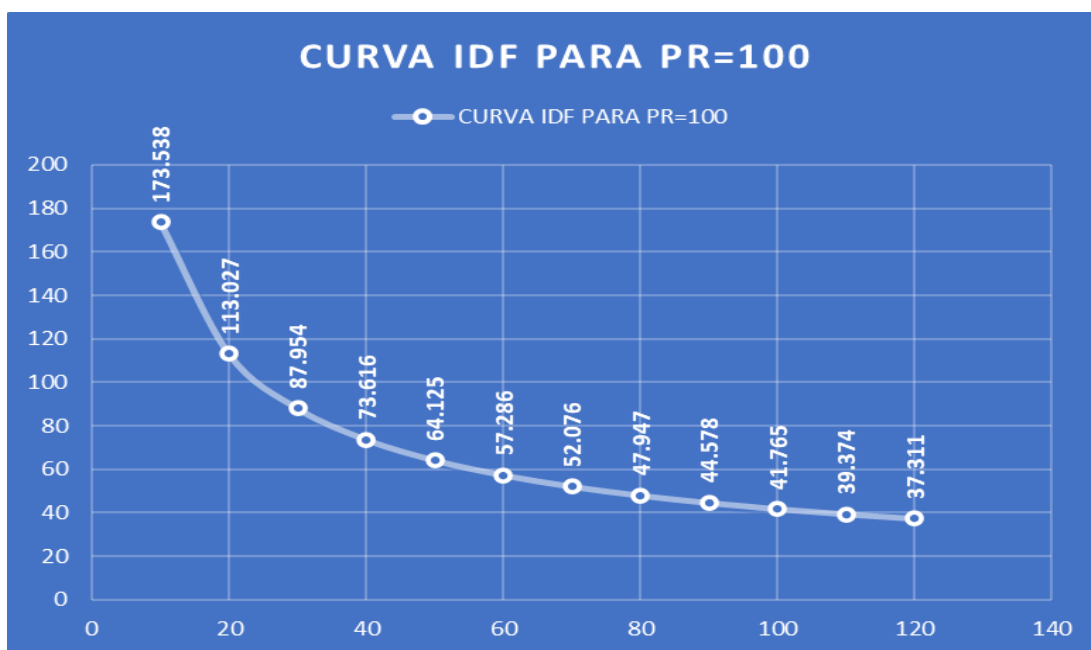
105	267.6 0	174.2 9	135.6 3	113.5 2	98.88	88.34	80.30	73.93	68.74	64.4 0	60.7 2	57.5 3
500	307.2 6	200.1 2	155.7 3	130.3 4	113.5 4	101.4 3	92.20	84.89	78.93	73.9 5	69.7 1	66.0 6
1000	326.7 1	212.7 9	165.5 9	138.5 9	120.7 2	107.8 5	98.04	90.27	83.92	78.6 3	74.1 3	70.2 4
1000	400.6 0	260.9 2	203.0 4	169.9 4	148.0 3	132.2 4	120.2 2	110.6 8	102.9 1	96.4 1	90.8 9	86.1 3

Nota. Valores de curva IDF para diferentes años.

En la tabla anterior se presentaron los valores de intensidad para diferentes periodos de retorno y en duraciones distintas, de ello se pudo determinar que para un periodo de retorno de 100 años los valores de intensidad para los 30 min y 60 min son de 87.95 mm/min y 57.29 mm/min respectivamente. A partir de dichos valores se pudo determinar las curvas IDF para cada periodo de retorno calculado y ajustado.

Figura 11

Curva IDF para la zona de estudio

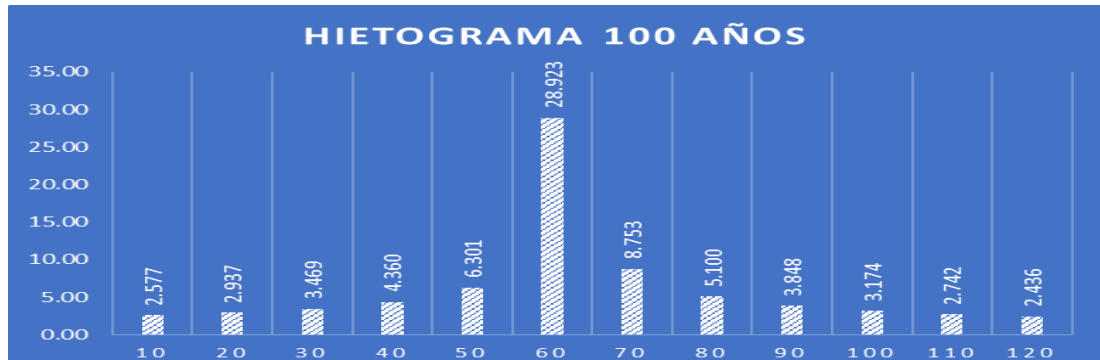


Nota. Curva IDF 100 años para la zona de interés con tiempo de concentración de 120 min.

En la figura anterior se muestra la curva IDF calculada para el área de interés en específico siendo que el valor máximo de intensidad será de 173.538 mm/hr llegando a un valor mínimo de intensidad a los 120 min (tiempo de concentración culminado) de 37.311 mm/hr.

Figura 12

Hietograma de diseño



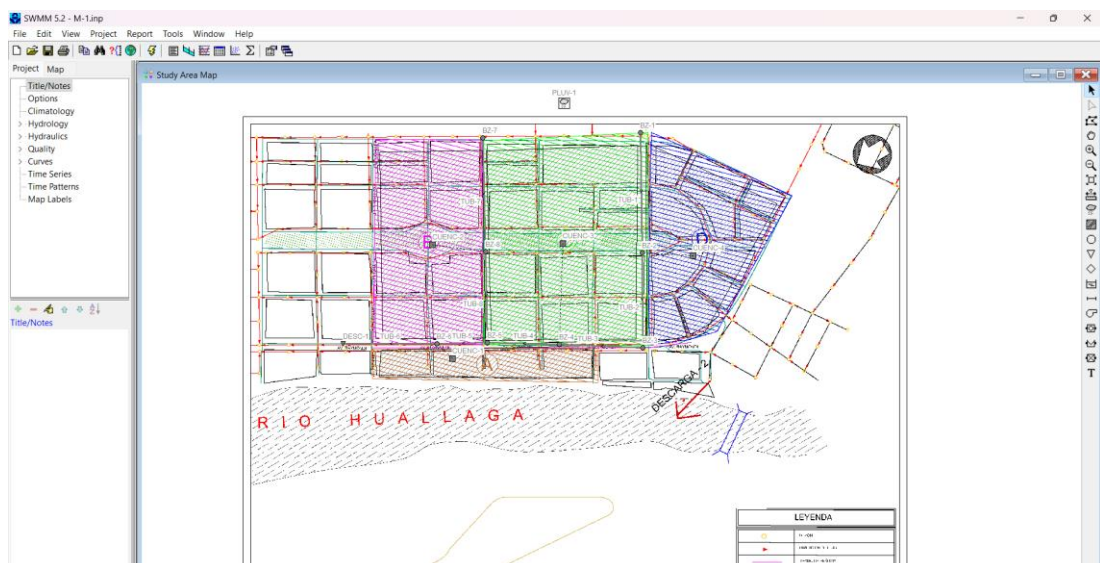
Nota. Valores de hietograma de diseño por bloque alterno.

En la figura anterior se presenta que a partir de la estimación de variación de precipitaciones y con la aplicación de la metodología del bloque alterno se pudo determinar que el valor pico de intensidad de diseño es de 28.923 mm/hr en una duración de tormenta de 60 min.

MODELO SWMM

Figura 13

Modelo topológico base



Nota. Se tuvo como modelo base la sectorización por cuencas urbanas. Adaptado SWMM, 2024.

En la figura anterior se presenta la sectorización de las 04 cuencas elaboradas en partes anteriores de la investigación a partir de ello se elaboró la topología de la zona teniendo en cuenta los parámetros geométricos de cada uno de ellos.

Tabla 13

Consideraciones geométricas del modelo

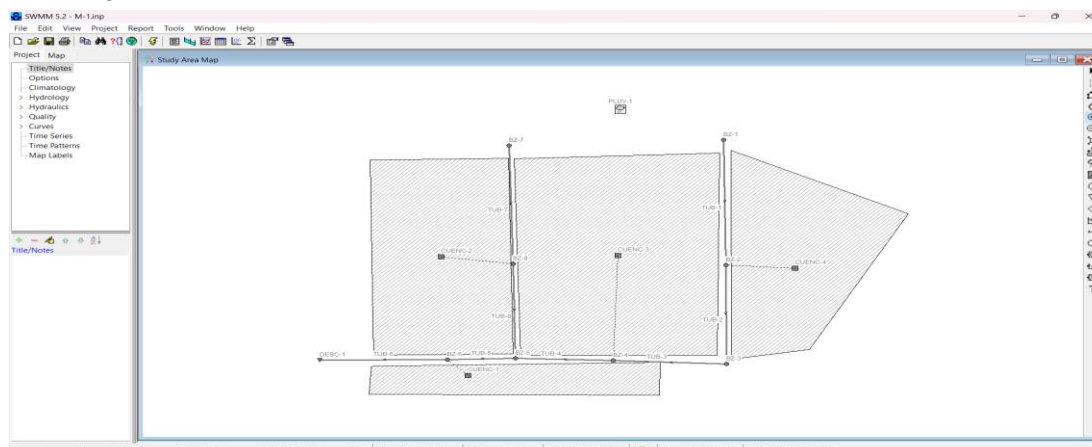
DATOS DEL MODELO GEOMÉTRICO				
NOMBRE	TIPO	LONGITUD	COTA DE INICIO	COTA DE FIN
BZ-1	BUZÓN	-	650.24	-
BZ-2	BUZÓN	-	649.50	-
BZ-3	BUZÓN	-	648.81	-
BZ-4	BUZÓN	-	647.74	-
BZ-5	BUZÓN	-	647.01	-
BZ-6	BUZÓN	-	646.32	-
BZ-7	BUZÓN	-	649.71	-
BZ-8	BUZÓN	-	648.36	-
TUB-1	CONDUCTO	246.4339	650.24	649.50
TUB-2	CONDUCTO	228.95	649.50	648.81
TUB-3	CONDUCTO	215.07	648.81	647.74
TUB-4	CONDUCTO	145.53	647.74	647.01
TUB-5	CONDUCTO	138.13	647.01	646.32
TUB-6	CONDUCTO	116.94	646.32	645.74
TUB-7	CONDUCTO	449.88	646.32	648.36
TUB-8	CONDUCTO	449.88	648.36	647.01
DESC-1	DESCARGA	-	-	645.74

Nota. Puntos que requerirán ser modelados en SWMM.

En la tabla anterior se presenta cada uno de los componentes geométricos que serán tomados en cuenta para la elaboración del modelo de simulación de inundación, se tomaron en cuenta un total de 08 buzones, 8 tuberías (canales rectangulares), y un punto de descarga ubicado en la Av. Raymondi.

Figura 14

Modelo geométrico de la zona SWMM

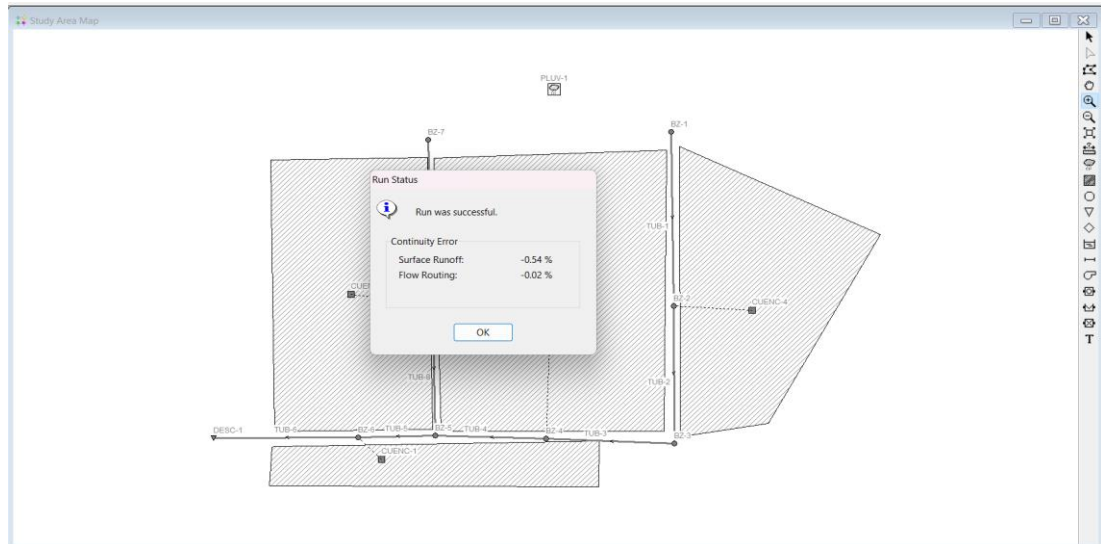


Nota. Modelo topológico final SWMM. Adaptado SWMM, 2024.

En la figura anterior se presenta el modelo topológico final elaborado para la investigación en ella se tomaron en cuenta los valores de área presentados en ítems anteriores, así como la inclusión del pluviógrafo a partir del hietograma de diseño obtenido para la zona.

Figura 15

Parámetros de confiabilidad

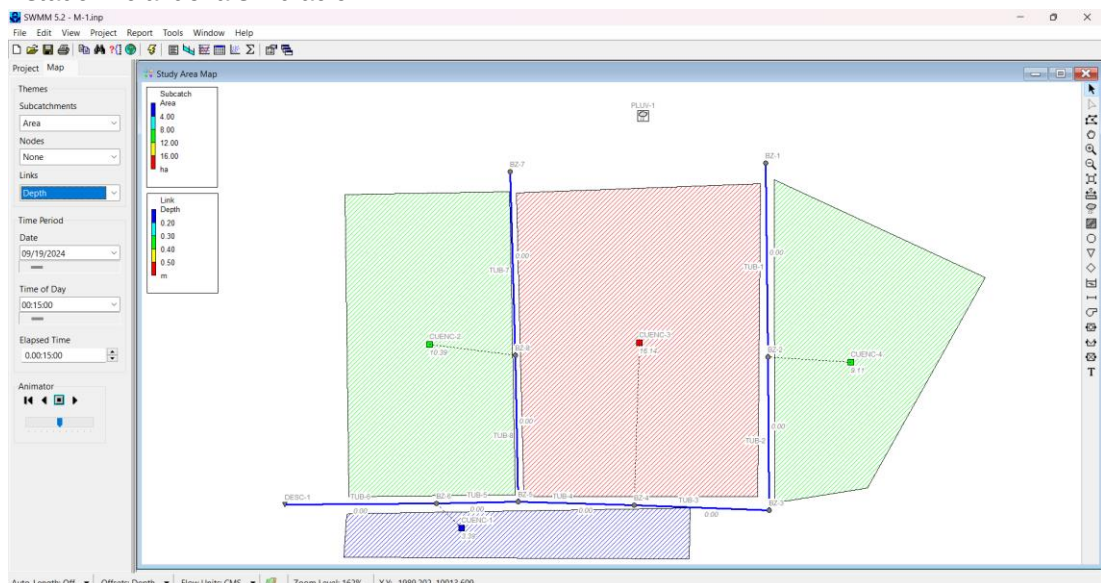


Nota. Valores de aceptación para el modelo ejecutado. Adaptado SWMM, 2024.

En la figura anterior se muestra que el error de escorrentía superficial está en -0.54% y el valor del error de direccionamiento de flujo es del -0.02% lo cual evidencia que el modelo fue elaborado y ejecutado con un alto grado de confiabilidad.

Figura 16

Estado inicial de la simulación

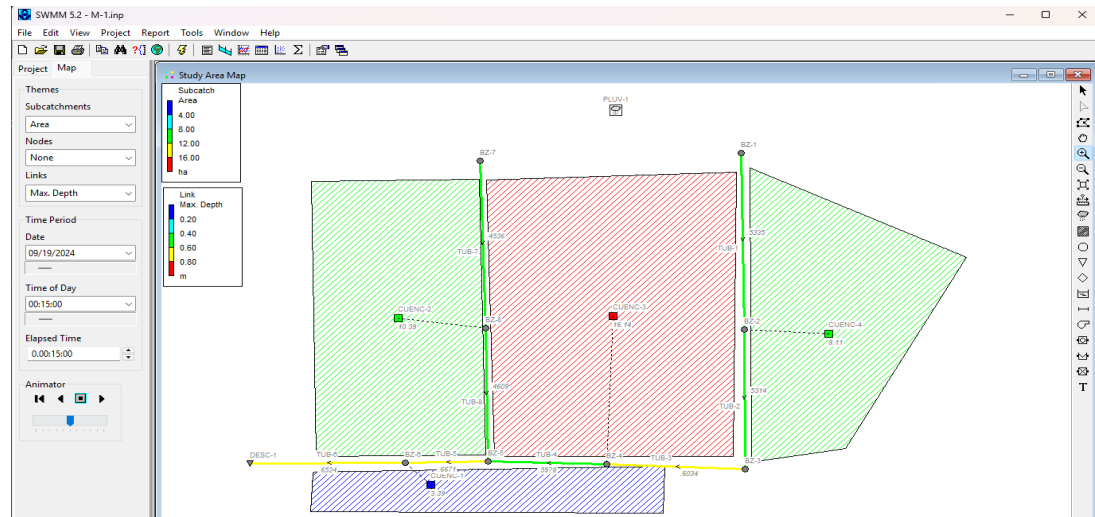


Nota. Periodo inicial de la simulación. Adaptado SWMM, 2024.

En la figura se evidencia el modelo de inundación en un estado inicial en cuanto a los conductos modelados para la zona de investigación, presentando tirantes base de 0 metros, de tiempo de lapso de 15 min.

Figura 17

Estado intermedio de simulación

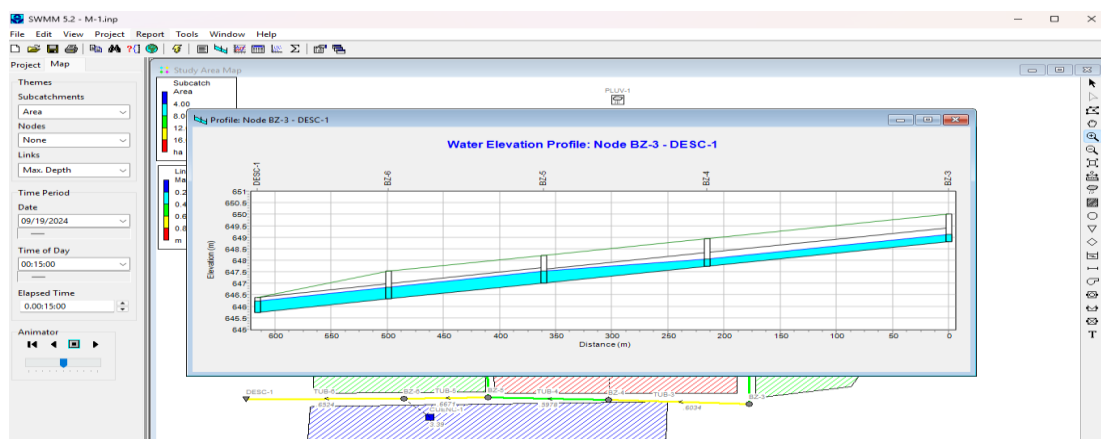


Nota. Periodo crítico de la simulación. Adaptado SWMM, 2024.

De la figura se puede evidenciar los valores de tirante para cada uno de los conductos modelados teniendo que los conductos de 3, 4 y 5 presentan los tirantes de 0.603 m, 0.5978 m, 0.667 m y 0.652 m, evidenciando que en un periodo intermedio de desarrollo de la tormenta de diseño los tirantes van incrementando críticamente.

Figura 18

Perfil longitudinal de estado intermedio



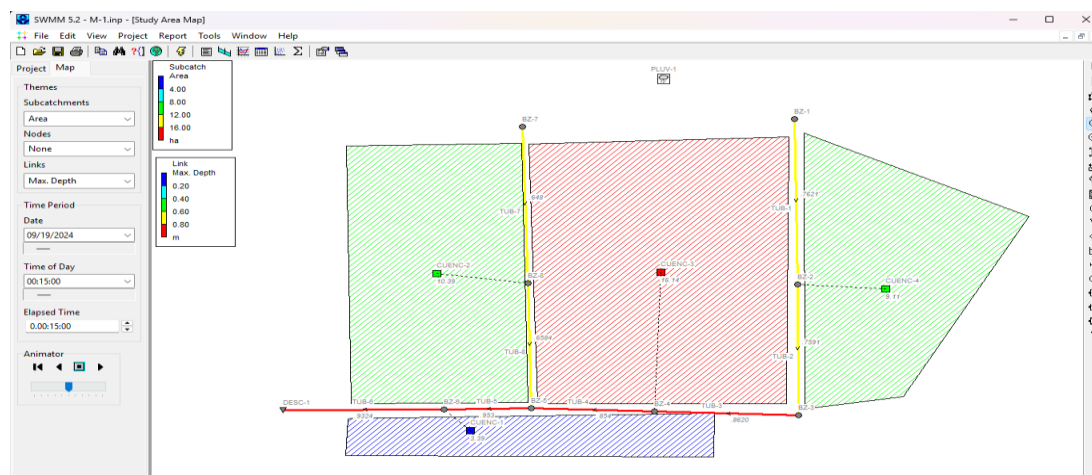
Nota. Sección transversal de los conductos 3, 4, 5 y 6. Adaptado SWMM, 2024.

En la figura se muestra que el tirante de los conductos de alcantarillado empieza a ser superado por los caudales generados en una precipitación con un PR de 100 años en un estado de tormenta de diseño intermedia, de la figura se puede evidenciar que el tirante de 0.90 m que cuenta la zona de

interés no es suficiente para el encauzamiento de las aguas pluviales de la zona

Figura 19

Estado de descarga de simulación.

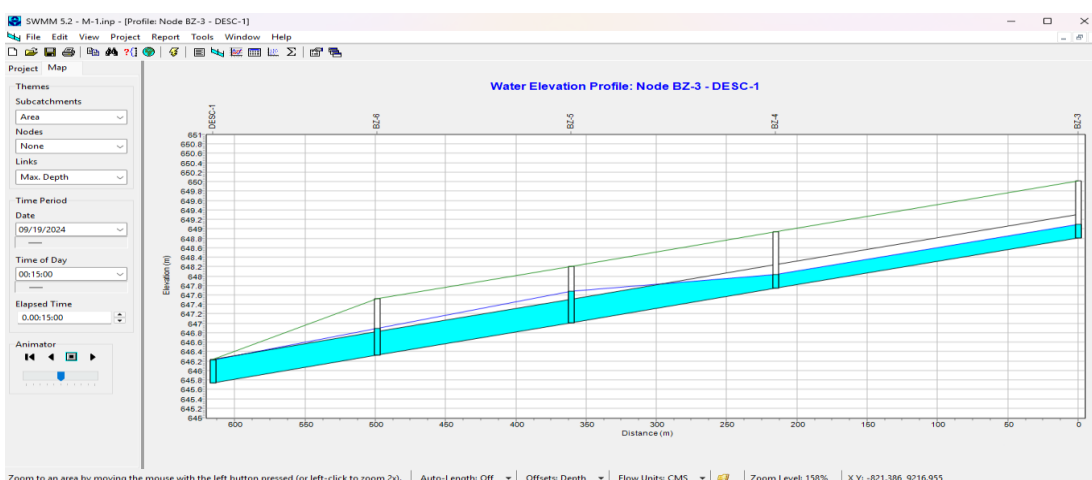


Nota. Periodo de descarga de los conductos. Adaptado SWMM, 2024.

De la figura se puede evidenciar los valores de tirante para cada uno de los conductos modelados teniendo que los conductos de 3, 4 y 5 presentan los tirantes de 0.862 m, 0.854 m, 0.953 m y 0.932 m, evidenciando así que frente a una precipitación de periodo de retorno de 100 años la estructura de alcantarillado de la Av. Raymondi colapsaría.

Figura 20

Perfil de descarga crítica

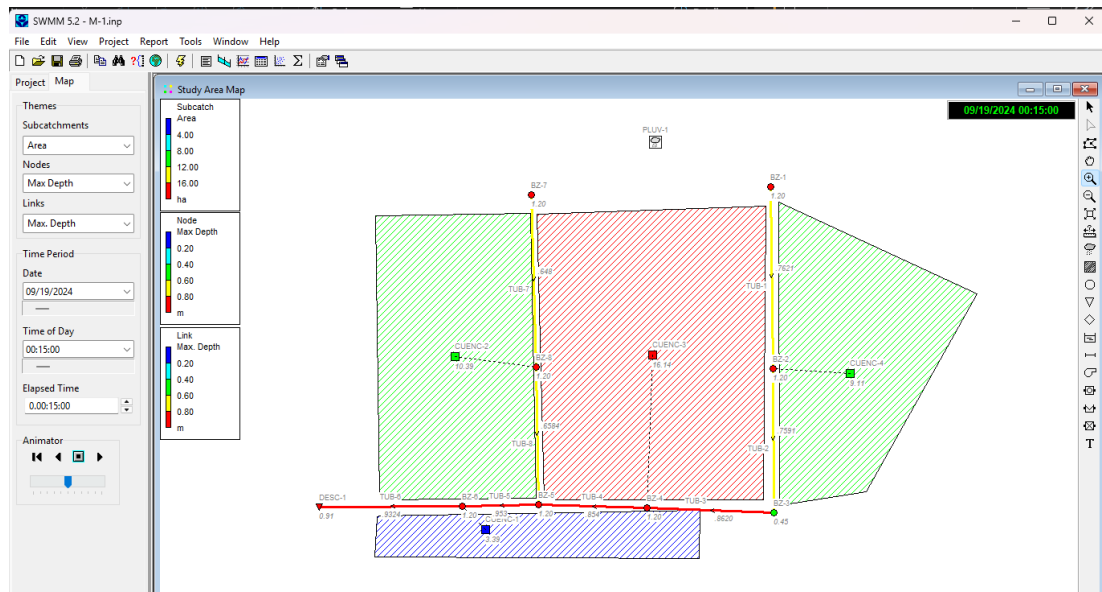


Nota. Perfil en temporada de descarga. Adaptado SWMM, 2024.

En la figura se muestra que el tirante de los conductos de alcantarillado es superado por los caudales generados en una precipitación con un PR de 100 años, de la figura se puede evidenciar que el tirante de 0.90 m que cuenta la zona de interés no es suficiente para el encauzamiento de las aguas pluviales de la zona.

Figura 21

Identificación de punto crítico



Nota. Identificación de punto crítico. Adaptado SWMM, 2024.

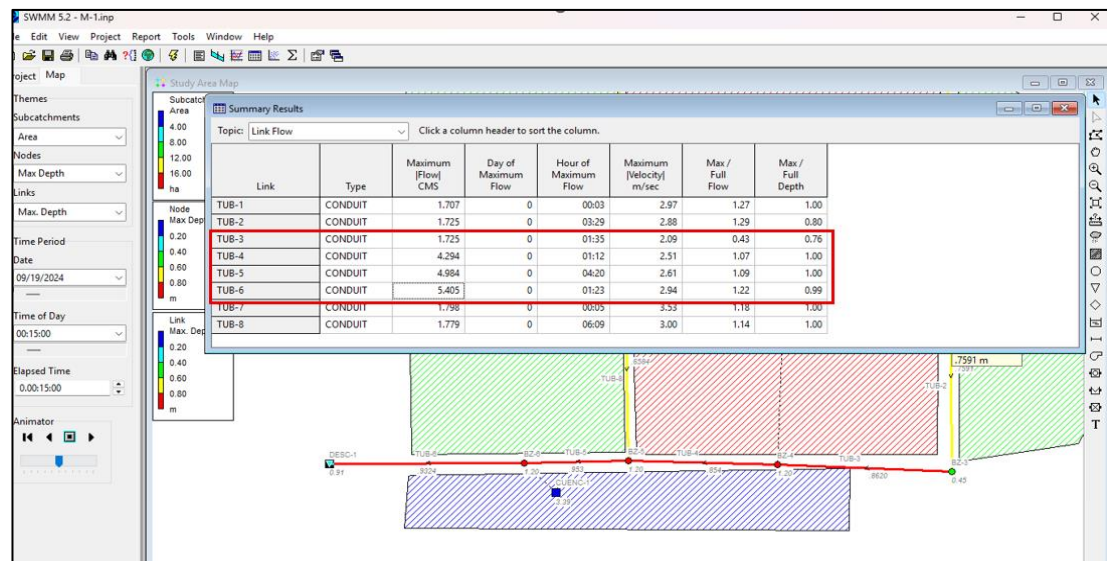
En la simulación se pudo evidenciar que la intersección de la Av. Raymondi y Jr. José Prato es un punto crítico ya que en ambos sentidos el tirante que se calculó supera la capacidad de transporte del sistema de alcantarillado.

MODELO MEJORADO SWMM

Con la identificación de los puntos críticos en la determinación de las zonas de inundación en la Av. Raymondi se planteó una mejora del sistema de encauzamiento de las aguas pluviales obteniendo lo siguiente:

Figura 22

Reporte de caudales SWMM



Nota. Estado crítico con mejora de conducto. Adaptado SWMM, 2024.

En la figura se muestra que los valores de caudal en el sector previamente identificado como crítico en promedio es de 4.102 m³/s con lo cual se planteó un incremento en la profundidad en toda la Av. Raymondi, con ello se plantea la mejora y la desaparición de un evento crítico en la zona.

Tabla 14

Estimación de sección de canal

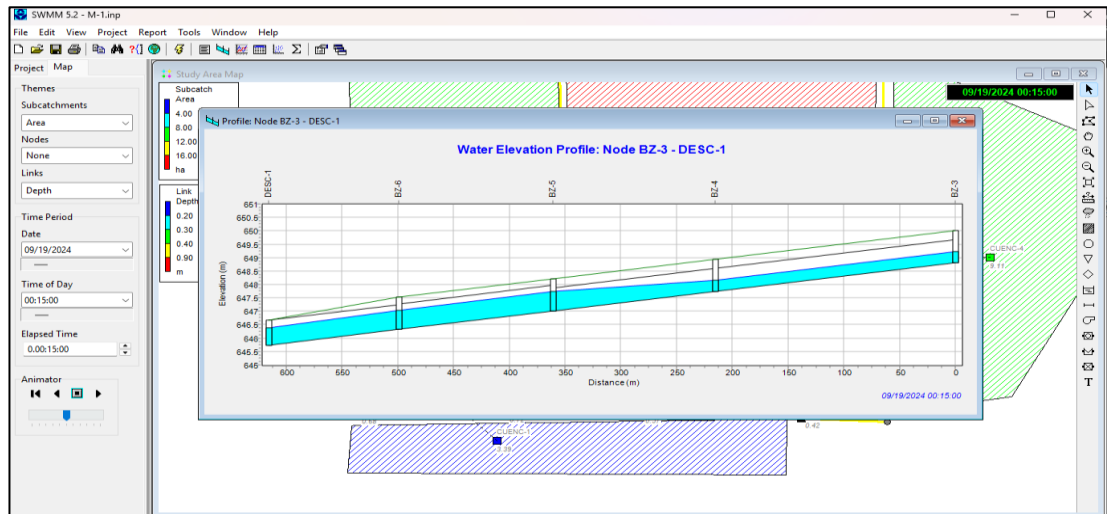
Parámetro	Símbolo	Cálculo	Resultado	Unidad
Área hidráulica	A	1.20×1.15	1.38	m ²
Perímetro mojado	P	$1.20 + 2(1.15)$	3.5	m
Radio hidráulico	R	$1.38 / 3.50$	0.394	m
Velocidad media	V	$4.102 / 1.38$	2.97	m/s
Número de Froude	Fr	$2.97 / \sqrt{(9.81 \times 1.15)}$	0.87	—
Borde libre (0.25 y)	h_l	0.25×1.15	$0.29 \approx 0.30$	m
Altura total	$H = y + h_l$	$1.15 + 0.30$	1.45	m
Criterio	Condición		Resultado	Cumple
Velocidad mínima (autolimpieza)	≥ 0.6 m/s		2.97 m/s	✓
Velocidad máxima (sin erosión)	≤ 6 m/s (concreto)		2.97 m/s	✓
Régimen de flujo	Fr < 1 subcrítico		0.87	✓
Borde libre mínimo	≥ 0.20 y		$0.25 y = 0.30$ m	✓

Nota. Criterios y diseño del canal optimizado.

El canal rectangular de concreto, con base $b = 1.20$ m y pendiente $S = 0.001$ m/m, rugosidad $n = 0.014$, presenta un tirante normal de 1.15 m y una altura total de 1.45 m, capaz de conducir un caudal de 4.10 m³/s con flujo subcrítico y velocidades seguras, conforme a los criterios de la Norma CE.040 (RNE) y el Manual de Canales Abiertos de la ANA (2019).

Figura 23

Perfil longitudinal mejorado

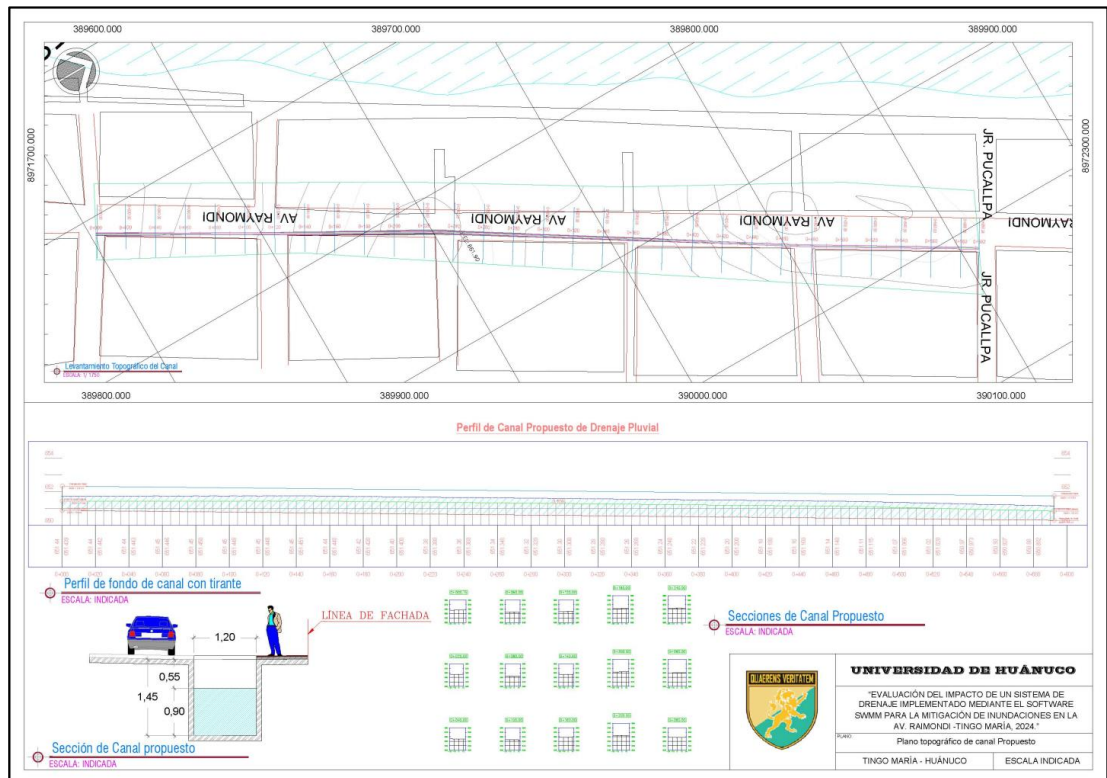


Nota. Modelo de tirantes en estado crítico con mejora de conducto. Adaptado SWMM, 2024.

Como se muestra en la figura al incrementar la profundidad del conducto el transporte de las aguas pluviométricas mejora llegando a no generar una inundación en el tramo de investigación al tan solo tener un tirante máximo de 0.95 m.

Figura 24

Plano topográfico del canal propuesto



Nota. Modelo topográfico con canal propuesto.

Como se muestra en la figura se incrementó el valor de la altura del canal llegando hasta una profundidad de 1.45m dicha mejora incrementó la capacidad de transporte de caudales a lo largo de la avenida mitigando los efectos de las inundaciones registradas en la zona.

4.2 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

HG: La implementación de un sistema de drenaje utilizando el software SWMM permitió mitigar significativamente el impacto de las inundaciones en la avenida Raimondi, Tingo María, 2024.

Figura 25

Perfil longitudinal de estado crítico

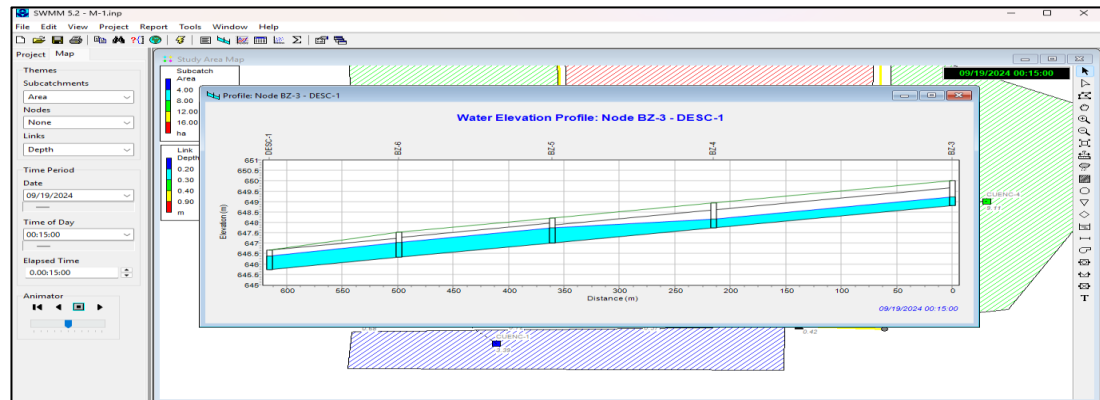


Nota. Sección transversal de los conductos 3, 4, 5 y 6. Adaptado SWMM, 2024.

Con la generación de los modelos de cuencas urbanas y con la posterior caracterización hidrológica de la zona se pudo evidenciar que en la actualidad frente a una precipitación con periodo de retorno de 100 años el alcantarillado en la zona de la Av. Raymondi colapsaría, esto debido a que hay un poco capacidad de transporte en el diseño de la red como se muestra en la figura. Haciendo uso del software SWMM se pudo demostrar que se puede optimizar la capacidad de transporte de la red incrementando la cota base de esta, como se muestra a continuación.

Figura 26

Perfil longitudinal mejorado



Nota. Modelo de tirantes en estado crítico con mejora de conducto. Adaptado SWMM, 2024.

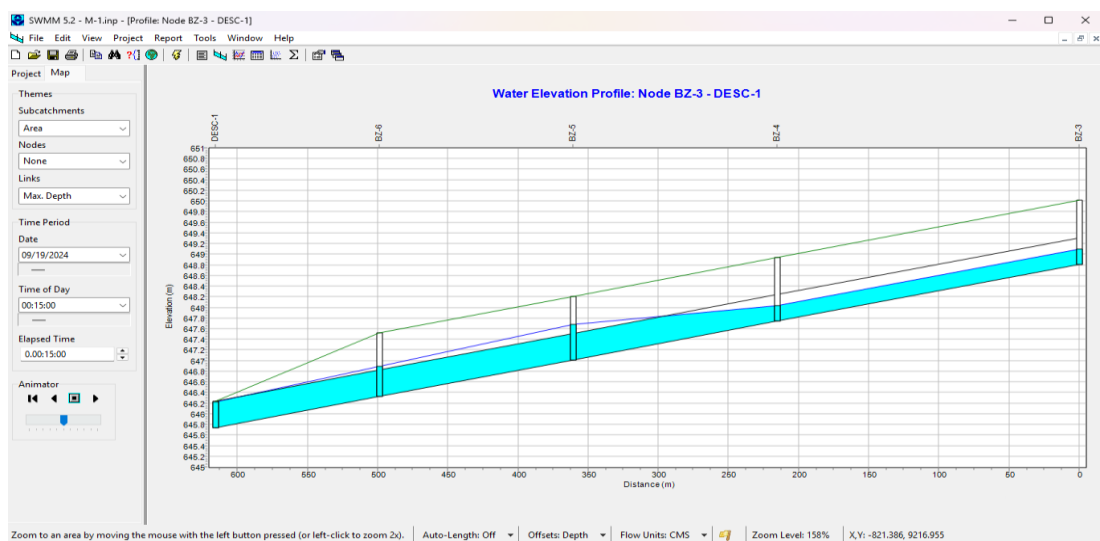
Como se muestra en la figura al incrementar la profundidad del conducto el transporte de las aguas pluviométricas mejora llegando a no generar una inundación en el tramo de investigación al tan solo tener un tirante máximo de 0.95 m.

Con ello se pudo demostrar que Implementación del sistema de drenaje mediante el software SWMM. reduce la acumulación de agua en los puntos críticos en la AV. Raimondi, dando así a la hipótesis general como verdadera y descartando la hipótesis nula.

HE1: Las inundaciones recurrentes en la avenida Raimondi de Tingo María son causadas por deficiencias en el sistema de drenaje actual, alta impermeabilidad del suelo urbano y una inadecuada gestión del escurrimiento pluvial.

Figura 27

Perfil longitudinal de estado crítico



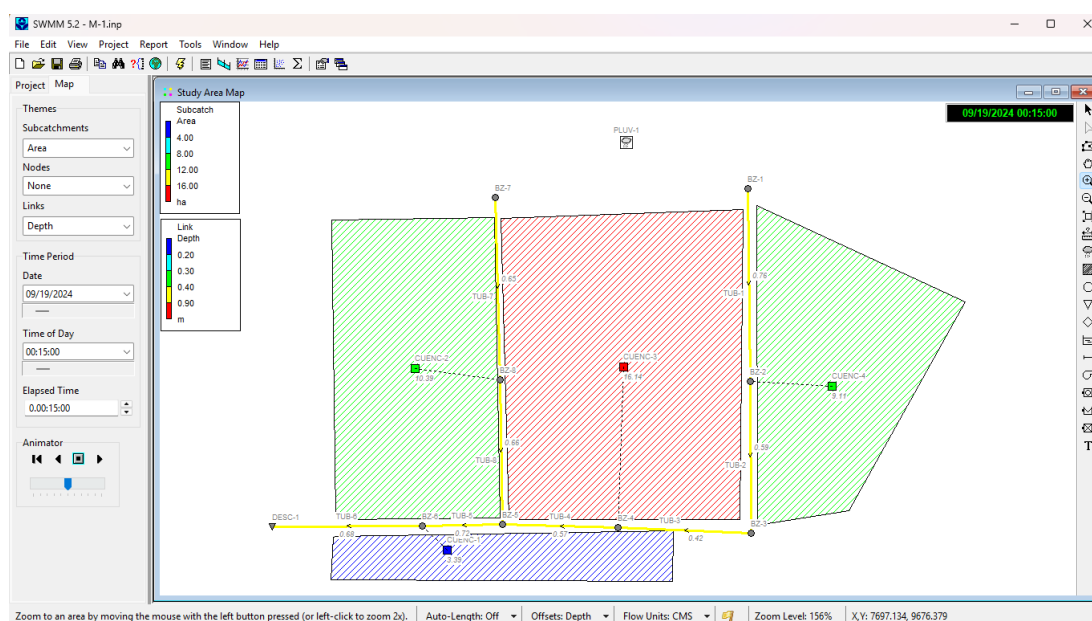
Nota. Sección transversal de los conductos 3, 4, 5 y 6. Adaptado SWMM, 2024.

En la figura se muestra que el tirante de los conductos de alcantarillado es superado por los caudales generados en una precipitación con un PR de 100 años, de la figura se puede evidenciar que el tirante de 0.90 m que cuenta la zona de interés no es suficiente para el encauzamiento de las aguas pluviales de la zona. Demostrando la deficiencia en el sistema de drenaje actual teniendo en cuenta los factores de suelo y una deficiente gestión del escurrimiento pluvial, dando por verdadera la primera hipótesis específica planteada.

HE2: La implementación de un sistema de drenaje diseñado con el software SWMM reducirá significativamente la acumulación de agua en los puntos críticos de la avenida Raimondi, optimizando el manejo del caudal pluvial y mejorando la capacidad de evacuación del agua.

Figura 28

Modelo con incremento de tirante de conducto



Nota. Estado crítico con mejora de conducto. Adaptado SWMM, 2024.

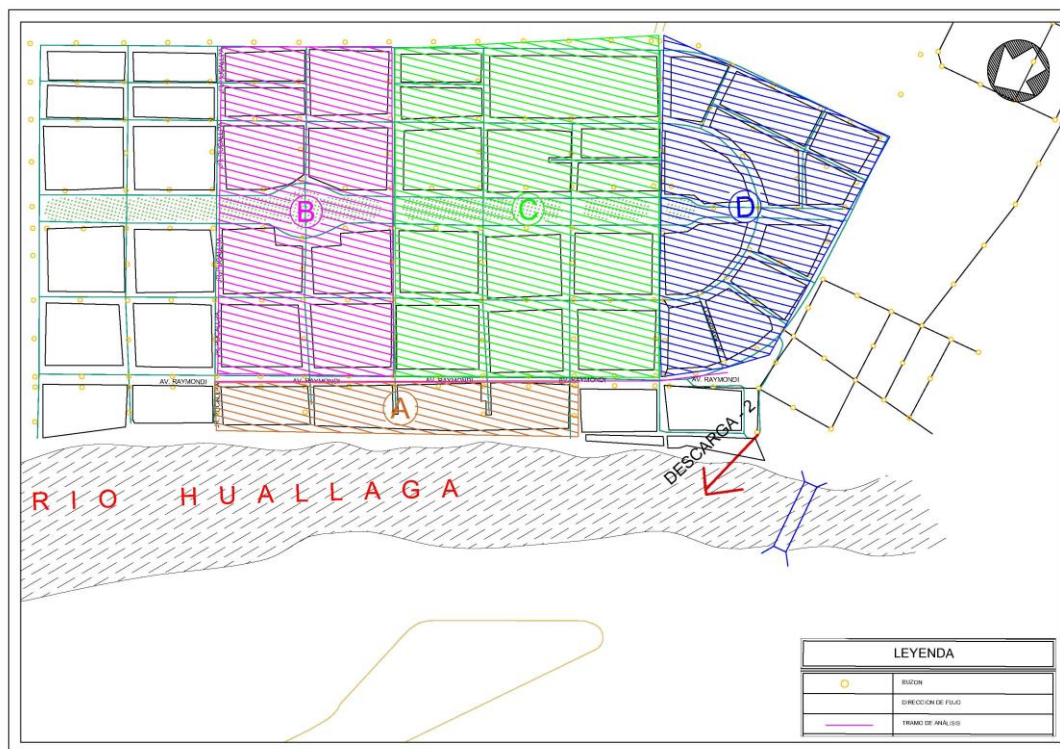
En la figura se muestra que los valores de tirante en el sector previamente identificado como crítico son de 0.95 m con lo cual se planteó un incremento en la altura del conducto estimándolo en 1.45 m de profundidad en toda la Av. Raymondi, con ello se evidencia la mejora y la desaparición de un evento crítico en la zona. Validando así la segunda hipótesis específica mejorando el diseño del drenaje con el software SWMM.

HE3: La durabilidad y el mantenimiento de la infraestructura vial en la avenida Raimondi mejorarán con la implementación del sistema de drenaje

diseñado con SWMM, siempre que se garantice una adecuada planificación de materiales, un programa de mantenimiento preventivo y una correcta integración del sistema de drenaje con la infraestructura existente.

Figura 29

Definición de cuencas urbanas



Nota. Definición de cuencas urbanas que desfogon en la zona de la Av. Raymondi.

En la figura anterior se presenta la subdivisión de cuencas que generan caudales para el tramo que corresponde a la Av. Raymondi, en la caracterización se pudo identificar un total de 04 cuencas urbanas aportantes a los 650 m de longitud de la avenida. El proceso de caracterización de subcuencas urbanas se realizó con la finalidad de la identificación del estado situacional de cada uno de los elementos que componen la red de drenaje, finalmente se obtuvo un diseño adecuado y funcional siempre y cuando las condiciones de descolmatación y cobertura de suelo no varíen de forma extrema y cambien las condiciones de impermeabilidad de la zona, con dichos resultados finalmente se valida la última hipótesis específica planteada.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para Ojeda (2020), se propuso evaluar el sistema de drenaje pluvial en un campus universitario mediante herramientas hidrológicas, hidráulicas, topográficas y sociales. El enfoque metodológico partió del procesamiento estadístico de datos históricos de precipitación máxima diaria para determinar la tormenta de diseño, y culminó con el diseño de un sistema de drenaje dividido en dos fases. La primera, mediante tuberías de PVC enterradas para captar el agua de lluvia y reducir su impacto en el campus, y la segunda, orientada al aprovechamiento sustentable de esta agua mediante infiltración al subsuelo utilizando una caja receptora y un canal de tierra. En la presente investigación, a diferencia del enfoque sustentable adoptado en la tesis de referencia, se orientó el análisis a la mitigación directa de inundaciones urbanas en una vía crítica como la avenida Raimondi de Tingo María. Se estimaron los parámetros de precipitación utilizando la metodología del bloque alterno, obteniéndose una intensidad crítica de 28.923 mm/h para un tiempo de concentración de 120 minutos y un periodo de retorno de 100 años, valores que superan significativamente las condiciones típicas debido a la vulnerabilidad de la zona. Se propuso el rediseño de la red de drenaje aumentando la profundidad del canal a 1.45 m, con el fin de incrementar la capacidad de conducción y cumplir con los requerimientos hidráulicos. A diferencia del estudio de Ojeda et al., que prioriza la sostenibilidad hídrica a través de la infiltración, la presente investigación se enfoca en una solución estructural inmediata, considerando que el sistema existente presentaba deficiencias severas y no cumplía con el manejo básico de caudales durante lluvias intensas. Asimismo, mientras en el antecedente se optó por tuberías de PVC enterradas, aquí se trabajó con canales abiertos de sección rectangular, debido a la factibilidad constructiva y a las condiciones existentes en la avenida. Otra diferencia fundamental radica en el objetivo funcional del sistema: en el caso de Ojeda et al., el enfoque está centrado en el aprovechamiento y reintegración del agua al ciclo natural mediante recarga hídrica, mientras que en esta tesis el diseño apunta principalmente a evacuar

rápidamente el caudal acumulado para evitar daños a la infraestructura vial y la interrupción del tránsito vehicular.

Para Luna Victoria (2021), en su investigación desarrollada en la Universidad Nacional de Trujillo, se tuvo como objetivo principal diseñar un sistema de drenaje eficiente para mitigar las inundaciones urbanas en la ciudad de Otuzco. Se utilizó el modelo SWMM, calibrado y validado con datos hidrometeorológicos y topográficos del área, y se simularon distintos escenarios de precipitación para evaluar la respuesta del sistema. El diseño final incluyó componentes como cunetas, alcantarillas y canales de desvío, todos orientados a maximizar la eficiencia hidráulica del sistema. Las conclusiones resaltaron la viabilidad técnica del proyecto y su impacto positivo en la infraestructura urbana, recomendando el uso continuo del software SWMM en la planificación de obras urbanas. En la presente investigación, al igual que en el estudio de Luna Victoria, se aplicó el software SWMM como herramienta fundamental para el diseño de un sistema de drenaje pluvial urbano. Sin embargo, a diferencia del enfoque integral en Otuzco que incluyó varios tipos de estructuras (cunetas, alcantarillas y canales), en el presente caso se centró específicamente en el redimensionamiento del sistema de canales existentes en la avenida Raimondi, pasando de secciones con tirantes de aproximadamente 90 cm a una nueva profundidad de 1.45 m, con el objetivo de mitigar las inundaciones en puntos críticos de esta vía estratégica de Tingo María. Otro contraste importante radica en el tratamiento de la precipitación. Mientras que Luna Victoria empleó un proceso de calibración basado en varios escenarios hidrológicos con datos extendidos y validados, en esta tesis se utilizó la metodología del bloque alterno para obtener la intensidad crítica de 28.923 mm/h para un periodo de retorno de 100 años, lo que refleja un enfoque puntual y adaptado a las condiciones locales, aunque limitado por la disponibilidad de datos a una sola estación meteorológica cercana. En términos de resultados, ambos estudios coinciden en que el uso de SWMM permitió identificar soluciones técnicamente viables y efectivas para la gestión del agua pluvial urbana. Sin embargo, la propuesta de esta investigación se enmarca en una necesidad más urgente y localizada, dada la presencia de un sistema existente deficiente, por lo cual no se diseñó un sistema completamente nuevo, sino que se optimizó el existente, adaptándolo

estructural y dimensionalmente a las condiciones reales del caudal estimado. Mientras el estudio de Otuzco plantea una renovación más amplia del sistema urbano de drenaje con un enfoque prospectivo, el presente trabajo responde a un contexto de intervención correctiva orientada a la mitigación inmediata del riesgo de inundaciones en una vía clave para la ciudad.

Para Merlo y Soto (2021), en su investigación el objetivo principal fue comparar el sistema de drenaje urbano de Cajamarca con referentes internacionales, con el fin de identificar deficiencias locales y proponer mejoras estructurales y de gestión. Su metodología incluyó una revisión técnica de buenas prácticas globales, junto con un análisis del sistema existente en Cajamarca. Entre los hallazgos más relevantes, se evidenció que la ciudad presenta deficiencias graves como infraestructura insuficiente, falta de mantenimiento, y baja capacidad de respuesta frente a eventos de lluvia intensa. Como propuesta, recomendaron la implementación de estrategias sostenibles como sistemas de drenaje verde, tecnologías modernas, y planificación integral comunitaria para incrementar la eficiencia y resiliencia urbana. En la presente investigación, si bien no se abordó un análisis comparativo a escala internacional, se identificaron deficiencias similares al caso de Cajamarca, como la falta de mantenimiento y una capacidad hidráulica insuficiente del sistema existente en la avenida Raimondi. A diferencia del enfoque propositivo de Merlo y Soto, basado en modelos sostenibles y recomendaciones a largo plazo, esta tesis optó por una intervención técnica correctiva directa, con base en simulaciones desarrolladas en SWMM, que permitieron redimensionar los canales de conducción de una profundidad de 0.90 m a 1.45 m, logrando así mitigar las inundaciones recurrentes en esta vía crítica. Mientras Merlo y Soto destacan la implementación de sistemas de drenaje verde y enfoques comunitarios como alternativa sostenible, la presente investigación se enfoca en una solución estructural inmediata adaptada al entorno urbano y vial existente. El rediseño no incluyó tecnologías verdes ni criterios de sostenibilidad hídrica, debido a la urgencia del problema y la necesidad de mantener la operatividad vial. No obstante, ambas investigaciones coinciden en la importancia de modernizar los sistemas actuales y de incorporar criterios técnicos sólidos para la gestión de aguas pluviales urbanas.

CONCLUSIONES

La evaluación de los impactos derivados de la implementación de un sistema de drenaje optimizado permitió concluir que al aumentar la profundidad de cota de los conductos a 1.45 m, la capacidad de conducción de aguas pluviales mejora significativamente, reduciendo los efectos de inundación en la avenida Raimondi.

El análisis de las causas de inundación evidenció que una precipitación extrema con un periodo de retorno de 100 años alcanzaría una intensidad de 28.923 mm/hr, lo que provocaría inundaciones en la zona de estudio. Además, la falta de mantenimiento del sistema de alcantarillado en el área agrava este problema.

En la investigación se propuso optimizar el sistema de drenaje existente mediante el incremento de la profundidad de tirante de diseño a 1.45 m en la línea de conducción.

En cuanto a los factores que influyen en la estructura del sistema de encauzamiento, se determinó que este estaría compuesto de concreto, material que requiere un mantenimiento periódico, ya que el arrastre de materiales finos en el agua pluvial podría reducir la profundidad de tirante establecida en el diseño.

RECOMENDACIONES

En la aplicación del software SWMM se recomienda tener una topología muy concisa debido a la dificultad de generar geometrías individuales en los sistemas de alcantarillado, esto se puede mejorar teniendo en una hoja Excel los parámetros de modificación para el modelo de simulación.

En la identificación de las causas de inundación se recomienda tener en cuenta las cuencas aportantes que no necesariamente estén cerca al tramo analizado.

Para la proposición de un nuevo sistema de drenaje de la zona se recomienda tener en cuenta el modelo actual para solo elaborar modificaciones con respecto a lo que ya se encuentra ejecutado.

Para la descripción de cada uno de los factores intervinientes con la durabilidad del proyecto se recomiendan la ejecución de mantenimientos rutinarios con la finalidad de menguar las acumulaciones de sólidos en el trayecto de la red planteada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, F. (2021). *Evaluación del drenaje pluvial de vías urbanas para establecer puntos críticos de inundación en un distrito*. UPLA.
- Bonilla Triana, L. F. (2019). *Evaluación de la influencia de los sistemas de drenaje urbano sostenible en la reducción del riesgo de inundación urbana*. Bogotá D.C.: Universidad De Los Andes.
- Delgado, M. (2019). *"Fundamentos del Modelado Hidrológico y Urbano"*. LIMA: Editorial Universitaria Peruana.
- Fernández, C. (2021). *"Métodos de Modelado Hidrológico para Áreas Urbanas en Perú"*. LIMA: Ediciones Hidro-Urbanas.
- García, A. e. (2018). *Gestión sostenible de aguas pluviales en Lima Metropolitana*. LIMA: INIRA Editorial.
- Gómez, L. (2021). *"Consideraciones de Diseño para la Mitigación de Riesgos en Infraestructuras Peruanas"*. LIMA: Editorial de Ingeniería y Arquitectura.
- González Rojas, D. A., Velásquez Correal, M., & Gutiérrez Contreras, D. F. (2021). *Análisis sistemático de literatura sobre sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) para evaluar alternativas de implementación en la ciudad de Villavicencio*. Colombia : Universidad Cooperativa De Colombia
- González, A. (2021). *"Factores a Considerar en la Implementación de Sistemas de Drenaje en Perú"*. LIMA: Publicaciones Técnicas Peruanas.
- Gutiérrez, R. (2020). *"Desafíos Ambientales y Urbanos en Tingo María"*. LIMA: Ediciones Andinas.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2020). *Plan Nacional frente a la gestión de riesgo de desastres 2020-2030*. LIMA: INDECI.
- Luna Victoria Narro, P. D. (2021). *Diseño de un sistema de drenaje pluvial urbano en la ciudad de otuzco, la libertad mediante el uso del modelo matemático SWMM*. Lima: Pontificia Universidad Católica Del Perú.
- Merlo Romero, V. H., & Soto Pedrera, G. R. (2021). *Análisis del sistema de drenaje urbano en base a estudios de nivel internacional y su relación al*

- sistema de drenaje en la ciudad de Cajamarca, 2020*. Cajamarca - Perú: Universidad Privada del Norte.
- Ojeda De La Cruz, A., Alvarez Chavez, C. R., & Orona Llano, D. C. (15 de Abril de 2020). *Drenaje pluvial sostenible. Una alternativa de gestión del agua de lluvia en la Universidad de Sonora*. Obtenido de Revista de la Facultad de Arquitectura Universidad Autónoma de Nuevo León: <https://contexto.uanl.mx/index.php/contexto/article/view/192>
- Pérez, A. (2020). *"Infraestructura Vial y Vulnerabilidad ante Inundaciones en el Perú"*. LIMA: Editorial Técnica Andina.
- Pérez, C. (2021). *"Diseño del Estudio de Evaluación de la Metodología de Impacto del Sistema de Drenaje en Perú"*. LIMA: Publicaciones Técnicas Peruanas.
- Pérez, J. (2020). *"Componentes Clave de un Sistema de Drenaje Eficaz en Perú"*. LIMA: Ediciones de Ingeniería Civil Peruana.
- Portella Delgado, J., & Villafuerte Mayanga, J. (2020). *Evaluación del riesgo de inundación del río Cascajal en el entorno del caserío de Síncope (distrito de Olmos) y análisis de alternativas de solución*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Prado., U. N. (2019). *Gestión Integral de Riesgos y Desastres en Tingo María*. LIMA: Editorial UNALM.
- Ramirez, J. (2018). *"Principios de Hidrología Urbana en el Contexto Peruano"*. LIMA: Editorial Técnica Peruana.
- Rodríguez, C. (2021). *"Evaluación de Sistemas de Drenaje para la Mitigación de Inundaciones en Perú"*. LIMA: Publicaciones Técnicas Peruanas.
- Valdivia, J. (2022). *"Introducción al Modelo SWMM para la Gestión de Aguas Pluviales en Perú"*. LIMA: Editorial Técnica Andina.
- Victoria, P. (2021). *Diseño de un sistema de drenaje pluvial urbano en la ciudad de Otuzco, La Libertad mediante el uso del modelo matemático SWMM*. PUCP.
- Villafuerte Mayanga, J. (2020). *Evaluación del riesgo de inundación del río Cascajal en el entorno del caserío de Síncope (distrito de Olmos) y análisis de alternativas de solución*. Lima:: Universidad Nacional de Ingeniería.

CÓMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Cespedes Estela, E. P. (2025). *Evaluación del impacto de un sistema de drenaje implementado mediante el software SWMM para la mitigación de inundaciones en la av. Raimondi -Tingo María, 2024* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco].

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: “EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE MEDIANTE EL SOFTWARE SWMM. PARA LA MITIGACIÓN DE INUNDACIONES EN LA AV. RAIMONDI - TINGO MARÍA, 2024.”

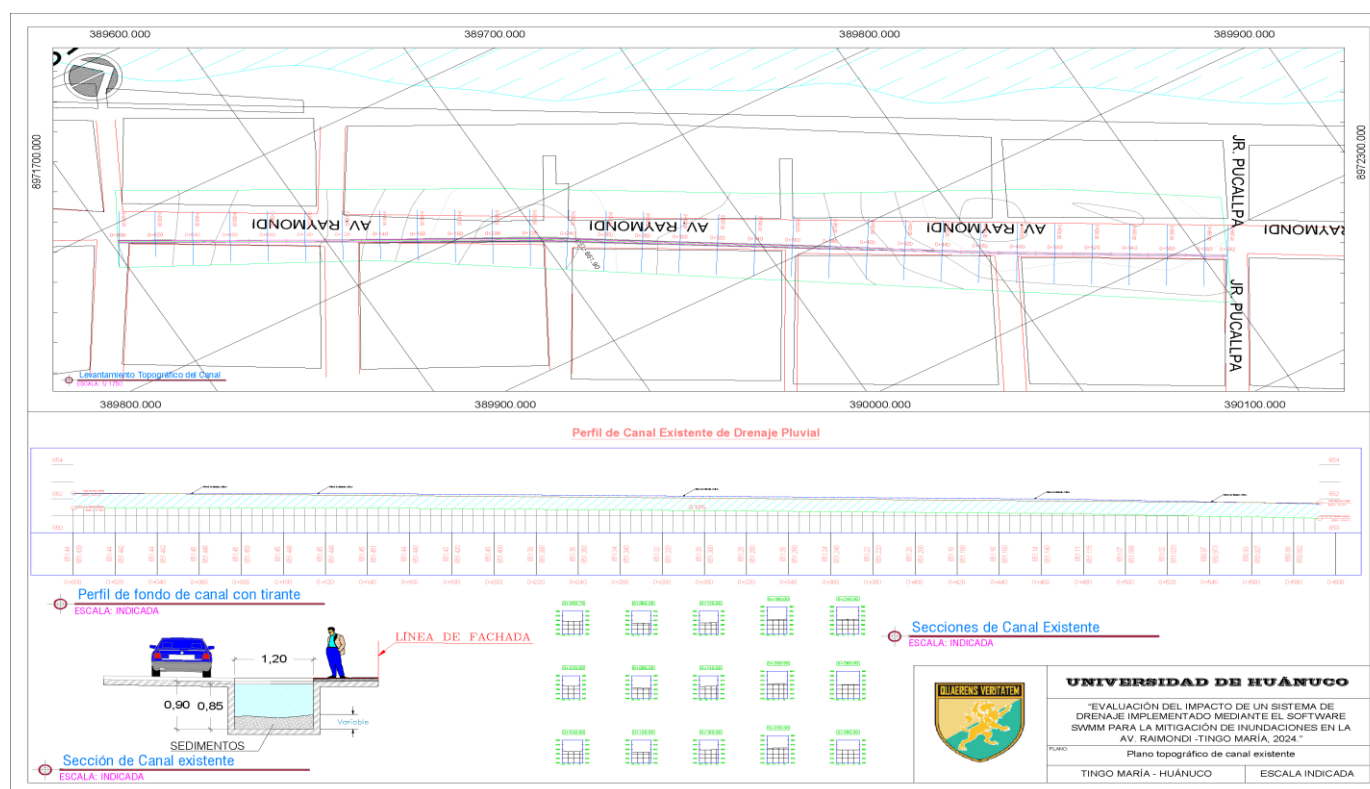
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Problema General: ¿Cómo impacta Implementación del sistema de drenaje mediante el software SWMM. para la mitigación de inundaciones en la AV. Raimondi - Tingo María, 2024? Problemas Específicos: ¿Cuáles son las causas de las inundaciones recurrentes en la AV. Raimondi - Tingo María? ¿De qué manera el software SWMM ayuda en la reducción de la acumulación de agua en puntos críticos de la AV. Raimondi? ¿De qué manera interviene en la durabilidad y el mantenimiento de la infraestructura vial la implementación del sistema de drenaje mediante el software SWMM en la AV. Raimondi?	Objetivo general Evaluar el impacto de Implementación del sistema de drenaje mediante el software SWMM. para la mitigación de inundaciones en la AV. Raimondi - Tingo María, 2024. Objetivos específicos Identificar las causas de las inundaciones recurrentes en la avenida Raimondi de Tingo María. Proponer un sistema de drenaje mediante el software SWMM para la reducción de la acumulación de agua en los puntos críticos de la AV. Raimondi. Describir sobre los factores intervinientes respecto a la durabilidad y el mantenimiento de la infraestructura vial con la implementación del sistema de drenaje mediante SWMM de la AV. Raimondi.	H1: Implementación del sistema de drenaje mediante el software SWMM. reduce la acumulación de agua en los puntos críticos en la AV. Raimondi - Tingo María, 2024. H0: Implementación del sistema de drenaje mediante el software SWMM. no reduce la acumulación de agua en los puntos críticos en la AV. Raimondi - Tingo María, 2024. Hipótesis específicas La identificación de las causas de inundaciones recurrentes en la avenida Raimondi permitió establecer medidas correctivas mediante el modelado SWMM. El uso del software SWMM redujo la acumulación de agua en los puntos críticos de la avenida Raimondi. La implementación del sistema de drenaje con SWMM mejoró la durabilidad y el mantenimiento de la infraestructura vial en la zona evaluada.	TÉCNICAS: Análisis de Documentos. Observación Directa. INSTRUMENTO: Hoja de Registro de Observación
		VARIABLES	

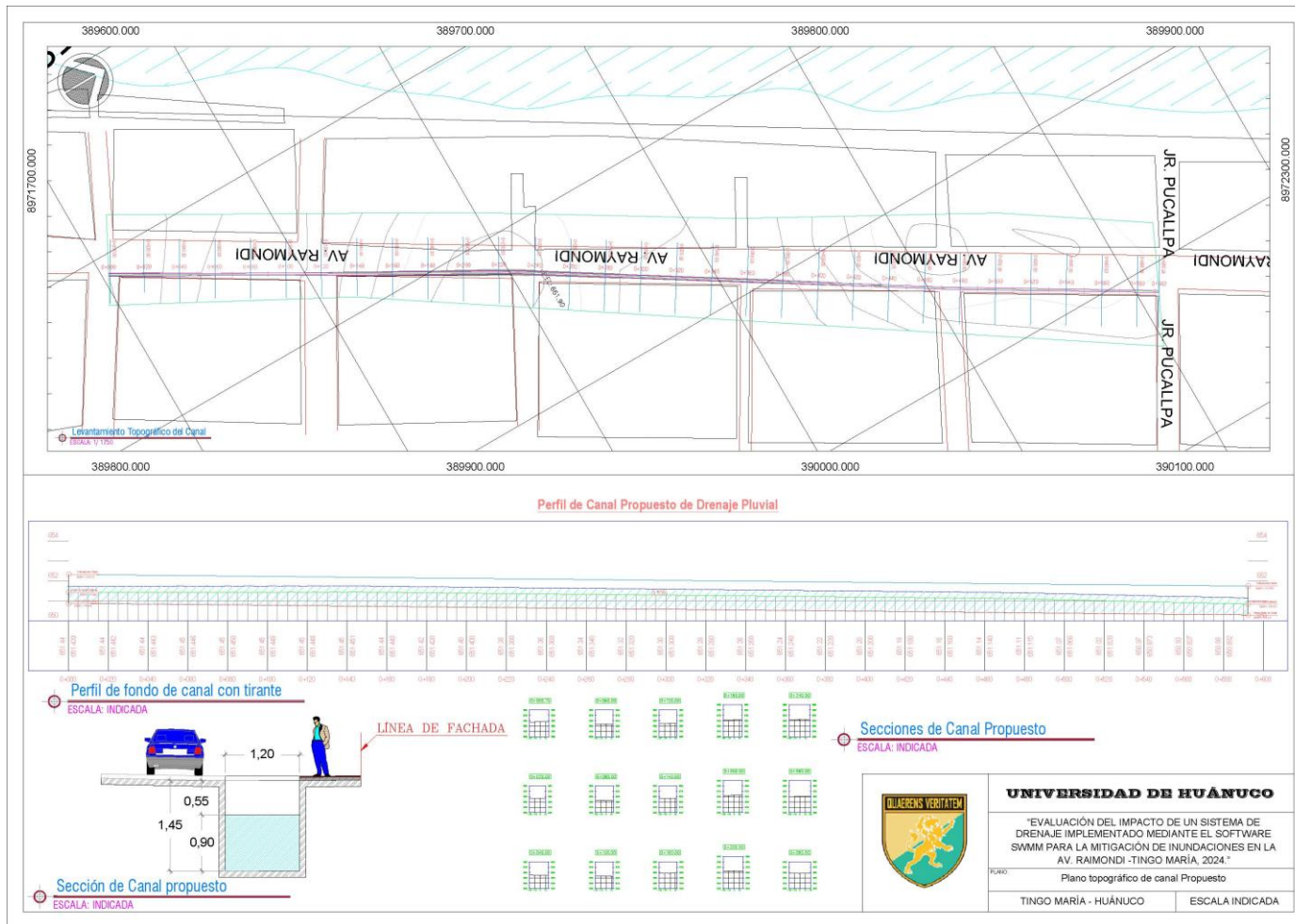
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN Y MUESTRA	
Enfoque El trabajo presente tiene un enfoque cuantitativo. Alcance o Nivel El trabajo de investigación pertenece al alcance exploratorio de la investigación. Diseño En un diseño no experimental.	Población Esta población estará constituida por toda la AV. Raymondi de la ciudad de Tingo María. Muestra La muestra, por otro lado, sería una selección específica de estas calles y áreas vulnerables en este caso será considerado el trayecto de la AV. Raymondi con las siguientes calles intersecadas Jr. Barranco y Jr., Pucallpa.	Variable Independiente X=Implementación del sistema de drenaje mediante el software SWMM. Variable Dependiente Y= Mitigación del impacto de las inundaciones en la avenida Raimondi.

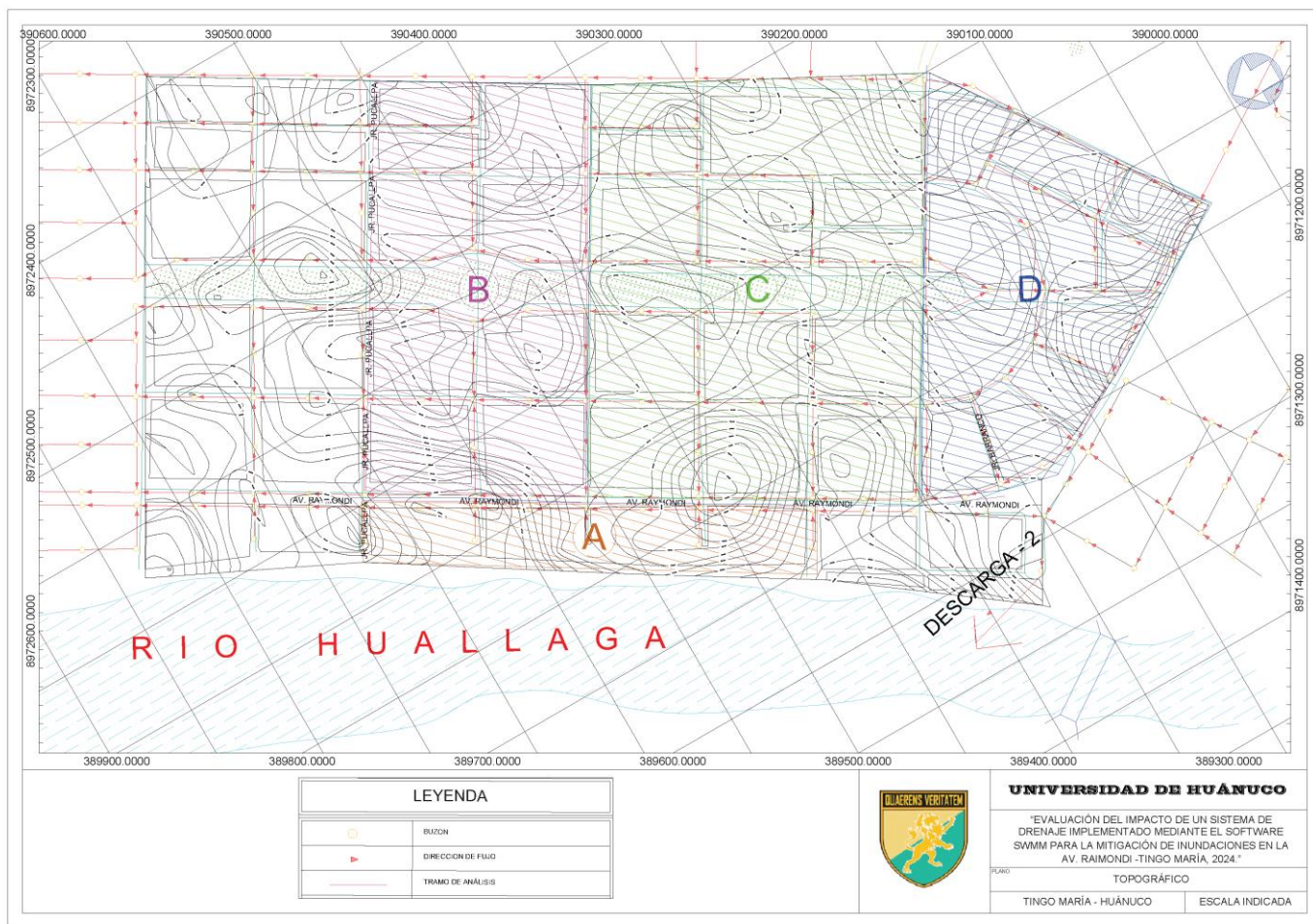
ANEXO 2

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO







FICHA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

FICHA DE OBSERVACIÓN EN CAMPO

Título de la investigación:

Evaluación del impacto de un sistema de drenaje implementado mediante el software SWMM para la mitigación de inundaciones en la Av. Raimondi - Tingo María, 2024.

Fecha de observación: _____

Nombre del observador: _____

Ubicación:

Av. Raimondi – Tingo María

1. Identificación del tramo

Ítem	Código de tramo	Progresiva Inicial	Progresiva Final
1			
2			

2. Dimensiones del canal (sección transversal)

Ítem	Ancho del canal (m)	Altura total del canal (m)	Profundidad libre (m)	Material del canal	Tipo de sección
1					
2					

3. Estado de colmatación

Ítem	Porcentaje estimado de colmatación (%)	Tipo de material colmatante	Observaciones (bloques, basura, sedimento)
1			
2			

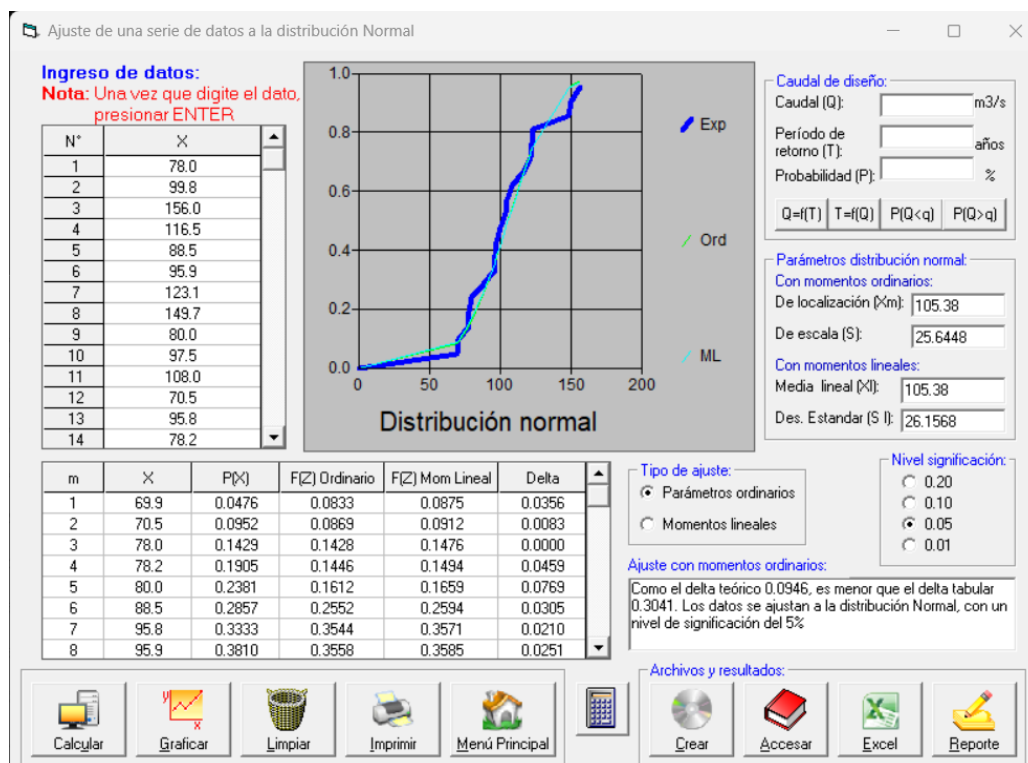
4. Observaciones adicionales

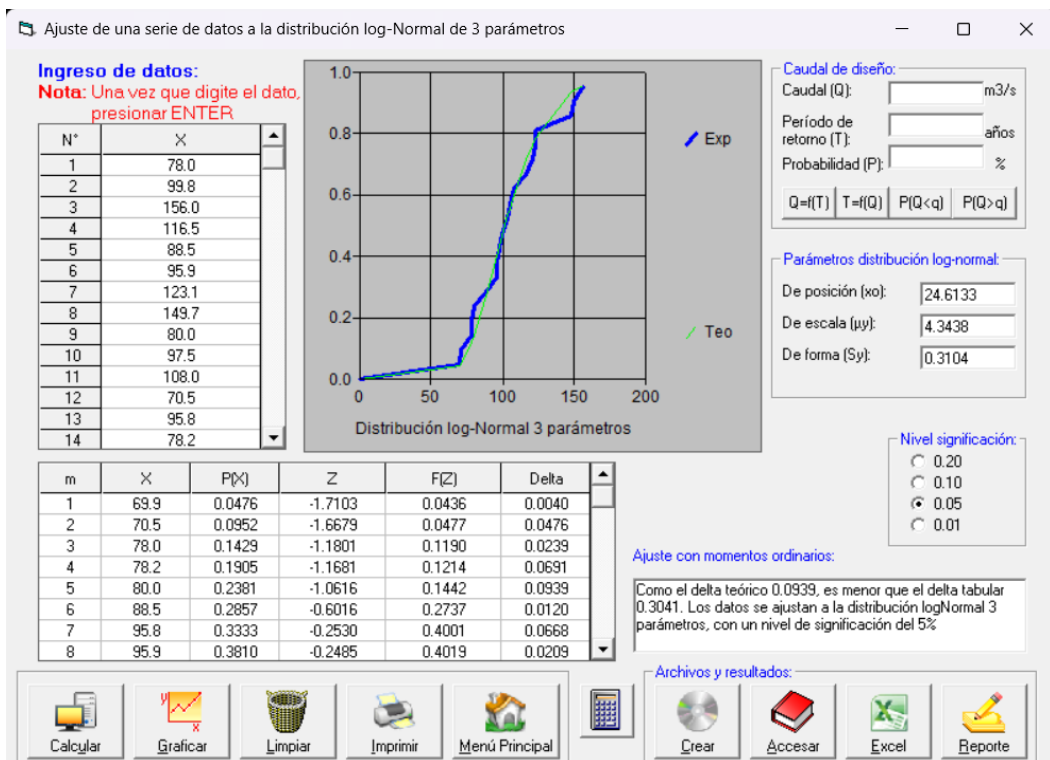
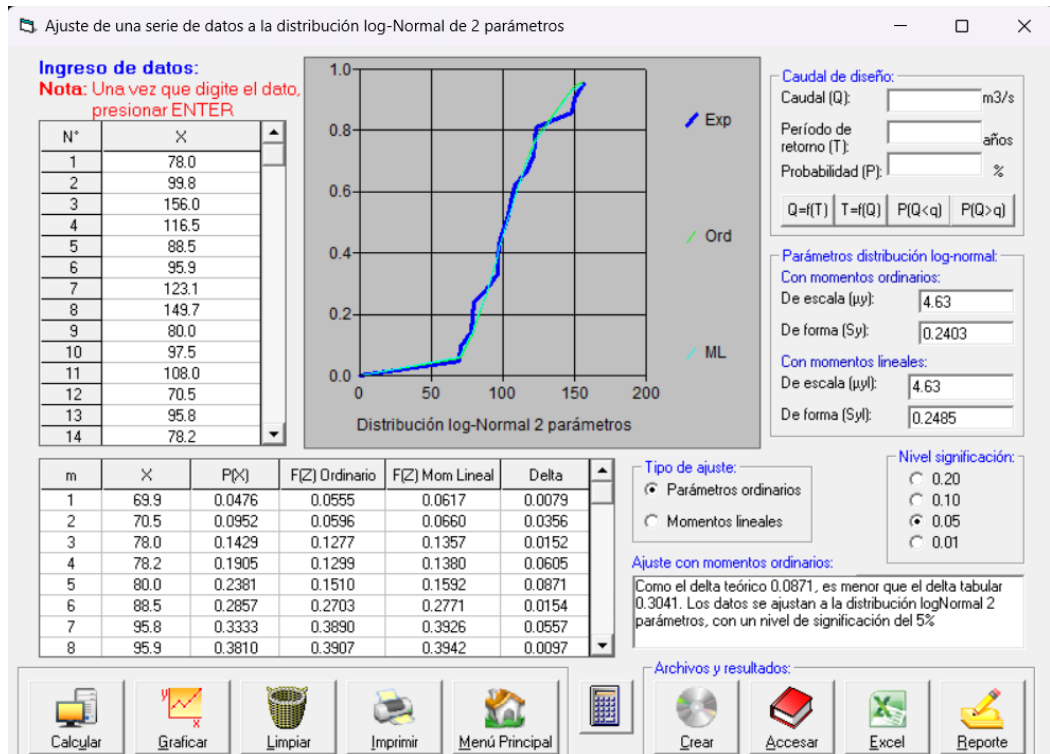
Presencia de rejillas o estructuras adicionales:

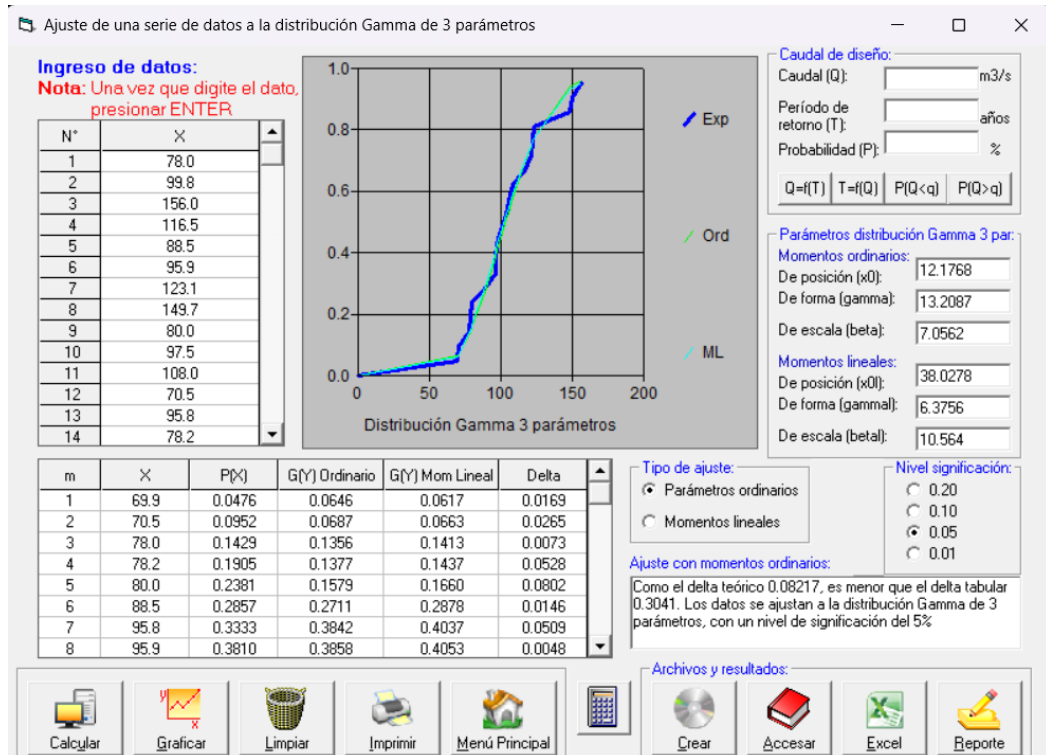
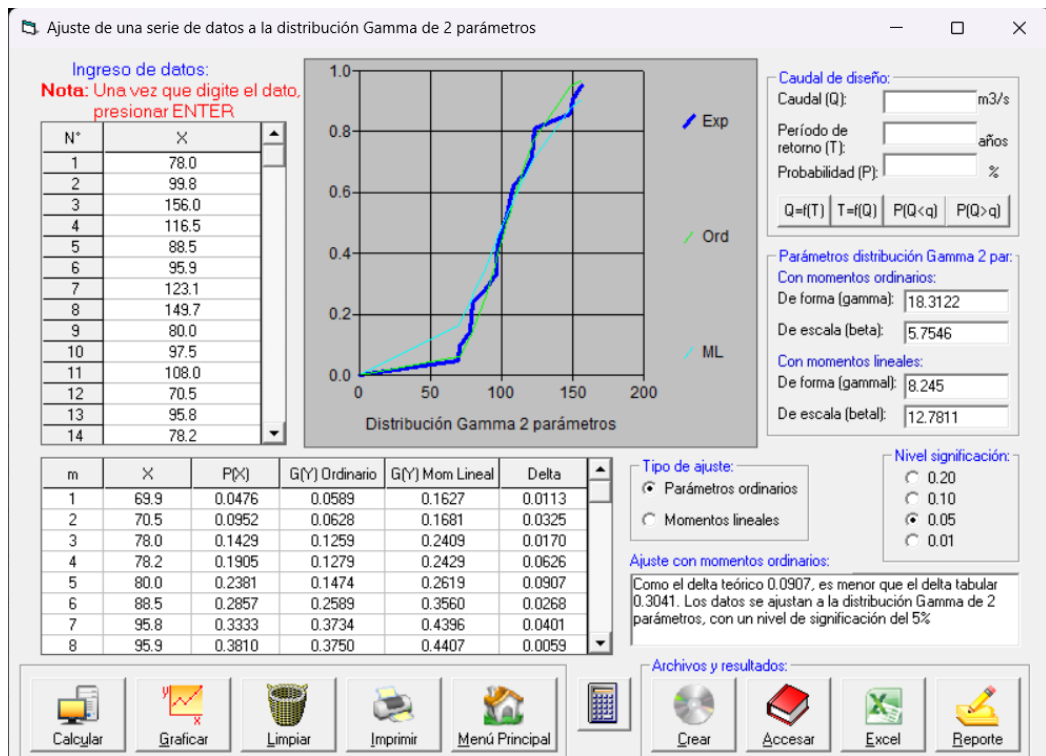
Condiciones estructurales del canal (fisuras, desgaste, daños visibles):

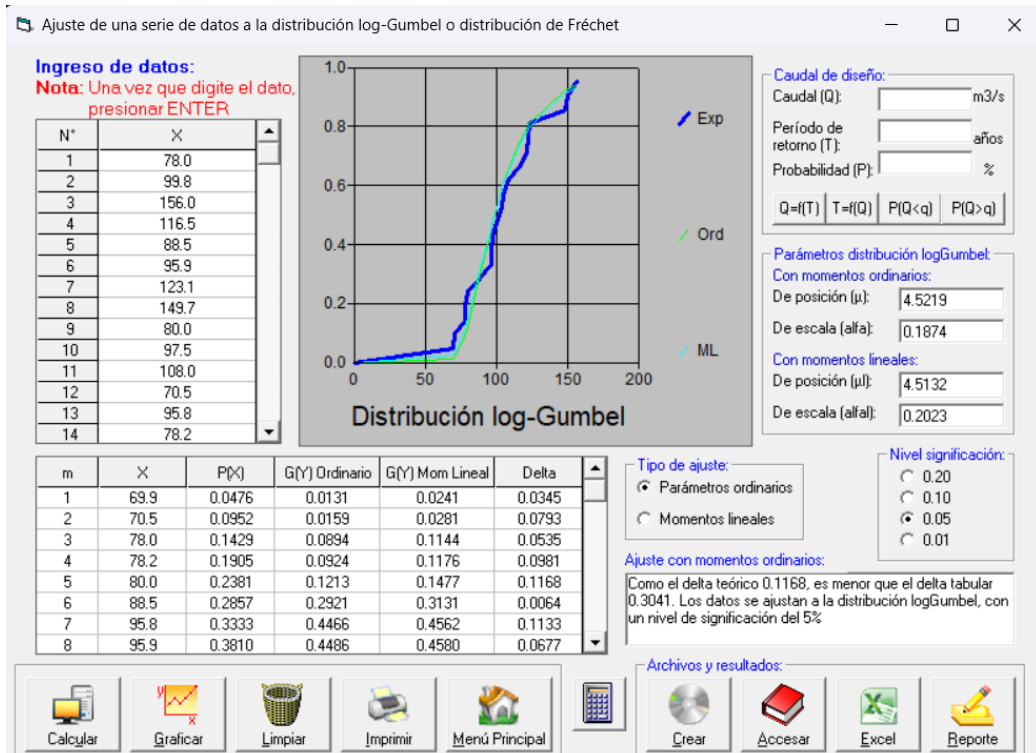
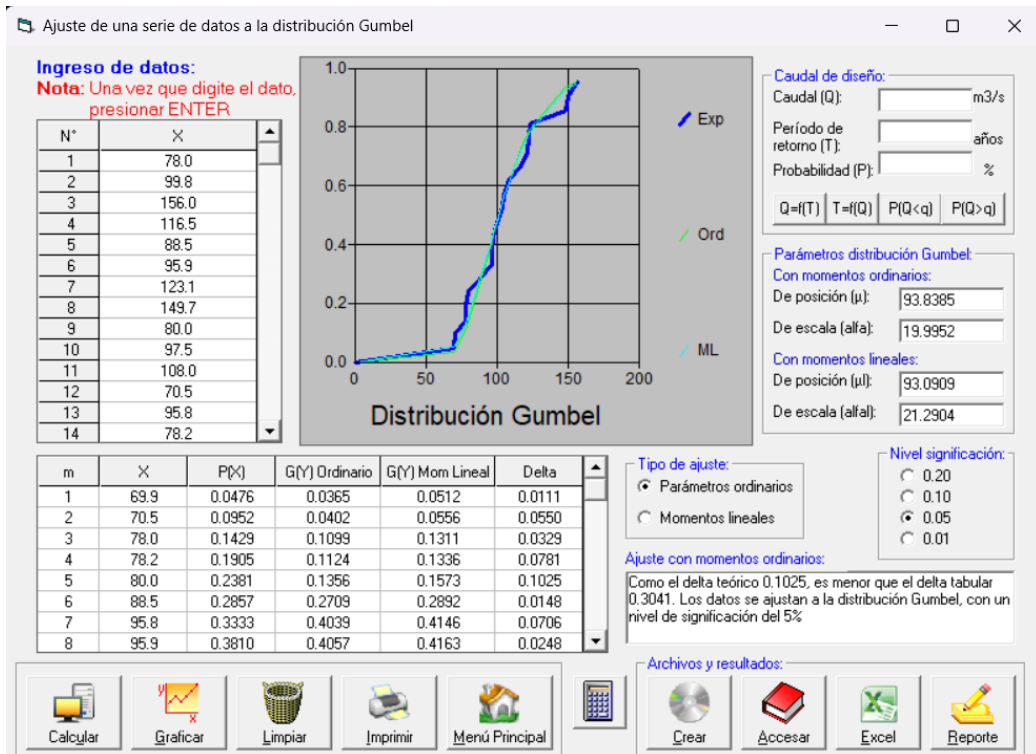
Observaciones generales sobre el funcionamiento del drenaje durante lluvias (si aplica):

ANÁLISIS OULIER		
ESTADÍSTICO	LLUVIA	LOG (LLUVIA)
CANTIDAD DE DATOS	26.00	26.00
SUMA	14,163.10	71.08
MÁXIMO	675.40	2.83
MÍNIMO	464.10	2.67
MEDIA	279.07	2.73
VARIANZA	3,244.19	0.00
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	56.96	0.04
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0.20	0.02
COEFICIENTE DE SESGO	0.73	0.53
CONCLUSIÓN 01:	Aplicar pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos	
LLUVIA MÁXIMA ACEPTADA	723.78	
LLUVIA MÍNIMA ACEPTADA	405.84	
CONCLUSIÓN 02:	No existen datos dudosos mínimos ni máximos	









INS T (min)	INT(mm/ h)	LLUVIA ACUMULAD A (mm)	VARIACIÓ N	INT PARCIA L (mm/h)	LLUVIA ALTERNAD A (mm)	ImPa ALTERNAD A (mm)	LLUVI A ACUM (mm)
10	173.538	28.923	28.923	173.538	2.577	15.462	2.577
20	113.027	37.676	8.753	52.517	2.937	17.625	5.515
30	87.954	43.977	6.301	37.808	3.469	20.815	8.984
40	73.616	49.077	5.100	30.601	4.360	26.160	13.344
50	64.125	53.437	4.360	26.160	6.301	37.808	19.645
60	57.286	57.286	3.848	23.090	28.923	173.538	48.568
70	52.076	60.755	3.469	20.815	8.753	52.517	57.321
80	47.947	63.929	3.174	19.047	5.100	30.601	62.421
90	44.578	66.867	2.937	17.625	3.848	23.090	66.269
100	41.765	69.609	2.742	16.451	3.174	19.047	69.444
110	39.374	72.186	2.577	15.462	2.742	16.451	72.186
120	37.311	74.622	2.436	14.615	2.436	14.615	74.622

REPORT SWMM									
Project				Title/Notes					
[OPTIONS]									
Option		Value		START_DATE		09/19/2024			
FLOW_UNITS		CMS		START_TIME		00:00:00			
INFILTRATION		HORTON		REPORT_START_DATE		09/19/2024			
FLOW_ROUTING		DYNWAVE		REPORT_START_TIME		00:00:00			
LINK_OFFSETS		DEPTH		END_DATE		09/19/2024			
MIN_SLOPE		0		END_TIME		06:00:00			
ALLOW_PONDING		NO		SWEEP_START		1-Ene			
SKIP_STEADY_STATE		NO		SWEEP_END		Dic-31			
INERTIAL_DAMPING		PARTIAL		DRY_DAYS		0			
NORMAL_FLOW_LIMITED		BOTH		REPORT_STEP		00:15:00			
FORCE_MAIN_EQUATION		D-W		WET_STEP		00:05:00			
VARIABLE_STEP		0.75		DRY_STEP		01:00:00			
LENGTHENING_STEP		0		ROUTING_STEP		00:00:20			
MIN_SURFAREA		0		RULE_STEP		00:00:00			
MAX_TRIALS		0							
HEAD_TOLERANCE		0							
SYS_FLOW_TOL		5							
LAT_FLOW_TOL		5							
MINIMUM_STEP		0.5							
THREADS		1							
[EVAPORATION]									
Data		Source		Parameters					
CONSTANT		0							
DRY_ONLY		NO							
[RAINGAGES]									
Name		Format		Interval		SCF		Source	
PLUV-1		INTENSITY		00:10		1		TIMESERIES	
								PLUVIOGRAFO	
[SUBCATCHMENTS]									
Name		Rain		Gage		Outlet		Area	
CUENC-1		PLUV-1		BZ-6		3.39		50	
B									
CUENC-2		PLUV-1		BZ-8		10.39		50	
C									
CUENC-3		PLUV-1		BZ-4		16.14		60	
D									
CUENC-4		PLUV-1		BZ-2		9.11		65	
								256.98	
								0.05	
								0	
[SUBAREAS]									
Subcatchment		N-Imperv		N-Perv		S-Imperv		S-Perv	
CUENC-1		0.01		0.1		0.05		0.05	
CUENC-2		0.01		0.1		0.05		0.05	
CUENC-3		0.01		0.1		0.05		0.05	
CUENC-4		0.01		0.1		0.05		0.05	
								25	
								OUTLET	
[INFILTRATION]									
Subcatchment		Param1		Param2		Param3		Param4	
CUENC-1		80		0.5		7		7	
CUENC-2		80		0.5		7		7	
CUENC-3		80		0.5		7		7	
CUENC-4		80		0.5		7		7	
								0	
								CURVE_NUMBER	
[JUNCTIONS]									
Name		Elevation		MaxDepth		InitDepth		SurDepth	
BZ-1		650.24		1.2		0		0	
BZ-2		649.5		1.2		0		0	
BZ-3		648.81		1.2		0		0	
BZ-4		647.74		1.2		0		0	
BZ-5		647.01		1.2		0		0	
BZ-6		646.32		1.2		0		0	
BZ-7		649.71		1.2		0		0	
BZ-8		648.36		1.2		0		0	
[OUTFALLS]									

;;Name	Elevation	Type	Stage	Data	Gated	Route	To
DESC-1	645.74	FREE	NO				

[CONDUITS]									
;;Name	From	Node	To	Node	Length	Roughness	InOffset	OutOffset	InitFlow
TUB-1	BZ-1	BZ-2	246.4339	0.014	0	0	0	0	
TUB-2	BZ-2	BZ-3	228.95	0.014	0	0	0	0	
TUB-3	BZ-3	BZ-4	215.07	0.014	0	0	0	0	
TUB-4	BZ-4	BZ-5	145.5354	0.014	0	0	0	0	
TUB-5	BZ-5	BZ-6	138.13	0.014	0	0	0	0	
TUB-6	BZ-6	DESC-1	116.94	0.014	0	0	0	0	
TUB-7	BZ-7	BZ-8	449.88	0.01	0	0	0	0	
TUB-8	BZ-8	BZ-5	449.88	0.01	0	0	0	0	

[XSECTIONS]							
;;Link	Shape	Geom1	Geom2	Geom3	Geom4	Barrels	Culvert
TUB-1	RECT_OPEN	0.5	1	0	0	1	
TUB-2	RECT_OPEN	0.5	1	0	0	1	
TUB-3	RECT_OPEN	0.5	1	0	0	2	
TUB-4	RECT_OPEN	0.5	1	0	0	2	
TUB-5	RECT_OPEN	0.5	1	0	0	2	
TUB-6	RECT_OPEN	0.5	1	0	0	2	
TUB-7	RECT_OPEN	0.5	1	0	0	1	
TUB-8	RECT_OPEN	0.5	1	0	0	1	

[TIMESERIES]			
;;Name	Date	Time	Value
PLUVIOGRAFO	01:10	154.622863	
PLUVIOGRAFO	01:20	176.249444	
PLUVIOGRAFO	01:30	208.149138	
PLUVIOGRAFO	01:40	261.598406	
PLUVIOGRAFO	01:50	378.080821	
PLUVIOGRAFO	02:00	1735.38361	
PLUVIOGRAFO	02:10	525.165839	
PLUVIOGRAFO	02:20	306.01193	
PLUVIOGRAFO	02:30	230.900115	
PLUVIOGRAFO	02:40	190.468837	
PLUVIOGRAFO	02:50	164.511877	
PLUVIOGRAFO	03:00	146.152783	

[REPORT]	
;;Reporting	Options
UBCATCHMENT	ALL
NODES	ALL
LINKS	ALL

[TAGS]				
[MAP]				
DIMENSIONS	-2144.27	0	12918.252	10647.095
Units	None			

[COORDINATES]		
;;Node	X-Coord	Y-Coord
BZ-1	6524.823	9716.312
BZ-2	6560.284	7068.558
BZ-3	6572.104	4976.359
BZ-4	4728.132	5047.281
BZ-5	3144.208	5094.563
BZ-6	2033.097	5070.922
BZ-7	3037.825	9598.109
BZ-8	3108.747	7092.199
DESC-1	-35.461	5059.102

[SYMBOLS]		
;;Gage	X-Coord	Y-Coord
PLUV-1	4863.482	10345.539

[VERTICES]		
;;Link	X-Coord	Y-Coord
[Polygons]		
;;Subcatchment	X-Coord	Y-Coord
CUENC-1	839.243	4929.078
CUENC-1	839.243	4929.078
CUENC-1	5496.454	5011.82
CUENC-1	5484.634	4314.421
CUENC-1	768.322	4338.061
CUENC-1	803.783	4917.258
CUENC-2	3026.005	9326.241
CUENC-2	3108.747	5189.125
CUENC-2	839.243	5165.485
CUENC-2	780.142	9290.78
CUENC-3	6453.901	9432.624
CUENC-3	6418.44	5165.485
CUENC-3	3226.95	5165.485
CUENC-3	3120.567	9314.421
CUENC-4	6654.846	5082.742
CUENC-4	7919.622	5283.688
CUENC-4	9527.187	8156.028
CUENC-4	6643.026	9491.726

ESTACIÓN: TINGO MARIA/000408/DZ10

LATITUD: 09° 18' 36.8"

DPTO.: Huánuco

LONGITUD: 76° 0' 1.8"

ALTITUD: 857 msnm

Parámetro: Precipitación Total Mensual (m.m)

Periodo: 1999 - 2024

CODIGO	PLANILLA	VARIABLE	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
468	52	PT101	1999	568.1	486.4	544.4	217.3	324.4	184.7	196.8	67.6	108.3	73.8	358	353.6
468	52	PT101	2000	412.2	419.8	509.9	177.3	147.6	316	190.8	61.6	171.4	171.3	185.9	367.5
468	52	PT101	2001	442.1	313.3	593.9	175.9	217.7	128.9	186.4	41.6	180.2	202.2	455.3	301.2
468	52	PT101	2002	304.7	590.1	406	308.4	415.5	149.3	190.1	144.9	137.1	262.3	500.1	484
468	52	PT101	2003	239.6	460.8	343.9	306.8	345.2	228.7	100.2	249.7	216.9	272.4	330.9	598.1
468	52	PT101	2004	301.1	298.9	427.4	176.8	141.8	83.4	236	71.1	193.9	293.3	469.3	323.4
468	52	PT101	2005	245.1	314.8	549.4		149	187.7	55.8	82.9	204.2	259.2	209	571.5
468	52	PT101	2006	284.8	528.9	389.9	274.1	99.7	122.5	70.4	117.4		391.7	485.8	571.2
468	52	PT101	2007	526.8	257.2	460.7	298.8	187.3	12.4	169.6	95.2	118.5	267.5	277.3	492.7
468	52	PT101	2008	428.8	534.6	300.6	196.6	120.3	106.2	224.4	55.2	164.8	335	138.8	363.7
468	52	PT101	2009	481.2	400.2	302.4	282.9	337.2	164.7	164.6	150	190.2	134.9		506.5
468	52	PT101	2010	301.9	592.2	366	262.4	192.2	107	127.9	55.2	94.9	180.1	461.2	297
468	52	PT101	2011	458.1	542.9	558.6	379.7	197.6	132.7	111.3	66.2	280	171.6	376.9	320.8
468	52	PT101	2012	376.5	446.5	464.1	356.3	82	151.7	52.8	37.5	92.7	184.1	298.6	447.6
468	52	PT101	2013	438.2	474.5	405.8	426.7	203.8	172.3	101.6	249.3	193.9	495.4	270.5	421
468	52	PT101	2014	350.7	289.3	399.2	206.6	219.8	195.4	50.1	48.2	256.7	500	418.1	487
468	52	PT101	2015	511.4	537.6	310.1	304.8	298.2	127.9	208.6	37.6	123.1	152.1	238.1	406.5
468	52	PT101	2016	517	406.6	392.3	159.2	217.2	171	111.2	64.5	113.3	162.1	333.2	413.8
468	52	PT101	2017	385.1	467.7	427.7	205	282.2	154.8	25.8	143.5	219.4	319.7	675.4	373.2
468	52	PT101	2018	388.2	317.5	483.3	226.3	179.9	188.8	62.3	205	79.3	483.1	513.2	432
468	52	PT101	2019	602.6	159.9	494.2	212.2	203.6	152.8	227.6	64.7	127	311.6	357	667.2
468	52	PT101	2020	494.7	373.9										
468	52	PT101	2021												480.8
468	52	PT101	2022		519.5	400.7	281.4	289.2	104.8	133.9	166.5	162.7	237.1	235.9	244
468	52	PT101	2023	391.5	344.5	314.3	181	158.5	217	64.8	66.3	138.9	199.2	380.4	489
468	52	PT101	2024	618.4	437.2	373.1	221.2	169.3	263.9	105.3	74.1	42.4	158.6	275.7	543.9

DONDE: CASILLA EN BLANCO = Sin Datos

INFORMACIÓN PREPARADA PARA: TESISTA CESPEDES ESTELA ELVIS PAUL

OBRA:

"EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE UN SISTEMA DE DISEÑO E IMPLEMENTADO BASADO EL SOFTWARE SIMBA PARA LA MITIGACIÓN DE HUNDACIONES EN LA AV. RAMÓNCE TINGO MARIA, 2024"

HUÁNUCO, 23 DE JUNIO DEL 2025.



Formado digitalmente por SAMPLETA
FACED-025 Juan Carlos Merino P. R.
2025/06/23 10:11:14
Módulo: Sign. el autor del documento
Fecha: 09/06/2024 10:11:14 -05:00

Ing. Yurysse Merino Benavente Pacheco
Director Zonal 10 (a)
SENAMHI



Jr. Leoncio Prado N°235 - Huánuco, Huánuco
Tel. 062 - 510170 CEL. 955899344
Link: <http://huancos.senamhi.gob.pe>
www.senamhi.gob.pe

ANEXO 3

PANEL FOTOGRÁFICO



Se aprecia la intersección de la Av. Raymondi entre el Jr. Pucallpa, por las cuales se observa la falta de mantenimiento y limpieza de la de la berma y acera. Esto a consecuencia ocasionan empozamiento de agua pluviales.



Se realizó la medición de los carriles, calzada, berma y acera.



Se observa empozamiento de agua pluviales.



Daño longitudinal en estructura del pavimento rígido. Posibles causas de un mal sistema de drenaje pluvial.



Identificación de buzón. Mala ubicación de buzón existente.



Empozamiento de agua pluviales post lluvia. Mala ubicación de buzón.



Medición de altura del sistema de drenaje existente.



Medición del sistema de drenaje existente.



Mala Ubicación de Buzón, dentro del sistema de drenaje de agua pluvias
margen derecha de la vía.



Empozamiento de agua pluviales post lluvia.



Mala ubicación de Buzón de desagüe.



Empozamiento de agua pluviales, la berma carece de pendiente.



Falla en pavimento rígido. Fisura longitudinal.



Empozamiento de agua pluviales post lluvia, carece de pendiente. La plataforma del pavimento rígido.



empozamiento de agua pluviales post lluvia.



empozamiento de agua pluviales post lluvia.



Falta de mantenimiento al sistema de drenaje.



Ancho del sistema de drenaje existente, margen izquierdo.



Sistema de drenaje deteriorado



Falta de mantenimiento al sistema de drenaje, estado crítico.



Falta de mantenimiento al sistema de drenaje existente, estado crítico.



Agua pluviales post lluvia estancado. Falta de mantenimiento al sistema de drenaje existente.



Agua pluviales post lluvia estancado.



Colapso de tapa de sistema de drenaje existente.



Estancamiento de agua pluviales post lluvia



Estancamiento de agua pluviales post lluvia



Estancamiento de agua pluviales post lluvia

