

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL**



**Tesis**

**Análisis del régimen hidrológico e hidráulico para determinar la eficiencia del sistema de evacuación de aguas pluviales en la Av. Panamá de la ciudad de Abancay – 2025**

Asesor:

MSc. Maldonado Mendivil, Ángel

Autor:

Zuloaga Gaspar, Maria Ines

Para optar el Título Profesional de: Ingeniero Civil

Abancay-Apurímac-Perú

2025



# Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 055

En la ciudad de Abancay, a los veinte dos días del mes de agosto del 2025, siendo las 11:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0673-2025- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 12 de agosto del 2025, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mag. Loayza Elguera, Rodrigo
Dictaminante :	Dra. Vera Teves, Rosa Marina
Replicante :	Ing. Gamarra Mota, Rubén

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis  Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

**Análisis del régimen hidrológico e hidráulico para determinar la eficiencia del sistema de evacuación de aguas pluviales en la Av. Panamá de la ciudad de Abancay - 2025**

Desarrollado por las (los) Bachilleres (es):

**Br: Zuloaga Gaspar, Maria Ines**

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Unanimidad

(Unanimidad o Mayoría) (\*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Zuloaga Gaspar, Maria Ines	Aprobada

Siendo las 12:30am horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mag. Loayza Elguera, Rodrigo

Dictaminante: Dra. Vera Teves, Rosa Marina

Replicante: Ing. Gamarra Mota, Rubén

Abancay 26 de agosto del 2025

Se expide la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 352

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES  
Ciudad Universitaria Av. Perú N° 700, Abancay, Central Telefónica 051 (083) 321559  
Filial Cusco, Av. Grau N° 516, Teléfono (084) 251565  
Filial Andahuaylas, Av. Juan Antonio Treles N° 513 Teléfono (083) 421752  
[www.utea.edu.pe](http://www.utea.edu.pe)

(\*): Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.  
(\*\*): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.




## 24% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

### Fuentes principales

- 21%  Fuentes de Internet
- 8%  Publicaciones
- 21%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

## Metadatos

<b>Datos del Autor</b>	
Apellidos y nombres	: Zuloaga Gaspar, Maria Ines
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 78549893
URL ORCID	: <a href="https://orcid.org/0009-0000-2316-0144">https://orcid.org/0009-0000-2316-0144</a>
<b>Datos del Asesor</b>	
Apellidos y nombres	: Maldonado Mendivil, Ángel
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 06788424
URL ORCID	: <a href="https://orcid.org/0000-0001-9002-1910">https://orcid.org/0000-0001-9002-1910</a>
<b>Datos de la investigación</b>	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Civil
Línea de Investigación	: Gestión de la Infraestructura para el Desarrollo Sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	: 2024 – 2025
Fuente de financiamiento	: Autofinanciamiento
Porcentaje de similitud	: 24%
URL de OCDE	: <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01</a>

## **Dedicatoria**

La presente tesis es dedicada primero a Dios por brindarme fuerzas y bendiciones a lo largo de mi vida, en segundo lugar, a mis padres Nicolas Zuloaga Huamani y Justina Gaspar Maqqe quienes siempre me impulsaron a cumplir mis metas, por su apoyo y amor incondicional.

A mi hermana Mary Carmen por ser mi ejemplo a seguir, por siempre brindarme sus conocimiento y consejos, a mis hermanos Javier y David por sus enseñanzas y por ser parte de mi progreso profesional.

Maria Ines Zuloaga Gaspar

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios por guiarme, cuidarme y brindar de salud a toda mi familia.

A mi alma mater, la Universidad Tecnológica de los Andes donde gracias a mis docentes obtuve grandes conocimientos.

A mis padres, hermanos, sobrinos, familiares y amigos quienes me acompañaron y apoyaron a lo largo de esta investigación.

A Jhoel por brindarme su apoyo incondicional y por siempre creer en mí.

A mi asesor MSc. Ing. Ángel Maldonado Mendivil por su enseñanza, apoyo y compromiso para llevar a cabo el presente trabajo de investigación.

Maria Ines Zuloaga Gaspar

## Resumen

La Avenida Panamá de Abancay, con más de 30 años en servicio y una pendiente promedio de 1,7 %, carece de un sistema de drenaje pluvial adecuado, lo que provoca inundaciones frecuentes y el deterioro prematuro de su pavimento. Esta tesis, titulada “Análisis del régimen hidrológico e hidráulico para determinar la eficiencia del sistema de evacuación pluvial en la avenida Panamá, ciudad de Abancay – 2025”, cuyo objetivo principal fue analizar cómo el régimen hidrológico e hidráulico influye en la eficiencia del sistema de evacuación pluvial en esta vía. Se aplicó una metodología de tipo aplicada y nivel explicativo-descriptivo, con un diseño no experimental de corte transversal, enfoque cuantitativo y técnicas de simulación (SWMM) normas (NTP-4436, NTP-4426, OS.060) y campo. Se construyeron curvas IDF con datos SENAMHI (1996–2019), se calcularon caudales mediante el método racional y se modeló la red con 27 subcuencas y 14 nodos. Los resultados indicaron eficiencias inferiores al 85 % en retornos  $\geq 10$  años y hasta 3 desbordes anuales. Se concluye proponerse el aumento de la capacidad de sumideros y estructuras de retención secundaria para elevar la eficiencia por encima del 90 %.

**Palabras Clave:** avenida Panamá, régimen hidrológico, régimen hidráulico, eficiencia de drenaje, software SWMM.

## **Abstract**

Panama Avenue in Abancay, with more than 30 years of service and an average slope of 17%, lacks an adequate stormwater drainage system, causing frequent flooding and premature deterioration of its pavement. This thesis, entitled "Analysis of the hydrological and hydraulic regime to determine the efficiency of the stormwater evacuation system on Panama Avenue in the city of Abancay - 2025", aims to evaluate how rainfall regimes and flow behavior in the network influence evacuation capacity. To this end, a non-experimental, cross-sectional, and correlational design was used, combining documentary techniques (NTP-4436, NTP-4426, OS.060 standards), simulation (SWMM 5.x), and field (GPS and GIS) techniques. IDF curves were constructed using SENAMHI data (1996–2019), flows were calculated using the rational method, and the network was modeled with 27 subbasins and 14 nodes. The results indicated efficiencies below 85% for returns  $\geq 10$  years and up to 3 annual overflows. It is concluded that increasing the capacity of catchment areas and secondary retention structures is proposed to raise efficiency above 90%.

**Keywords:** Panama avenue, hydrological regime, hydraulic regime, drainage efficiency, software SWMM.

## Índice general

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Acta de sustentación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Reporte de similitud</b> .....	<b>iii</b>
<b>Metadatos</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>vii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>viii</b>
<b>Índice general</b> .....	<b>ix</b>
<b>Índice de tablas</b> .....	<b>xi</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>xii</b>
<b>Índice de anexos</b> .....	<b>xiii</b>
<b>I. Introducción</b> .....	<b>14</b>
<b>II. Planteamiento del problema</b> .....	<b>16</b>
2.1. Descripción y formulación del problema .....	16
2.2. Objetivos .....	18
2.2.1. Objetivo general .....	18
2.2.2. Objetivos específicos .....	18
2.3. Justificación e importancia .....	18
2.4. Hipótesis.....	20

2.5. Variables .....	21
<b>III. Marco teórico.....</b>	<b>23</b>
3.1. Antecedentes .....	23
3.2. Bases teóricas .....	29
3.3. Definición de términos .....	34
<b>IV. Metodología .....</b>	<b>38</b>
4.1. Tipo y nivel de investigación .....	38
4.2. Ámbito temporal y espacial.....	39
4.3. Población y muestra .....	40
4.4. Instrumentos .....	40
4.5. Procedimientos .....	41
4.6. Análisis de datos.....	42
4.7. Consideraciones éticas .....	43
<b>V. Resultados y discusión .....</b>	<b>44</b>
<b>VI. Conclusiones .....</b>	<b>86</b>
<b>VII. Recomendaciones .....</b>	<b>89</b>
<b>VIII. Referencias.....</b>	<b>92</b>
<b>IX. Anexos .....</b>	<b>97</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de las variables.....	22
<b>Tabla 2</b> Estación meteorológica.....	50
<b>Tabla 3</b> Precipitación máxima en 24 horas – estación Abancay.....	50
<b>Tabla 4</b> Acumulación máxima de lluvia en un día (mm).....	52
<b>Tabla 5</b> Valores de Kn para la prueba de datos dudosos.....	54
<b>Tabla 6</b> Prueba de datos dudosos.....	55
<b>Tabla 7</b> Precipitación máxima en 24 horas (mm) corregida.....	55
<b>Tabla 8</b> Resultados de la prueba Smirnov – Kolmogorov.....	61
<b>Tabla 9</b> Precipitación Máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno.....	62
<b>Tabla 10</b> Valores de intensidad máxima de precipitación (mm/h) para diferentes duraciones y periodos de retorno – Estación Abancay.....	65
<b>Tabla 11</b> Parámetros hidrológicos de diseño – Subcuenca Av. Panamá.....	67
<b>Tabla 12</b> Coeficientes de escorrentía para ser utilizados en el método racional.....	72
<b>Tabla 13</b> Parámetros geomorfológicos de la sub cuenca – Av. Panamá.....	73
<b>Tabla 14</b> Parámetros hidrológicos de la sub cuenca – Av. Panamá.....	73
<b>Tabla 15</b> Caudal generado por el método racional.....	74
<b>Tabla 16</b> Resumen de Parámetros del Modelo simulado en el SWMM.....	78
<b>Tabla 17</b> Caudal generado por el método racional.....	87

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Ubicación de la avenida Panamá con avenida Perú.....	47
<b>Figura 2</b> Histograma Precipitación Máxima 24 horas.....	53
<b>Figura 3</b> Curva Intensidad – Duración – Frecuencia.....	66
<b>Figura 4</b> Esquematización del modelo de la sub cuenca Av. Panamá .....	69
<b>Figura 5</b> Estructura del Modelo de la sub cuenca simulado en el SWMM .....	76
<b>Figura 6</b> Resultados de caudales por conducto (Link Flow) desarrollado en el software SWMM.....	80
<b>Figura 7</b> Resultados del nodo de salida (Outfall Loading) del modelo simulado en SWMM .....	81
<b>Figura 8</b> Resultados del escurrimiento superficial por subcuenca (Subcatchment Runoff) del modelo simulado en SWMM.....	82

## Índice de anexos

<b>Anexo 1</b> Matriz de consistencia .....	98
<b>Anexo 2</b> Matriz de operacionalización de variables .....	99
<b>Anexo 3</b> Panel fotográfico.....	100
<b>Anexo 4</b> Plano de ubicación.....	103

## I. Introducción

Para optimizar la vida útil de las vías urbanas y minimizar costos de mantenimiento, es esencial contar con un sistema de drenaje pluvial que evacue eficazmente el agua de lluvia y evite daños en el pavimento. En la región Apurímac, el mantenimiento vial representa entre el 1 % y el 3 % del presupuesto de los gobiernos locales, cifra que puede elevarse significativamente cuando se combinan la antigüedad del pavimento y la carencia de drenaje (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2019). La Avenida Panamá, con más de 30 años de servicio y construida en concreto, presenta una pendiente pronunciada y no dispone de cunetas ni sumideros formales, lo que genera encharcamientos, erosión del material y riesgos para el tránsito vehicular y peatonal. Según el Inventario Nacional de Vías Urbanas 2024 del MTC, la red vial de Abancay abarca aproximadamente 118 km, de los cuales solo el 65 % cuenta con drenaje formal; la Avenida Panamá, de 1 088 m de longitud y un desnivel de 185 m (pendiente media 17 %), es uno de los tramos más afectados por inundaciones durante la temporada de lluvias (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2024). Esta situación evidencia la necesidad de un análisis técnico que caracterice los regímenes hidrológico e hidráulico y cuantifique la eficiencia del sistema de evacuación existente.

La presente investigación, titulada “Análisis del régimen hidrológico e hidráulico para determinar la eficiencia del sistema de evacuación de aguas pluviales en la Av. Panamá de la ciudad de Abancay – 2025”, es de tipo aplicada, con un nivel descriptivo y un diseño no experimental. Se emplearon técnicas documentales (revisión de normas NTP-4436 y OS.060), de simulación con SWMM y de campo (GPS y SIG). A partir de series pluviométricas diarias de SENAMHI, se generaron curvas Intensidad-Duración-Frecuencia, se calcularon caudales mediante el método racional y se modeló la red de drenaje con 27 subcuencas y 14 nodos para simular escenarios de retorno de 2 a 50 años.

El objetivo general es analizar cómo el régimen hidrológico e hidráulico influye en la eficiencia del sistema de evacuación de aguas pluviales en la Avenida Panamá. Los objetivos específicos son: (1) determinar las intensidades máximas de lluvia, (2) calcular los caudales pluviales de diseño y (3) aplicar SWMM para caracterizar el régimen hidráulico y cuantificar la eficiencia del sistema.

Estructura de la tesis: Capítulo I: Introducción y justificación, Capítulo II: Antecedentes y marco teórico, Capítulo III: Metodología, Capítulo IV: Resultados y discusión, Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones.

## **II. Planteamiento del problema**

### **2.1. Descripción y formulación del problema**

#### **Descripción**

En todo el planeta, la proliferación de lluvias torrenciales ha desafiado la resistencia de los sistemas de drenaje urbano. Investigaciones sobre diseño hidrológico e hidráulico revelan que diseñar curvas de intensidad, duración, frecuencia y modelar minuciosamente con herramientas como SWMM puede anticipar con mayor exactitud los flujos de escorrentía y el comportamiento del flujo en las redes de drenaje, mitigando así inundaciones y perjuicios a la infraestructura vial (NOAA, 2018).

En el Perú, estudios recientes revelan la capacidad del modelo SWMM para perfeccionar la planificación del drenaje urbano. Narro y Luna (2022) idearon un enfoque hidrológico para detectar las precipitaciones preestablecidas y ajustar un modelo hidráulico que mide caudales picos y tirantes máximos, resultando en diseños de drenaje que respetan las normativas locales y disminuyen notablemente los riesgos de inundaciones en Otuzco, La Libertad.

En la ciudad de Abancay, perteneciente al departamento de Apurímac tiene un crecimiento exponencial urbanístico desordenado y sin una adecuada planificación, en el cual se encuentran más de 69028 habitantes (INEI, 2017), donde además se identificó la deficiencia y las carencias del sistema de drenaje pluvial en algunas zonas de la ciudad causando serios problemas a la población abanquina debido al exceso pluvial, en los meses de alta precipitación de lluvias en la ciudad de Abancay donde llegan a ser mayores a 150 mm/mes, alcanzan índices elevados lo que causa serios problemas debido a la ineficiente evacuación de aguas pluviales, la sobrecarga pluvial llega fácilmente a saturar las calles,

causando el colapso y deterioro de alcantarillas sanitarias, la interrupción del tránsito peatonal y vehicular, estos fenómenos se pueden apreciar en los meses de lluvias.

Uno de los episodios examinados en esta investigación ocurre en la Av. Panamá, donde las lluvias desbordan las calles, deteriorando tanto los edificios como el pavimento. Situación preocupante, pues la acumulación de lluvias y la escasa habilidad de drenaje de los terrenos están erosionando el pavimento

Además, en las avenidas pavimentadas que abarcan desde la Av. Panamá hasta la intersección con la Av. Perú, con una antigüedad estimada en alrededor de 10 años, la Av. Panamá careció de un sistema de drenaje adecuado, empleando bombeos y bermas como sistemas de drenaje, lo cual genera encharcamientos en diversos puntos. Esto se manifiesta especialmente en las intersecciones con las calles transversales.

### **Formulación del problema**

#### **Problema general**

¿En qué medida el análisis del régimen hidrológico e hidráulico influye en la eficiencia del sistema de evacuación de aguas pluviales en la Av. Panamá de la ciudad de Abancay – 2025?

#### **Problemas específicos**

- a) ¿Cómo influye el análisis del régimen de intensidades máximas de precipitación en la eficiencia del sistema de evacuación de aguas pluviales en la Av. Panamá de la ciudad de Abancay – 2025?
- b) ¿Cómo influye el análisis de los caudales de escorrentía pluvial en la eficiencia del sistema de evacuación de aguas pluviales en la Av. Panamá de la ciudad de Abancay – 2025?

- c) ¿Cómo influye la modelación hidráulica mediante el software SWMM en el comportamiento y eficiencia del sistema de evacuación de aguas pluviales en la Av. Panamá de la ciudad de Abancay – 2025?

## **2.2. Objetivos**

### **2.2.1. *Objetivo general***

Analizar la influencia del régimen hidrológico e hidráulico en la eficiencia del sistema de evacuación de aguas pluviales en la Av. Panamá de la ciudad de Abancay – 2025.

### **2.2.2. *Objetivos específicos***

- a) Determinar el régimen de intensidades máximas de la lluvia en la Av. Panamá de la ciudad de Abancay – 2025.
- b) Determinar los caudales de aguas pluviales en el sistema de evacuación pluvial en la Av. Panamá de la ciudad de Abancay – 2025.
- c) Implementación del software SWMM para determinar el régimen hidráulico del sistema de evacuación de aguas pluviales en la Av. Panamá de la ciudad de Abancay – 2025.

## **2.3. Justificación e importancia**

### **Justificación Práctica**

La avenida Panamá de Abancay, es una de doble carril, capa de rodadura de concreto y con una inclinación pronunciada, presenta problemas recurrentes de acumulación de agua en los extremos de la calzada, donde únicamente existe un empedrado rústico sin sistema formal de drenaje. Esta situación provoca deterioro acelerado del pavimento, incremento de

fisuras y erosión de la subrasante, lo que conlleva intervenciones de mantenimiento más frecuentes y costosas. Evaluar con detalle tanto el comportamiento de las lluvias extremas (régimen hidrológico) como el desempeño del flujo en la red (régimen hidráulico) permitirá dimensionar adecuadamente colectores y sumideros, optimizar el programa de conservación vial y alargar la vida útil de la infraestructura.

### **Justificación Social**

Las escorrentías sobre el pavimento e inundaciones localizadas no solo dañan la carpeta de rodadura, sino que también afectan la movilidad de peatones y vehículos, elevan el riesgo de accidentes y generan pérdida de tiempo y productividad para los habitantes del sector. Al mejorar la eficiencia en la evacuación de aguas pluviales, se fortalece la calidad de vida de la comunidad, se reducen las interrupciones en el transporte urbano y se minimizan los impactos sanitarios asociados al estancamiento de agua.

### **Justificación Teórica**

Los estudios modernos de drenaje urbano combinan el análisis estadístico de precipitaciones con simulaciones numéricas que predicen con precisión caudales y niveles de agua en las redes. Aplicar este enfoque integrado al contexto específico de Abancay contribuye a enriquecer el cuerpo de conocimiento sobre la respuesta de avenidas con pendientes abruptas frente a eventos pluviales intensos, aportando hallazgos que pueden adaptarse a otras ciudades de características orográficas similares.

### **Justificación Metodológica**

Aunque existen herramientas consolidadas para el cálculo de precipitaciones de diseño y para la modelación hidráulica en entornos urbanos, pocos trabajos han demostrado su aplicación coordinada y validada con datos de campo en vías andinas. La metodología propuesta que incluye la elaboración de curvas intensidad-duración-frecuencia, el cálculo de escorrentía mediante métodos clásicos y el uso de SWMM calibrado con parámetros locales,

complementado con inspecciones in situ ofrece un procedimiento replicable y robusto para diagnosticar y diseñar sistemas de drenaje pluvial en avenidas con características semejantes.

### **Importancia**

La presente investigación es fundamental porque brinda a la ciudadanía una guía técnica precisa para dimensionar y mejorar el sistema de evacuación de aguas pluviales en la avenida Panamá, reduciendo los costos de mantenimiento y prolongando la durabilidad del pavimento. Además, contribuye al bienestar de la población al garantizar vías más seguras y transitables durante y después de los eventos de lluvia, y en el plano académico ofrece un protocolo metodológico integral que puede implementarse en otras localidades andinas con desafíos similares de pendiente y escasez de infraestructura de drenaje.

## **2.4. Hipótesis**

### **Hipótesis general**

El análisis del régimen hidrológico e hidráulico influye significativamente en la eficiencia del sistema de evacuación de aguas pluviales en la Av. Panamá de la ciudad de Abancay – 2025.

### **Hipótesis específicas**

a) El régimen de intensidades máximas de precipitación tiene un efecto significativo en la eficiencia del sistema de evacuación de aguas pluviales en la Av. Panamá de la ciudad de Abancay – 2025.

b) Los caudales de escorrentía pluvial afectan significativamente la eficiencia del sistema de evacuación de aguas pluviales en la Av. Panamá de la ciudad de Abancay – 2025.

c) La modelación hidráulica con el software SWMM mejora la eficiencia del sistema de evacuación de aguas pluviales en la Av. Panamá de la ciudad de Abancay – 2025.

## **2.5. Variables**

### **Variable Independiente**

Régimen hidrológico e hidráulico.

### **Variable Dependiente**

Eficiencia del sistema de evacuación de aguas pluviales.

Tabla 1

## Operacionalización de las variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	Instrumento
<b>Variable Dependiente:</b> Eficiencia del sistema de evacuación pluvial.	Capacidad del sistema para evacuar el volumen de lluvia sin generar inundaciones, expresada como porcentaje del volumen de diseño y frecuencia de desbordes (EPA, 2015).	- Cálculo del porcentaje de volumen evacuado respecto al volumen de diseño a partir de los resultados de SWMM, validación en campo mediante inspección de puntos críticos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Capacidad hidráulica.</li> <li>•Rendimiento del sistema.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Volumen evacuado</li> <li>•Caudal evacuado</li> <li>•Porcentaje de evacuación</li> </ul>	•Razón	•Resultados de simulación en SWMM, análisis hidrológico, registros de modelamiento
<b>Variable Independiente:</b> Régimen hidrológico e hidráulico.	Conjunto de características del ciclo del agua (intensidades de precipitación y caudales de escorrentía) y del comportamiento del flujo (velocidad) que condicionan el balance hídrico urbano (NOAA, 2018; EPA, 2015).	<p><b>- Hidrológico:</b> Construcción de curvas IDF (intensidad–duración–frecuencia) a partir de registros pluviométricos históricos de SENAMHI,</p> <p><b>-Hidráulico:</b> Simulación en SWMM 5.1 de la red de drenaje de las avenidas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Precipitaciones.</li> <li>•Tiempo de concentración</li> <li>•Escorrentía superficial.</li> <li>•Caudal.</li> <li>•Comportamiento hidráulico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Intensidad máxima de lluvia</li> <li>•Tiempo</li> <li>•Coeficiente de escorrentía</li> <li>•Caudal máximo</li> <li>•Velocidad de flujo</li> </ul>	•Razón	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Registros SENAMHI.</li> <li>•Excel para IDF.</li> <li>•Software: SWMM.</li> </ul>

*Nota.* Esta tabla muestra la operacionalización de las variables según el título y los objetivos de la investigación. Fuente: Elaboración propia.

### III. Marco teórico

#### 3.1. Antecedentes

En Venezuela, Guanipa et al. (2020), en su artículo titulado “Análisis de sensibilidad de parámetros hidrológicos e hidráulicos del modelo SWMM y su aplicación en sistemas de drenaje urbano”, tuvieron como **objetivo** evaluar la influencia de dieciséis parámetros de entrada sobre los caudales el escurrimiento, y los colectores de agua de lluvia, y los niveles máximos en la red de drenaje de la Urbanización Copacoa, Estado Lara. Su **metodología** fue de tipo aplicada, con un enfoque cuantitativo y diseño experimental de simulación: en SWMM 5.1 variaron uno a uno los parámetros en una cuenca de 2,5 km<sup>2</sup> para medir su efecto en un nodo crítico. Como **resultado**, el porcentaje de área impermeable demostró la mayor sensibilidad, con un incremento de 150,02 % en caudales(lps) y 0,84% en niveles(cm); le siguieron la pendiente de la cuenca un incremento del 91,45% del caudal y 0,47% de nivel y el coeficiente de Manning del área impermeable (40,03% y 0,18%). **Concluyen** que para cuencas urbanas con alta proporción de superficies impermeables es prioritario calibrar con precisión estos parámetros para garantizar simulaciones hidráulicas confiables.

En México, Ojeda de la Cruz et al. (2020), en su artículo titulado “Drenaje pluvial sostenible. Una alternativa de gestión del agua de lluvia en la Universidad de Sonora”, se plantearon como **objetivo** diseñar y evaluar un sistema de drenaje que aprovechara aguas pluviales en doce microcuencas del campus Hermosillo, utilizando registros diarios de precipitación (1985–2018) para construir curvas precipitación, duración, tiempo de retorno, con periodo de retorno de diez años y duraciones equivalentes al tiempo de concentración de cada microcuenca. Su **metodología** combinó el análisis hidrológico clásico con el dimensionamiento hidráulico de tuberías y estructuras, empleando herramientas de cálculo manuales y software de modelación. Los **resultados** mostraron caudales de diseño que

oscilan entre 0,15 m<sup>3</sup>/s en microcuencas de alta permeabilidad y 1,25 m<sup>3</sup>/s en las de mayor impermeabilidad, y una reducción del 45 % en la escorrentía superficial con respecto a un sistema convencional. **Concluyen** que el sistema propuesto no solo minimiza el volumen de aguas pluviales a evacuar, sino que además potencia la recarga de acuíferos, constituyéndose en una alternativa viable para contextos urbanos con climas semiáridos.

En México, Parada-Molina et al. (2020), en su artículo titulado “Drenaje urbano sostenible: una alternativa para Xalapa, Veracruz, México”, se plantearon como **objetivo** evaluar la factibilidad de implementar pozos de infiltración como sistema de drenaje pluvial alternativo a nivel de vivienda en zonas urbanas de Xalapa, Veracruz. Para ello, construyeron curvas precipitación, duración, retorno con registros pluviométricos y aplicaron encuestas a 384 hogares seleccionados con un nivel de confianza del 95 % para analizar aspectos técnicos, económicos y de percepción social. Los **resultados** de la viabilidad indicaron que el 66,67 % de los encuestados estaba dispuesto a invertir en infraestructura de drenaje pluvial, el 75 % destacó el bajo costo como factor decisivo, el 83 % consideró adecuadas las características físicas del suelo para infiltración y el 91,67 % reconoció los beneficios ambientales de estos sistemas. **Concluyen** que los pozos de infiltración no solo pueden reducir de manera significativa la escorrentía superficial, sino también complementar eficazmente el drenaje tradicional en contextos urbanos semiáridos.

En China, Li Qian et al. (2021), en su estudio “Evaluación Integral del Desempeño de las Prácticas LID para la Construcción de la Ciudad Esponja: Un Estudio de Caso en Guangxi, China”, se propusieron como **objetivo** desarrollar un sistema de evaluación integral para cuantificar los beneficios de diferentes prácticas de Bajo Impacto (LID: desarrollo de bajo impacto) mediante el uso conjunto de SWMM y el Proceso Analítico Jerárquico (AHP). Su **metodología** abarcó la simulación de cinco escenarios con porcentajes variables de bio-retención, zanjas ajardinadas, espacios verdes hundidos, pavimento

permeable y depósitos de retención en un centro deportivo. Los **resultados** indicaron que el escenario óptimo con un 34,5 % de bio-retención y un 46,0 % de espacio verde hundido— alcanzó una **reducción anual del 75 %** del volumen de escorrentía y altos índices de operación y servicios ecológicos. **Concluyen** que la herramienta propuesta es aplicable para seleccionar y evaluar eficazmente unidades de LID en proyectos de “ciudad esponja”.

En Paraguay, Durañona (2024), en su tesis “Propuesta de proyecto de redes de drenaje pluvial para el Barrio Pablo Rojas” (Trabajo de conclusión), presentó como **objetivo** diseñar una red capaz de canalizar el escurrimiento de la zona de contribución al arroyo Acaraymi. La **metodología** combinó un análisis topográfico detallado con la caracterización de microcuencas y el dimensionamiento hidráulico de colectores y sumideros. **Resultando** que el sistema proyectado comprende 7 349 m de colectores de hormigón ( $\varnothing$  0,40–1,75 m), 60 pozos de visita y 231 bocas de tormenta, con capacidad de evacuar un caudal pico de 27,86 m<sup>3</sup>/s. **Concluye** que esta solución estructural mitigará las inundaciones recurrentes y mejorará la eficiencia del manejo del agua pluvial en el barrio.

En Argentina, el Instituto Nacional del Agua (2022), en su informe “Modelación de la cantidad y calidad del escurrimiento pluvial en un arroyo urbano”, tuvo como **objetivo** evaluar la sensibilidad hidráulica de la cuenca ante variaciones de escurrimiento, en sector urbano Gran Mendoza. Se aplicó simulaciones PCSWMM en las que se modificó en –25 % el coeficiente de rugosidad y el almacenamiento por depresiones, midiendo la respuesta en el caudal pico. **Resultando** que una reducción del 25 % en el coeficiente de rugosidad generó un aumento del 13,3 % en el caudal pico y la misma reducción en almacenamiento por depresiones produjo un incremento del 45 % en ese indicador. **Concluyen** que estos parámetros son críticos para la precisión de los modelos y deben ser calibrados con datos locales para optimizar el diseño de sistemas de drenaje urbano.

Zambrano Arévalo (2020), en su tesis “Diseño hidráulico del sistema de alcantarillado sanitario para el sector El Arrastradero de Calceta”. donde su **objetivo** es dimensionar la red para evacuar eficientemente aguas residuales y pluviales ilícitas. La **metodología** combinó el cálculo de caudales con simulaciones en SewerCAD sobre 26 tramos de tubería Ø 200 mm. **Resultando** que el caudal total de diseño fue de 4,512 l/s (0,820 l/s caudal medio final; 3,328 l/s caudal máximo; 0,410 l/s caudal de infiltración), con velocidades entre 0,42 y 1,21 m/s y llenado < 40 % de sección de tubería. **Concluye** que la red propuesta cumple las normas de autolimpieza y garantiza la evacuación eficaz de aguas servidas.

Narro (2022), en su tesis “Diseño de un sistema de drenaje pluvial urbano en la ciudad de Otuzco, La Libertad, mediante el uso del modelo matemático SWMM” [Tesis de pregrado, PUCP], donde su **objetivo** es calibrar un modelo hidrológico–hidráulico para estimar caudales de retorno de 10, 25 y 50 años. La **metodología** utilizó curvas IDF de 27 años y GIS para delimitar subcuencas, luego simuló SWMM 5.1 para una tormenta de 10 años (60 mm/h). **Resultando** que el caudal pico alcanzó 3,20 m<sup>3</sup>/s, un 18 % superior al método racional estándar y velocidad mínima de 0.95 m/s. **Concluyen** que SWMM proporciona estimaciones más seguras para el dimensionamiento de colectores.

Herrera (2023) realizó su tesis titulada “Modelación hidráulica utilizando el Software SWMM para una red pluvial en Fila Alta, Jaén 2021”, con el propósito de analizar la situación del alcantarillado de Fila Alta, estableciendo parámetros geomorfológicos y delimitando la cuenta urbana en un área de 13.4 hectáreas, revelando que el 80% está edificado, el 40% pavimentado en calles y el 90% se encuentra en parques y jardines. En los lugares de Elías Aguirre y Rodríguez de Mendoza, se identificaron zonas críticas de anegación, con caudales de 65.652 m<sup>3</sup>/s y 83.251 m<sup>3</sup>/s, mientras que la recolección total de agua pluvial superó los 141.108 metros cúbicos.

Cateriano, Fiorela & Menacho, Luis (2019) "Diseño del ingenioso sistema de drenaje en la cuenca Ignacio Merino de Piura empleando el intuitivo programa SWMM", tesis de maestría, Piura, Perú. Para distribuir con exactitud la lluvia total, la cuenca se dividió en dos sistemas independientes, cada uno con estructuras propias para drenar el agua del río Piura. Además, se destacó que la cámara de bombeo actual carecía de la energía necesaria para alcanzar los flujos obtenidos mediante el método y enfoque lógico SWMM. Los datos recolectados en el programa SWMM se asemejan más a la verdad al tener en cuenta los parámetros de la cuenca durante toda la sinfonía de las lluvias. Beneficiará un área de 2.100 hectáreas, estimando una revitalización de 25 años y anticipando una población de la cuenca en un lapso de 20 años. Este enfoque brinda una interfaz más integral, pues el análisis hidráulico es más ágil y eficaz, y el drenaje más extenso se regenera en 30 años, reduciendo así el riesgo de renovación al 30%. Finalmente, es posible plasmar la cantidad y la pureza de los líquidos pluviales que se infiltran en las mallas de drenaje urbano.

Zárate, Omar (2020), "Estudio hidrológico e hidráulico del sistema de drenaje en la zona urbana de Monterrico en Jaén - Cajamarca", tesis para el título de ingeniero civil, Jaén, Perú. Con el terreno serpenteante y la impermeable del 85% de la cuenca urbana, se estima un ciclo de recuperación de 10 años para los estudios de drenaje y cisterna, y el riesgo se estima en un 30%.

Rodríguez y Castrejón en el año 2023. "Estudio del sistema de drenaje por gravedad en Cajamarca, sector 13 – Barrio San Martín de Porres", con el propósito de analizar el drenaje por gravedad en el Sector 13 – Barrio San Martín de Porres, donde se descubrió una extensión de 288.46 hectáreas y un caudal de 0.69 metros cúbicos por segundo.

Izquierdo y Zeña (2019), en su disertación titulada "Diseño del drenaje urbano en el distrito de Santa Cruz, Provincia de Santa Cruz, Departamento de Cajamarca,

2017", se propuso obtener el título de Ingeniero Civil en la Universidad Señor de Sipán. Se determinan que el drenaje por gravedad es insuficiente para las lluvias estruendosas. El esquema hidráulico del proyecto alcanzó un caudal total de 3,6226 metros cúbicos por segundo, distribuidos en tres zonas. No obstante, el escritor se limita a desentrañar las metamorfosis del drenaje urbano, enfocándose en lo evidente, como las cunetas y sumideros. Asimismo, la observación de métodos y herramientas para amplificar los éxitos.

Ccarhuas y Huisa (2019) "Análisis del desbordamiento urbano en el epicentro de Tamburco, Abancay 2018" (Disertación de licenciatura), Universidad Tecnológica de los Andes. En este estudio, se pretende diseñar cuentas colectoras que se ajustan al flujo detectado en tres áreas metropolitanas: 1.134 m<sup>3</sup>/s, 0.836 m<sup>3</sup>/s y 1.113 m<sup>3</sup>/s. La metodología empleada se basa en un enfoque cuantitativo, con una perspectiva descriptiva y un diseño no experimental – transversal, generando cunetas de dimensiones de 0.55x0.5 m, 0.55x0.80 m y 0.7x0.50 m.

Oscoco y Pastor (2022) exploraron la hidrología e idearon un sistema de drenaje urbano para Andahuaylas. Para calcular las precipitaciones extremas, se toma en cuenta los ciclos de retorno de entre 10 y 25 años. En el sistema de drenaje del colector, el coeficiente de corriente ponderado es 0,44, permitiendo caudales máximos de 0,83 m<sup>3</sup>/s y 1,02 m<sup>3</sup>/s a lo largo de 10 y 25 años.

Tejada y Flores (2017). "Arquitectura del drenaje urbano en Chuquibambilla, provincia de Grau-Apurímac" (Disertación de Grado). Universidad Tecnológica de los Andes, con el propósito de idear e instalar un sistema de drenaje que sea eficaz para elevar la calidad de vida de los habitantes de esa urbe, minimizando así los gastos en reparación de las inundaciones. Su método de investigación se basa en la metodología cuantitativa. A través de la recolección y análisis de datos, se calcula un caudal de diseño que oscila entre

0.037 m<sup>3</sup>/s y 0.627 m<sup>3</sup>/s, utilizando estos datos posteriormente para la planificación del drenaje. Al concluir la obra, lograron concebir el sistema de drenaje ideal para la urbe, cuyo costo total sería de s/. 536.383,53.

### 3.2. Bases teóricas

#### 3.2.1. Régimen Hidrológico

##### Ciclo hidrológico urbano

El ciclo hidrológico urbano describe cómo la precipitación (P) se reparte en evapotranspiración (ET), infiltración (I) y escorrentía superficial (Q). En áreas impermeables, como la Av. Panamá (pavimento de concreto), la mayor parte de la lluvia se convierte en escorrentía casi inmediatamente después del inicio del evento, reduciéndose la infiltración y aumentando los riesgos de inundación (SENAMHI, 2021).

EC- 1 Curvas Intensidad, Duración, Frecuencia (IDF)

$$i = at^{-b}$$

i: intensidad (mm/h)

t: duración (h)

a, b: parámetros ajustados por regresión.

Procedimiento:

1. Recolección de datos: Extraer registros pluviométricos horarios de al menos 20 años de la estación más cercana (SENAMHI, 2021).

2. Selección de duraciones: Calcular los valores máximos de lluvia acumulada para duraciones típicas (5, 10, 15, 30, 60, 120 min).

3. Ajuste en escala log-log:

- Transformar  $\log i$  vs  $\log t$  y aplicar regresión lineal:

$$\log i = \log a - b \log t$$

- Verificar  $R^2 > 0.90$  para considerar buen ajuste

4. Curvas para diferentes T: Repetir para cada periodo de retorno (2, 5, 10, 25, 50 años) utilizando la fórmula de Gumbel para máximos anuales (ANA, 2017).

5. Generación final: Graficar las curvas y tabular parámetros a(T) y b.

### 3.2.1.1. Cálculo de Caudales de Diseño

#### Método Racional

Para avenidas con cuencas pequeñas (<200 ha), el método racional es de aplicación directa:

EC- 2 Cálculo de Caudales de Diseño

$$Q_P = C \times i \times A \quad (1)$$

Donde:

$Q_p$  = caudal pico de diseño ( $m^3/s$ ).

C = coeficiente de escorrentía (concreto  $C \approx 0.9$ ; asfalto  $C \approx 0.8$ ; áreas verdes  $C \approx 0.3$ ), (adimensional).

i = intensidad de lluvia de la curva IDF (convertida de mm/h a m/s), (m/s)

A = área de la cuenca de aportación ( $m^2$ ).

#### Procedimiento

- Determinar C según la Tabla 3 de la Norma Técnica NTP-ISO 4426 (MINAM, 2019).
- Convertir i:

$$i_{(m/s)} = \frac{i_{(m/s)}}{3600\ 000}$$

- Calcular  $Q_p$  y verificar que el tiempo de concentración ( $t_n$ ) coincide con la duración usada en la curva IDF (ANA, 2017).
- Comparar con caudales obtenidos en el modelo SWMM para validar el método.

### 3.2.1.2. Régimen Hidráulico en SWMM

#### Ecuaciones Fundamentales

$$\frac{dV}{dt} = Q_{in} - Q_{out} \quad ( 2 )$$

Donde:

V= es el volumen dentro de una tubería o sumidero.

$Q_{in}$ = caudal de entrada

$Q_{out}$ = caudal de salida

EC- 4 Manning

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \quad ( 3 )$$

Donde:

N= coeficiente de rugosidad  $n=0.013-0.017$  para PVC y hormigón

A= área mojada ( $m^2$ ).

R= radio hidráulico (m).

S= pendiente hidráulica (m/m).

### 3.2.2. Eficiencia del Sistema de Evacuación

## Definición de Eficiencia

EC- 5 Eficiencia

$$n = \frac{V_{evac}}{V_{diseño}} \times 100\% \quad (4)$$

Donde:

( $\eta$ )= Eficiencia.

$V_{evac}$ = volumen evacuado.

$V_{diseño}$ = volumen de diseño.

Un sistema con  $\eta \geq 90\%$  se considera altamente eficiente (EPA, 2015).

## Indicadores Operacionales

- Volumen evacuado: integrar hidrograma de flujo en sumideros ( $m^3$ ).
- Frecuencia de inundaciones: n° de eventos con desbordes por año.
- Superficie inundada: área en  $m^2$  obtenida de GIS y validada con observaciones de campo.

## Procedimiento Práctico en SWMM

- Extraer series temporales de caudal en nodos críticos.
- Integrar volumen ( $V_{evac}$ ) bajo la curva de descarga.
- Identificar segmentos con retorno de flujo (indicador de desbordes).
- Comparar  $\eta$  entre diferentes escenarios de diseño (ANA, 2017).

## Validación en Campo

- Medición in situ de niveles de agua durante eventos de lluvia.
- Fotografías y coordenadas GPS de puntos de inundación.
- Registro de tiempos de inicio y fin de desbordes para estimar frecuencia.

### 3.2.2.1. Generación de hidrogramas de diseño

### **Método de Triángulos o Natural Shapes en SWMM:**

- Selección de intensidad  $i$  desde curva IDF.

EC- 6 Definición de tiempo de concentración  $t_n$

$$t_n = 0.0195L^{0.77}S^{-0.385} \quad ( 5 )$$

Donde:

$L$ = longitud del flujo (m)

$S$ = pendiente media (m/m)

Creación de hidrograma en SWMM según forma triangular o SCS.

#### **3.2.2.2. Storm Water Management Model**

El Modelo de Gestión de Aguas Pluviales de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA - SWMM) es una simulación vivaz de lluvias, perfecta para un evento particular o para un análisis perpetuo. El programa brinda la oportunidad de contemplar la cantidad y la pureza del agua residual, especialmente en los vertederos urbanos. El sistema hidrológico de SWMM despliega un entramado de cuencas donde la lluvia descende y desencadena la escorrentía. El sistema hidráulico de SWMM desentraña la travesía de estas aguas a través de un intrincado entramado formado por tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, bombas y mecanismos de control. Asimismo, SWMM posee la destreza de vigilar el flujo y la pureza del agua que danza desde cada cuenca, así como el caudal, el nivel de agua en los pozos y la calidad del agua en cada tubería y canal a lo largo de una simulación que abarca diversas fases temporales.

#### **Características del modelo hidrológico**

SWMM explora diversos fenómenos hidrológicos que ocurren al evaporarse las aguas de las ciudades. Entre ellos se encuentran:

- Las precipitaciones oscilan con el paso del tiempo.

- Desvanecimiento de los líquidos terrestres atrapados en la superficie.
- La acumulación y el deshielo de la nieve.
- Captura de lluvias a través del almacenamiento en grietas.
- Infiltración de las lluvias en estratos del terreno que aún no han alcanzado su saturación.
- Infiltración del líquido vital en los entramados acuáticos.

#### Ventajas comunes de SWMM

- Entre las aplicaciones comunes destacan: Desde su creación, SWMM se ha infiltrado en numerosas redes de drenaje, tanto de residuos como de pluviales.
- Elaboración y dimensionamiento de los elementos de la red de drenaje para evitar desbordamientos.
- Elaboración de estructuras de retención y sus complementos para mitigar inundaciones y salvar la pureza del agua.
- Definición de áreas vulnerables a inundaciones en cumbres y ríos naturales.
- Creación de tácticas para orquestar la red y reducir al máximo las descargas de sistemas individuales.
- Confeccionar cargas de fuentes contaminantes imprecisas para investigaciones sobre la acumulación de desechos.

### **3.3. Definición de términos**

#### **Evacuación de aguas pluviales**

La gestión de aguas pluviales abarca un entramado de infraestructuras y métodos para capturar, transportar y drenar de forma eficaz las aguas lluvias en el corazón urbano, con el propósito de prevenir la acumulación que provoca inundaciones, daña la

infraestructura vial y pone en peligro a la comunidad. El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014) ha elaborado esquemas de sumideros, tuberías de conducción y puntos de vertido, junto con directrices de mantenimiento para garantizar la operatividad perpetua del sistema.

### **Precipitación total y precipitación efectiva**

La lluvia acumulada durante un evento se expresa en milímetros, mientras que la recepción efectiva es la porción que, tras eliminar pérdidas por infiltración, intercepción y evaporación, produce escorrentía superficial. Este concepto es crucial para calibrar los sistemas de drenaje, ya que solo la lluvia efectiva enriquece el flujo en las tuberías y canales metropolitanos (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2021).

### **Caudal de avenida de diseño**

El caudal de avenida de diseño es el límite máximo para el que se proyecta una red de drenaje pluvial, vinculada a un horizonte temporal específico, como 10 o 25 años. El Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2014) asegura que la infraestructura escapa sin desbordes ni colapsos, armonizando seguridad y costo-beneficio en la estrategia urbana (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014).

### **Frecuencia (periodo de retorno)**

El intervalo de retorno de un episodio pluviométrico revela la probabilidad anual de que dicho fenómeno se repita o se supere. Un intervalo de 25 años representa una probabilidad del 4 % de que la lluvia vinculada se repita anualmente. Este indicador es crucial para desentrañar peligros y dictar directrices de diseño en proyectos acuáticos (Autoridad Nacional del Agua, 2017).

### **Tiempo de concentración**

El lapso de concentración es el lapso que la escorrentía originada en el rincón más remoto de la cuenca navega hasta el destino final, conocido como sumidero. Este

termómetro esculpe la longevidad del hidrograma y moldea el auge del caudal en el sistema de drenaje, siendo esencial para la creación precisa de hidrogramas y la elección adecuada de la intensidad de lluvia aplicable (Pérez, 2014).

### **Escorrentía superficial**

La escorrentía superficial es el flujo de agua que circula por la superficie terrestre después de que la precipitación supera la capacidad de infiltración y retención inicial del terreno. En áreas urbanas con alta impermeabilización, la escorrentía es rápida y concentrada, incrementando la necesidad de redes de drenaje eficientes para evitar erosión y daños a la infraestructura (Ministerio del Ambiente, 2019).

### **Alcantarillas**

Las alcantarillas son conductos cerrados, generalmente de hormigón o PVC, que permiten el paso subterráneo de aguas pluviales bajo estructuras de superficie como carreteras y edificios. Deben diseñarse con pendientes y alturas libres adecuadas para evitar obstrucciones y mantener velocidades autolimpiantes, siguiendo especificaciones de la Norma Técnica OS-060 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2009).

### **Intersección vial**

En el contexto del drenaje urbano, la intersección vial es el punto donde confluyen dos o más vías, representando zonas críticas para la evacuación de aguas pluviales. Su diseño debe contemplar sumideros adicionales, geometrías que favorezcan el escurrimiento y medidas para proteger el tránsito peatonal, minimizando el riesgo de inundaciones en cruces vehiculares (Osore, 2016).

### **Berma, captación y cuneta**

La berma es la franja lateral de la calzada que facilita la escorrentía superficial; la captación son los dispositivos (rejillas, sumideros) que interceptan el agua antes de ingresar a la red; y la cuneta es el canal descubierto que conduce el flujo a lo largo de la berma. Su

correcta integración y pendiente garantizan la recolección eficiente de aguas pluviales y la protección de la estructura vial (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2009).

### **Evacuación de Aguas Pluviales**

La evacuación de aguas pluviales comprende el conjunto de infraestructuras y procesos destinados a recolectar, conducir y descargar el agua de lluvia para prevenir inundaciones urbanas. Incluye:

- Estructuras de captación: sumideros, rejillas y canaletas que interceptan agua y sólidos arrastrados, evitando obstrucciones en la red.
- Elementos de conducción: tuberías y canales con pendientes y secciones diseñadas para mantener velocidades de autolimpieza ( $\geq 0,6$  m/s) y evitar sedimentos estancados.
- Puntos de descarga: vertederos controlados al cauce receptor o sistema de infiltración (zanjas secas, pozos de absorción) que minimizan alteraciones al régimen natural del agua.
- Mantenimiento y operación: limpieza periódica de rejillas y desazolve de tuberías, según manuales municipales, para conservar la funcionalidad del sistema.

## **IV. Metodología**

### **4.1. Tipo y nivel de investigación**

#### **Tipo de investigación**

La investigación científica se divide comúnmente en dos tipos principales: investigación básica y aplicada; la investigación básica se enfoca en la generación de nuevos conocimientos, mientras que la investigación aplicada utiliza los conocimientos existentes para abordar problemas prácticos en el mundo real (Vásquez et al., 2023).

La presente tesis es de tipo aplicado, pues busca analizar el régimen hidrológico e hidráulico de la Av. Panamá, para proponer un dimensionamiento óptimo del sistema de evacuación pluvial para mejorar su eficiencia ante eventos de lluvia de distintos periodos de retorno.

#### **Nivel o alcance de investigación**

El nivel de investigación determina el grado de profundidad en el análisis de los datos: exploratorio (primera aproximación), descriptivo (caracterización detallada), correlacional o causal-explicativo (análisis de relaciones entre variables) (Hernández-Sampieri et al., 2018).

La presente tesis combina un nivel descriptivo para establecer los parámetros hidrológicos e hidráulicos de la avenida con un nivel causal-explicativo, al analizar cómo dichas variables influyen en la eficiencia del drenaje pluvial.

#### **Diseño de investigación**

El diseño de investigación es la estructura general que guía el proceso desde la recolección de datos hasta el análisis e interpretación de resultados. Hernández et al. (2014) señalan que el diseño no experimental, específicamente el transeccional descriptivo, se emplea cuando las variables se observan tal como ocurren en su contexto natural, sin

manipulación intencional por parte del investigador, y los datos se recolectan en un solo momento o periodo determinado.

En mi tesis utilicé un diseño no experimental, ya que no manipulé las variables climáticas o topográficas de la avenida Panamá. Me limité a observar, medir y simular su comportamiento bajo condiciones reales de precipitación, modelando el sistema de drenaje tal como se encontraba en el momento del estudio, lo cual permitió una caracterización precisa de su eficiencia hidráulica.

## **4.2.   Ámbito temporal y espacial**

### **Ámbito temporal**

El ámbito temporal clasifica el estudio en transversal (un solo corte temporal) o longitudinal (múltiples momentos), lo que define la dinámica de la recolección de datos (Creswell, 2014).

Este trabajo es de ámbito transversal, ya que utiliza un corte de datos pluviométricos e hidráulicos del año 2025 para evaluar la eficiencia del sistema, complementado con series históricas para el cálculo de curvas IDF.

### **Ámbito espacial**

El ámbito espacial delimita geográficamente el área de estudio y las unidades de análisis, lo que garantiza la coherencia entre los datos recogidos y el entorno investigado (Arias, 2012).

Se establece como ámbito espacial la Avenida Panamá, desde su empalme con la Vía de Evitamiento hasta la intersección con la Av. Perú en Abancay, Apurímac, donde se ubican los nodos de muestreo y se realiza el mapeo de la red pluvial.

### **4.3. Población y muestra**

#### **Población**

La población de un estudio estadístico comprende el conjunto completo de elementos con características comunes sobre los cuales se desea inferir resultados (Hernández-Sampieri et al., 2018).

En esta tesis la población está conformada por todos los registros pluviométricos diarios (1996-2019) de la estación SENAMHI-Abancay y por todos los tramos y nodos de la red de drenaje de la Av. Panamá en 2025.

#### **Muestra**

La muestra es un subconjunto representativo de la población, elegido mediante métodos probabilísticos o no probabilísticos para permitir la generalización de los hallazgos (Hernández-Sampieri et al., 2018).

Para garantizar representatividad, se seleccionaron 23 años de datos pluviométricos por su continuidad y calidad, y 27 subcuencas con 14 nodos críticos de la red pluvial mediante muestreo intencional basado en el aporte relativo de escorrentía.

### **4.4. Instrumentos**

#### **Instrumentos**

Los instrumentos son las herramientas concretas que facilitan la recolección y registro de datos; incluyen fichas de registro, plantillas de software, dispositivos de medición y sistemas de información geográfica (Arias, 2012). Deben diseñarse y calibrarse para asegurar mediciones precisas y repetibles.

Para este estudio se emplearán:

- Fichas de registro pluviométrico para volcar datos diarios de SENAMHI-Abancay (1996–2019).

- Plantillas de configuración de SWMM donde se ingresan subcuencas, conduits y parámetros hidráulicos;
- ArcGIS/Google Earth, para delimitar subcuencas y georreferenciar puntos de muestreo.
- Hojas de cálculo en Excel, para procesar curvas IDF y resultados de escorrentía.
- GPS de mano, para validar en campo la ubicación de nodos y pendientes reales.

### **Técnicas**

Las técnicas de investigación son los procedimientos sistemáticos y planificados que permiten obtener la información necesaria para responder a las preguntas de estudio, pudiendo ser documentales (revisión de normativa y literatura), de campo (levantamiento de datos in situ) o de simulación (modelación computacional) (Hernández-Sampieri, Fernández-Collado & Baptista-Lucio, 2018). Cada técnica se selecciona de acuerdo con la naturaleza del problema y los objetivos, garantizando la validez y confiabilidad de los datos.

En esta tesis se aplicarán tres técnicas:

- Documental, mediante la revisión del Manual Técnico de Diseño de Drenaje Pluvial Urbano del MVCS (2019) y la Norma Técnica OS.060 del RNE para definir criterios de diseño y periodos de retorno;
- De simulación, utilizando SWMM 5.2 para modelar el régimen hidrológico e hidráulico de la avenida Panamá siguiendo las directrices del MVCS;
- De campo, para validar parámetros topográficos (pendientes, cota) y georreferenciar los nodos del modelo con GPS y Google Earth.

### **4.5. Procedimientos**

El procedimiento es la secuencia organizada de pasos que guía desde la preparación hasta el análisis de datos, garantizando coherencia y reproducibilidad (Creswell, 2014).

Incluye desde la delimitación del objeto de estudio y la selección de técnicas hasta la síntesis final de resultados. Cada fase debe documentarse detalladamente.

Procedimiento paso a paso aplicado a la tesis:

- Revisión documental de normativa (MVCS, 2019; RNE OS.060) y antecedentes nacionales.
- Delimitación de la subcuenca de Av. Panamá con SIG y Google Earth, registrando longitud (1 088 m), cotas (2 573–2 388 msnm) y pendiente (17 %).
- Descarga y depuración de series pluviométricas 1996–2019 de SENAMHI-Abancay.
- Construcción de curvas IDF en Excel mediante regresión log–log y ajuste de parámetros a y b.
- Cálculo de caudales con método racional (OS.060) y validación del coeficiente de escorrentía ( $C=0.88$ ) según MVCS.
- Configuración del modelo SWMM: 27 subcuencas, 14 junctions, 14 conduits y un outfall, usando DYNWAVE para flujo dinámico.
- Simulación de escenarios de retornos 2, 5, 10, 25 y 50 años; extracción de hidrogramas de caudal y volumen evacuado.
- Comparación y validación de resultados contra parámetros de la Norma Técnica OS.060 y estudios previos en Abancay y Jaén.

#### **4.6. Análisis de datos**

El análisis de datos cuantitativos implica organizar, sintetizar y aplicar técnicas estadísticas descriptivas e inferenciales (medias, desviaciones, correlaciones) para probar hipótesis y responder a los objetivos (Field, 2018). Asimismo, incluye la validación de modelos mediante comparación de resultados simulados y medidos.

En este estudio se realizará:

- Estadística descriptiva de intensidades máximas y caudales.
- Análisis de frecuencia de precipitación máxima en 24 h (Log-Pearson III) y detección de outliers (Kolmogorov-Smirnov) según Ven Te Chow.
- Cálculo de eficiencia ( $\eta$ ) y frecuencia de inundación a partir de hidrogramas de SWMM.
- Correlación de Pearson para evaluar la relación entre parámetros hidrológicos/hidráulicos y eficiencia de evacuación.

#### **4.7. Consideraciones éticas**

La ética en la investigación social y de campo exige un compromiso con la honestidad intelectual, el respeto a la autoría y la transparencia en la gestión de la información, de manera que se salvaguarde la confianza y la integridad de los datos utilizados (Israel & Hay, 2006). Esto implica obtener y emplear la información con autorización, reconocer debidamente las contribuciones ajenas y exponer claramente los procedimientos seguidos, de modo que cualquier lector pueda verificar la veracidad y reproducibilidad del estudio.

## **V. Resultados y discusión**

### **Resultados**

Este capítulo presenta los resultados del análisis hidrológico e hidráulico desarrollado mediante el software SWMM (Storm Water Management Model), con el objetivo de evaluar la eficiencia del sistema de drenaje pluvial en las avenidas Panamá, ubicadas en la ciudad de Abancay. La presentación de los resultados sigue una estructura alineada con los objetivos específicos del estudio, lo que permite una lectura clara y lógica del proceso de evaluación, así como de las soluciones propuestas, siempre respaldadas por evidencia técnica.

Más allá de su enfoque académico, este análisis responde a una necesidad urgente y concreta: garantizar la seguridad de la población ante lluvias intensas y eventos hidrometeorológicos extremos, cada vez más frecuentes. En este sentido, cobra especial relevancia el cumplimiento de lo establecido en (RNE) y, específicamente, en la Norma Técnica OS.060 - Drenaje Pluvial, que señala:

“Todo sistema de evacuación de aguas pluviales debe asegurar la recolección, conducción y disposición adecuada de las aguas de lluvia, considerando el periodo de retorno adecuado según el nivel de criticidad del área urbana.” (RNE OS.060, Art. 6.1)

Asimismo, este trabajo se enmarca dentro de lo dispuesto por la Norma G.040 - Seguridad, que enfatiza la importancia de mitigar los riesgos asociados a lluvias intensas en zonas urbanas densamente pobladas. Bajo este contexto, la simulación con SWMM se convierte en una herramienta técnica indispensable para planificar con anticipación y actuar con responsabilidad.

La metodología empleada en el estudio se basa en las recomendaciones del Manual Técnico de Diseño de Drenaje Pluvial Urbano del MVCS (2019), que establece como buenas prácticas:

- El uso de modelos de simulación hidrológica e hidráulica como SWMM.
- La delimitación de subcuencas urbanas, identificando pendientes, coeficientes de escorrentía y tiempos de concentración.
- El diseño de sistemas considerando periodos de retorno de entre 25 y 50 años, según el nivel de riesgo.
- La integración del drenaje pluvial en los Planes de Desarrollo Urbano.

Estas directrices fueron aplicadas de forma rigurosa. Se inició con la delimitación de la cuenca urbana mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se estimaron los caudales con el método racional propuesto por la OS.060 (Anexo A) y se implementó el modelo hidráulico en SWMM, simulando distintos escenarios de lluvia para evaluar el comportamiento del sistema.

Adicionalmente, los resultados obtenidos fueron comparados con estudios similares realizados en Piura, Jaén y Tamburco (Abancay), los cuales también utilizaron el modelo SWMM o enfoques equivalentes en contextos urbanos comparables. Esta comparación busca validar la consistencia de los resultados y reforzar su aplicabilidad técnica.

Finalmente, el capítulo cierra con una discusión donde se analizan las limitaciones estructurales del sistema actual, la necesidad de implementar enfoques de Drenaje Urbano Sostenible, y se plantean posibles soluciones técnicas que cumplan tanto con los requerimientos hidráulicos como con la normativa vigente del RNE y el MVCS.

De este modo, el presente capítulo no solo traduce datos en resultados, sino que aporta una mirada técnica sólida, útil y propositiva para la toma de decisiones en el diseño e implementación de sistemas de drenaje pluvial urbano eficientes y sostenibles.

### **Descripción del Área de Estudio**

La presente investigación se llevó a cabo en la ciudad de Abancay, tomando como área de estudio la intersección y los tramos adyacentes de las avenidas Panamá, dos vías importantes dentro del tejido urbano de la ciudad. La Avenida Panamá se extiende desde la Vía de Evitamiento hasta la Avenida Panamericana, comprendiendo un trayecto que llega aproximadamente hasta las inmediaciones del estadio El Olivo. En paralelo, la Avenida Perú se desarrolla desde su intersección con la Avenida Seoane hasta la zona conocida como Bellavista Alta, atravesando áreas urbanas con alta densidad poblacional y actividad vehicular.

A continuación, se presenta una figura que muestra la ubicación geográfica precisa de ambas avenidas dentro del área urbana de Abancay, lo cual permite contextualizar espacialmente el análisis del sistema de drenaje pluvial propuesto en esta investigación.

**Figura 1**

*Ubicación de la avenida Panamá con avenida Perú.*



*Nota.* Esta figura muestra el estudio donde comienza en la Vía Evitamiento y termina en la intersección de avenida Perú. Fuente: Google Earth.

### **Descripción del área de estudio**

El área de estudio comprende la intersección y los tramos adyacentes de las avenidas Panamá, en la ciudad de Abancay, donde actualmente no existe un sistema de drenaje pluvial adecuado que permita gestionar eficientemente las aguas de lluvia. Ambas avenidas cuentan con pavimento rígido de concreto, lo que incrementa la escorrentía superficial al impedir la infiltración del agua en el terreno.

La Avenida Panamá tiene una longitud de 1088 metros, con cotas que descienden desde los 2573 msnm en el extremo noreste hasta los 2388 msnm en el suroeste, presentando una pendiente promedio de 17%. Esta inclinación permite que el agua fluya libremente por su superficie durante las lluvias, acumulando caudales significativos que descienden sin

control hacia niveles más bajos. Por otro lado, la Avenida Perú, mucho más extensa con 9189 metros de longitud, presenta cotas que oscilan entre los 2424 msnm y 2408 msnm, con una pendiente mucho más suave de apenas 0.2%, lo que limita aún más su capacidad natural de evacuación de agua.

Ambas avenidas convergen en una intersección crítica, ubicada a una cota de 2411 msnm, donde se concentra gran parte del escurrimiento superficial proveniente de la avenida Panamá. Esta zona, al presentar una depresión natural del terreno, funciona como un punto de acumulación durante eventos de lluvia, pero no cuenta con infraestructura hidráulica que permita evacuar de manera eficiente el caudal concentrado. Como resultado, se generan inundaciones recurrentes que afectan tanto la transitabilidad vehicular como la seguridad de los peatones.

Este escenario pone en evidencia la urgente necesidad de diseñar e implementar un sistema de drenaje pluvial robusto y funcional, que no solo recoja y evacúe las aguas de ambas avenidas, sino que también contemple el aporte adicional generado por la topografía inclinada de la avenida Panamá. Ignorar esta dinámica hídrica implica mantener una situación de vulnerabilidad permanente en una zona clave de la ciudad.

Diseñar soluciones integrales que combinen eficiencia hidráulica con sostenibilidad urbana no es solo una opción técnica, sino un compromiso con la seguridad y calidad de vida de los habitantes de Abancay.

### **Características meteorológicas del área de estudio**

La caracterización climática del área de estudio se centra en el análisis de las precipitaciones máximas en 24 horas, variable clave para el cálculo del caudal de diseño en sistemas de drenaje pluvial urbano. En el caso de las avenidas Panamá, ubicadas en la ciudad de Abancay, este dato cobra especial relevancia, ya que permite estimar el volumen de lluvia

que podría generarse durante un evento extremo, y con ello prever la capacidad necesaria del sistema para evacuar dicho caudal sin generar inundaciones.

El cálculo del caudal no depende únicamente de la intensidad de la lluvia, sino que se complementa con varios factores hidrológicos y geométricos fundamentales:

- El coeficiente de escorrentía, que indica la fracción de la lluvia que se convierte en escorrentía superficial, y que depende del tipo de superficie, grado de urbanización y nivel de impermeabilización.
- El área de la cuenca, que define el tamaño del sector que aporta agua al sistema.
- La pendiente del terreno, que condiciona la velocidad del flujo y su dirección.
- Y el tiempo de concentración, que representa el tiempo que tarda el agua de la zona más alejada en llegar al punto de salida del sistema, y que influye directamente en la magnitud del caudal pico.

Para este estudio, se utilizaron los datos proporcionados por la estación climatológica de Abancay, operada por el SENAMHI, la cual cuenta con un registro confiable de precipitaciones máximas en 24 horas durante un periodo de 24 años (1996–2019).

Al estar ubicada dentro de la misma ciudad, esta estación garantiza una alta representatividad de las condiciones locales, lo que fortalece la precisión del análisis.

Con esta información, y considerando los parámetros hidrológicos antes mencionados, se puede estimar de forma realista el caudal máximo que debe ser evacuado por el sistema de drenaje pluvial.

Este paso es determinante para dimensionar adecuadamente la infraestructura y asegurar que tanto la avenida Panamá como la avenida Perú tengan la capacidad de responder eficazmente ante lluvias intensas, reduciendo así el riesgo de encharcamientos, daños estructurales e impactos negativos sobre la movilidad urbana y la seguridad de la población.

La ubicación de la estación meteorológica y su detalle es el siguiente

**Tabla 2**

Estación meteorológica

<b>Estación</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Altura</b>	<b>Registro</b>
<b>Abancay</b>	72°52''	13°36''	2776 msnm	17 años

*Nota.* Esta tabla muestra la ubicación de la estación meteorológica de la ciudad de Abancay.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3***Precipitación máxima en 24 horas – estación Abancay*

<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
<b>1996</b>	35.00	26.30	23.50	13.50	2.40	2.00	4.00	9.30	13.40	13.50	14.80	9.90
<b>1997</b>	37.20		37.20	16.50	13.90	2.40	0.00	13.40	8.20	12.80	14.80	24.80
<b>1998</b>	17.60	23.50	24.90	6.20	9.00	1.80	0.00	0.70	7.40	16.60	13.30	16.60
<b>1999</b>	25.10	40.20	28.50	11.60	7.20	7.40	2.30	0.00	19.40	16.50	22.30	26.40
<b>2000</b>	25.60	26.20	13.60	26.30	5.80	6.70	9.40	18.10	7.10	27.30	18.80	20.00
<b>2001</b>	21.70	21.10	19.50	27.30	20.60	0.70	15.20	9.90	3.00	6.60	8.10	24.40
<b>2002</b>	17.10	16.60	23.40	20.20	10.70	7.70	18.30	7.40	17.40	18.60		24.00
<b>2003</b>	35.80	26.70	30.20	9.20	2.70	0.00	0.90	11.20	13.60	43.70	7.00	23.80
<b>2004</b>	21.90	28.60	14.10		3.70	14.50	15.20	11.70	19.70	8.50	8.90	20.40
<b>2005</b>	12.10	30.60		11.00		0.00	10.60		15.00	18.80	30.60	23.80
<b>2006</b>	24.60	23.40	14.80	9.90	0.00	10.50	0.00	0.00	1.70		19.10	22.60
<b>2007</b>	28.20	23.60	20.60	8.70	15.70		14.10		1.30	14.50	18.30	32.10
<b>2008</b>	16.50	25.00	16.00		11.80		0.00	7.40	4.90	8.20	22.80	34.90
<b>2009</b>	33.00	35.90	17.80	15.60	2.80		7.20	16.10	0.00		20.00	17.60
<b>2010</b>	32.80	30.90	17.00	45.10	16.60	0.00	1.60	5.70	5.40			
<b>2011</b>	22.50	26.50	24.80			6.50					19.60	14.40
<b>2012</b>	28.80				6.70	6.20	3.80	3.80	5.60	18.40	6.10	27.60
<b>2013</b>		34.50		10.00	6.40	5.70	4.20	32.20	4.20	11.70	10.70	38.80
<b>2014</b>	39.90	54.10	16.60	17.30	5.90	3.20	3.20	3.10	7.20	25.50	12.50	31.50
<b>2015</b>	27.90	35.90	19.30	14.00	2.80	1.10	5.00	20.30	1.60	11.90	25.30	58.20
<b>2016</b>	17.80	36.30	14.20	20.70	1.50	7.20	7.50	4.70	7.50	12.70	21.50	20.90
<b>2017</b>	26.80	30.10	32.80	7.00	15.90	0.50	0.90	7.60	5.10	17.40	20.00	23.60
<b>2018</b>	23.90	33.40	19.10	8.20	9.50	12.40	11.00	18.20	7.20	29.50	10.60	25.50
<b>2019</b>	39.50	35.10	17.40	9.50	10.30	0.50	10.80	0.30				

*Nota.* Esta tabla muestra los datos que evidencian una alta variabilidad interanual e intermensual en la distribución de las lluvias intensas, destacándose meses como enero,

febrero, marzo y diciembre como los más críticos en cuanto a intensidad pluvial. Por ejemplo, se registraron valores extremos como 54.10 mm en febrero de 2014, 45.10 mm en abril de 2010, y 43.70 mm en octubre de 2003, lo cual refleja la importancia de considerar escenarios de diseño conservadores, con periodos de retorno que capturen estos eventos de alta magnitud. Estos registros refuerzan la necesidad de contar con un sistema de drenaje pluvial capaz de evacuar caudales elevados en cortos periodos de tiempo. Además, permiten validar los parámetros utilizados en el modelo SWMM, asegurando que la simulación hidrológica se base en información representativa y confiable de la realidad climática de la zona de estudio. Fuente: SENAMHI

### **Estudios Previos**

### **Estudio Hidrológico**

#### **Tiempo de Concentración.**

El lapso de convergencia de una cuenca es el lapso que una gota de agua, caída en el rincón más remoto, emplea para alcanzar la orilla de su destino. En esta investigación, se utiliza el promedio de tres fórmulas frecuentemente empleadas.

EC- 7 Fórmula de Temes

$$Tc = 0.30 \frac{L^{0.76}}{S^{0.19}} \quad ( 6 )$$

Donde:

Tc= Tiempo de concentración en horas.

L= Longitud del curso principal en kilómetros.

S= Pendiente a lo largo del cauce en m/m.

EC- 8 Fórmula de Bransby Williams

$$Tc = 0.2433 \frac{L}{A^{0.1} S^{0.2}} \quad ( 7 )$$

Donde:

Tc= Tiempo de concentración en horas.

L= Longitud del curso principal en kilómetros.

A= Área de cuenca en Km<sup>2</sup>.

S= Pendiente a lo largo del cauce en m/m.

**Análisis Estadístico de Información.** En el área analizada, carecemos de estaciones de aforo que puedan calcular los caudales directamente; en lugar de ello, se utilizarán los datos de lluvias máximas registradas en las estaciones cercanas. Se examina el registro de las precipitaciones máximas diarias registradas en las estaciones que se detallan a continuación:

**Tabla 4**

*Acumulación máxima de lluvia en un día (mm)*

<b>AÑO</b>	<b>Pmax 24 h</b>
<b>1996</b>	35
<b>1997</b>	37.2
<b>1998</b>	24.9
<b>1999</b>	40.2
<b>2000</b>	27.3
<b>2001</b>	27.3
<b>2002</b>	24
<b>2003</b>	43.7
<b>2004</b>	28.6
<b>2005</b>	30.6
<b>2006</b>	24.6
<b>2007</b>	32.1
<b>2008</b>	34.9
<b>2009</b>	35.9
<b>2010</b>	45.1
<b>2011</b>	26.5
<b>2012</b>	28.8
<b>2013</b>	38.8
<b>2014</b>	54.1
<b>2015</b>	58.2
<b>2016</b>	36.3

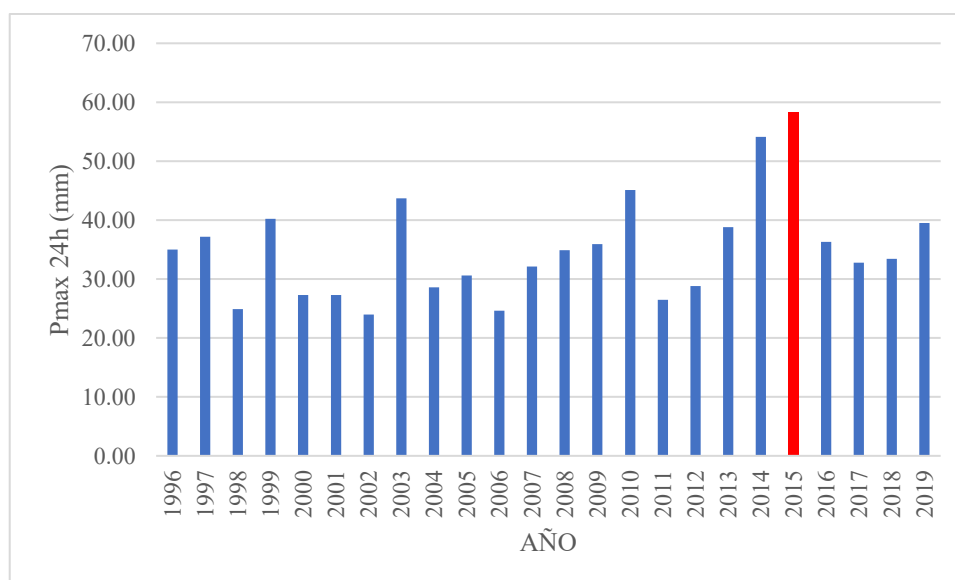
AÑO	Pmax 24 h
2017	32.8
2018	33.4
2019	39.5

*Nota.* Esta tabla muestra los registros que evidencian una importante variabilidad anual, con valores que oscilan entre 24.00 mm y un máximo de 58.20 mm, ocurrido en el año 2015.

Fuente: SENAMHI.

## Figura 2

Histograma Precipitación Máxima 24 horas



*Nota.* En la figura se observa el histograma del año vs precipitación máxima, y la precipitación máxima da máximo el 2015. Fuente: Elaboración propia.

### *Análisis de Datos Dudosos.*

Antes de aplicar cualquier tratamiento estadístico a la información, se llevó a cabo un análisis minucioso de datos dudosos, buscando identificar aquellos datos que divergen notablemente de la tendencia general; estos datos se conocen como "valores atípicos". Para identificar información ambigua, se determinarán límites máximos y mínimos para cada serie de precipitaciones máximas en cada estación examinada, siguiendo las siguientes ecuaciones de frecuencia.

## EC- 9, 10 Análisis de Datos Dudosos

$$y_H = \bar{y} + K_n S_y \quad (8)$$

$$y_L = \bar{y} - K_n S_y \quad (9)$$

Donde:

$y_H$  = Umbral superior para datos dudosos en unidades logarítmicas.

$y_L$  = Umbral inferior para datos dudosos en unidades logarítmicas.

$\bar{y}$  = Promedio de los logaritmos de las precipitaciones máximas.

$S_y$  = Desviación estándar de los logaritmos de las precipitaciones máxima

$K_n$  = Valor tabulado para una muestra n

**Tabla 5**

*Valores de  $K_n$  para la prueba de datos dudosos*

<b>n</b>	<b><math>K_n</math></b>	<b>n</b>	<b><math>K_n</math></b>	<b>n</b>	<b><math>K_n</math></b>	<b>n</b>	<b><math>K_n</math></b>
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.7	80	2.94
15	2.247	29	2.549	43	2.71	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.76	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.65	55	2.804		

Nota. Esta tabla muestra los valores  $K_n$ , utilizados en la prueba de datos dudosos. Fuente:

Hidrología Aplicada – Ven Te Chow.

**Tabla 6***Prueba de datos dudosos*

Suma	<b>839.8</b>
Número de registros	24
Precipitación media	34.99
Precipitación máxima	58.2
Precipitación mínima	24
Desviación estándar de la muestra	8.81
Media de logaritmos de registros	1.53
Desviación estándar de logaritmos de registros	0.1
Coficiente al nivel de significación de 10%	<b>2.467</b>
Logaritmo del límite superior	1.79
Logaritmo de límite inferior	1.28
Límite superior	61.005 <b>Ok</b>
Límite inferior	18.985 <b>Ok</b>

*Nota.* Esta tabla muestra el resultado después de realizar esta prueba se concluye, que los registros de la estación Abancay, estadísticamente corresponden a la muestra, al estar dentro de los límites superior e inferior respectivamente. Fuente: Elaboración propia.

#### ***Corrección por Intervalo Fijo de Observación.***

LL Weiss, tras examinar millas de estaciones de lluvia anuales, encontró que un aumento del 13% en las lluvias máximas anuales, observadas en un solo y constante período de observación, permitía alcanzar magnitudes más cercanas a las de las lluvias auténticas.

De acuerdo con lo mencionado, se multiplica el valor de las lluvias máximas por 1.13 para adaptarlo a un intervalo fijo y singular de observación. Este estudio se ilustra en la tabla adjunta.

**Tabla 7***Precipitación máxima en 24 horas (mm) corregida*

<b>AÑO</b>	<b>P max corregida</b>
<b>1996</b>	39.55
<b>1997</b>	42.036
<b>1998</b>	28.137
<b>1999</b>	45.426

<b>AÑO</b>	<b>P max corregida</b>
<b>2000</b>	30.849
<b>2001</b>	30.849
<b>2002</b>	27.12
<b>2003</b>	49.381
<b>2004</b>	32.318
<b>2005</b>	34.578
<b>2006</b>	27.798
<b>2007</b>	36.273
<b>2008</b>	39.437
<b>2009</b>	40.567
<b>2010</b>	50.963
<b>2011</b>	29.945
<b>2012</b>	32.544
<b>2013</b>	43.844
<b>2014</b>	61.133
<b>2015</b>	65.766
<b>2016</b>	41.019
<b>2017</b>	37.064
<b>2018</b>	37.742
<b>2019</b>	44.635

*Nota.* En esta tabla se observa la precipitación máxima donde el mayor valor es el año 2015 con 65.766 de precipitación máxima. Fuente: Elaboración Propia.

### ***Análisis de Frecuencia de la Precipitación Máxima en 24 horas.***

En el vasto universo de la estadística y la hidrología, se despliega un caleidoscopio de frecuencias: Normal, Log Normal de dos o tres parámetros, Gama de dos o tres parámetros, log Gumbel, entre otros. No obstante, en el terreno tangible, las distribuciones Pearson Tipo III, Log Pearson Tipo III y Gumbel han revelado ser las más idóneas para adaptarse a las precipitaciones máximas diarias. Se utilizó el ingenioso programa Hydrognomom Versión 4.1. Aquí se despliegan los hallazgos del estudio de frecuencias.

#### **a. Distribución Pearson Tipo III**

EC- 11 La función de densidad de probabilidad

$$f(x) = \frac{1}{\alpha_1 \Gamma(\beta_1)} \left[ \frac{x - \delta_1}{\alpha_1} \right]^{\beta_1 - 1} e^{-\frac{x - \delta_1}{\alpha_1}} \quad (10)$$

Donde:

$\alpha_1, \beta_1, \delta_1$  = Parámetros de la función

$\Gamma(\beta_1)$  = Función Gamma.

Los parámetros  $\alpha_1, \beta_1, \delta_1$  se evalúan a partir de los datos de intensidades observadas (en este caso estimadas a partir de la lluvia máxima en 24 horas), mediante el siguiente sistema de ecuaciones.

EC- 12 Media de los datos

$$\bar{x} = \alpha_1 \beta_1 + \delta_1 \quad (11)$$

EC- 13 Variancia de los datos

$$S^2 = \alpha_1^2 \beta_1 \quad (12)$$

EC- 14 Coeficiente de sesgo

Coeficiente de sesgo en función de beta:

$$\gamma = \frac{2}{\sqrt{\beta_1}} \quad (13)$$

Coeficiente de sesgo:

$$\gamma = \sum \frac{(x_i - \bar{x})^3 / n}{S^3} \quad (14-a)$$

EC- 15 La función de distribución de probabilidad

$$F(x) = \frac{1}{\alpha_1 \Gamma(\beta_1)} \int_0^x e^{-\frac{x-\delta_1}{\alpha_1}} \left( \frac{x-\delta_1}{\alpha_1} \right)^{\beta_1-1} dx \quad (14)$$

Sustituyendo

$y = \frac{x-\delta_1}{\alpha_1}$ , la ecuación anterior se escribe como:

EC- 16 Función acumulada de la distribución gamma (asociada a Pearson tipo III)

$$F(y) = \frac{1}{\Gamma(\beta_1)} \int y^{\beta_1-1} e^{-y} dy \quad ( 15 )$$

Donde:

$F(y)$  = función acumulada.

$\Gamma(\beta_1)$  = función gamma del parámetro  $\beta_1$ .

$y$  = variable de integración.

$\beta_1$  = : parámetro de forma (de la distribución gamma).

Esta última ecuación es una función de distribución chi cuadrada con  $2\beta_1$  grados de libertad y también  $\chi^2 = 2y$ , es decir:

EC- 17 La función de distribución chi cuadrada ajustada

$$F(y) = F(\chi^2|v) = F\chi^2(2y|2\beta_1) \quad ( 16 )$$

Donde:

$F(y)$  = función acumulada de probabilidad.

$\chi^2$  = distribución chi-cuadrada.

$Y$  = variable de interés transformada.

$\beta_1$  = parámetro de forma (de la Pearson tipo III).

$v$  = grados de libertad.

La función chi cuadrado se encuentra en tablas estadísticas.

### b. Distribución Log Pearson Tipo III

En caso de que los logaritmos de una variable inesperada se comporten según la distribución Pearson Tipo III, emerge la función Log Pearson Tipo III. La respuesta se encuentra al igual que en la distribución Pearson Tipo III.

### c. Distribución Gumbel

Imaginemos un número infinito de muestras, cada una llena de "n" sucesos. Es factible probar que, a medida que el número de eventos se incrementa, la función de probabilidad de "x" se inclina hacia:

EC- 18 La magia del reparto acumulado de Gumbel

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad ( 17 )$$

**Donde:**

F(x)=Función de distribución acumulada (sin unidad)

x=Variable aleatoria (mm o m<sup>3</sup>/s)

$\alpha$ =Parámetro de escala (1/unidad de x)

$\beta$  = Parámetro de localización (unidad igual a x)

EC- 19 Función de densidad de Gumbel

$$f(x) = \alpha e^{-\alpha(x-\beta)-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad ( 18 )$$

Donde:

$\alpha$  y  $\beta$  son los parámetros de la función.

Los parámetros Gumbel  $\alpha$  y  $\beta$ , se estiman para muestras muy grandes, como:

$$\alpha = \frac{1.2825}{S} \quad ( 19.a )$$

$$\beta = \bar{x} - 0.45S \quad (19.b19)$$

Los parámetros Gumbel para muestras relativamente pequeñas, se tiene:

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{S} \quad (19.c20)$$

$$\beta = \bar{x} - u_y/\alpha \quad (19.d21)$$

Los valores de  $\mu_y$  y  $\sigma_y$  se encuentran en tablas.

#### **d. Prueba de Bondad de Ajuste.**

Para determinar cuál teoría de precipitaciones máximas se alinea mejor con los datos de precipitaciones máximas, se empleó la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov. Se trata de evaluar el valor máximo absoluto de la disparidad D entre la función de probabilidad observada  $F_0(X_m)$  y la proyectada  $F(X_m)$ .

EC- 20 Prueba de Kolmogorov-Smirnov

$$D = \max|F_0(X_m) - F(X_m)| \quad (22)$$

Donde:

D = Estadístico KS (valor absoluto de la diferencia máxima).

$F_0(X_m)$  = Función acumulada empírica.

$F(X_m)$  = Función teórica acumulada.

Con un valor crítico “d” que depende del número de datos y del nivel de significación seleccionado.

Si  $D < d$ , se acepta la hipótesis nula.

Los valores del nivel de significación  $\alpha$  que se usan normalmente son del 10%, 5% y 1%.

El valor de  $\alpha$ , en la teoría estadística, es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula

$H_0$  = La función de distribución de probabilidad es  $D(\alpha, \beta)$ , cuando en realidad es cierta, es decir de cometer un error tipo I.

La función de distribución de probabilidad observada se calcula como:

## EC- 21 Función acumulada empírica

$$F_0(X_m) = 1 - \frac{m}{n + 1} \quad (21)$$

Donde:

M=es el número de orden del dato

X<sub>m</sub>= en una lista de mayor a menor.

N= es el número total de datos.

De acuerdo a esta prueba de ajuste, todos los datos observados se ajustan a las distribuciones Pearson, Log Pearson y Gumbel, sin embargo, los datos de la serie Granja Kayra se ajusta mejor a la distribución LogPearson Tipo III.

Mientras que los datos de la estación Perayoc se ajustan mejor a la distribución Pearson Tipo III, por tener el menor valor de D. Los resultados del análisis de Kolmogorov se muestran en la tabla 8.

**Tabla 8**

*Resultados de la prueba Smirnov – Kolmogorov*

<b>Distribución</b>	<b>d teórico</b>	<b>d tabular</b>
normal	0.0833	0.2776
Log. normal 2 parámetros	0.076	0.2776
Log. normal 3 parámetros	0.0704	0.2776
gamma 2 parámetros	0.1425	0.2776
gamma 3 parámetros	0.06188	0.2776
log Pearson tipo 3	0.06132	0.2776
Gumbel	0.062	0.2776
log Gumbel	0.0903	0.2776

*Nota.* Esta tabla muestra la distribución Log Pearson Tipo III es la que presenta el mejor ajuste a la muestra analizada, al mostrar el menor valor de *d* teórico. Por ello, se utilizó para

el cálculo de la precipitación máxima en distintos períodos de retorno. Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 9**

*Precipitación Máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno*

<b>Tr (años)</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>P<sub>24h</sub> (mm)</b>
2	0.5	37.51
5	0.2	46.71
10	0.1	53.16
20	0.05	59.63
25	0.04	61.74
50	0.02	68.45

*Nota.* Esta tabla presenta los valores de precipitación máxima en 24 horas correspondientes a distintos períodos de retorno (Tr), calculados con base en la distribución Log Pearson Tipo III. La probabilidad representa la frecuencia asociada a cada período de retorno. Fuente: Elaboración propia.

## **Resultados**

### **Determinación del régimen de intensidades máximas de lluvia**

En el área analizada, las estaciones meteorológicas disponibles carecen de registros de lluvias, impidiendo así capturar de manera directa las fuerzas máximas de lluvia en lapsos breves.

En respuesta a esta restricción, se adoptó una perspectiva conceptual ampliamente aceptada en hidrología: las lluvias torrenciales, intensas y efímeras, suelen ser poco o nada vinculados a la ubicación geográfica, pues están vinculados a celdas atmosféricas convectivas que comparten características físicas en diversas zonas del planeta.

En este contexto, es factible calcular las fuerzas máximas utilizando modelos empíricos que vinculan la lluvia máxima en un día con la duración de la tormenta y el lapso de retorno.

Uno de los enfoques más populares para esta tarea es el modelo de Frederick Bell, que permite calcular la intensidad de lluvia máxima ( $i$ ) a través de la duración del evento y el intervalo de retorno. Este esquema se fundamenta en la recepción máxima registrada durante una hora y un retorno de 10 años.

EC- 22 Fórmula propuesta por Bell

$$P_t^T = (0.21 \log_e T + 0.52)(0.54t^{0.25} - 0.50)P_{60}^{10} \quad (22)$$

Donde:

$t$  = duración en minutos

$T$  = periodo de retorno en años

$P_t^T$  = precipitación caída en  $t$  minutos con periodo de retorno de  $T$  años

$P_{60}^{10}$  = precipitación caída en 60 minutos con periodo de retorno de 10 años

El valor de  $P_{60}^{10}$ , puede ser calculado a partir del modelo de Yance Tueros, que estima la intensidad máxima horaria a partir de la precipitación máxima en 24 horas.

$$I = aP_{24}^b$$

Donde:

$I$  = intensidad máxima en mm/h

$a, b$  = parámetros del modelo; 0.4602, 0.9721, respectivamente.

$P_{24}$  = precipitación máxima en 24 horas

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia, se han calculado indirectamente, mediante la siguiente relación:

## EC- 23 Fórmula propuesta por Bell

$$I = \frac{K T^m}{t^n} \quad ( 23 )$$

Donde:

I = Intensidad máxima (mm/min)

K, m, n = factores característicos de la zona de estudio

T = período de retorno en años

t = duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min)

Si se toman los logaritmos de la ecuación anterior se obtiene:

## EC- 24 Ecuación logarítmica de intensidad – duración – frecuencia (IDF)

$$\text{Log (I)} = \text{Log (K)} + m \text{Log (T)} - n \text{Log (t)} \quad ( 23 )$$

**Donde:**

I = Intensidad de precipitación (mm/h)

K = Constante regional

m= Exponente asociado al período de retorno

n= Exponente asociado a la duración de la lluvia

T= Período de retorno (años)

t= Duración de la precipitación (minutos)

## EC- 25 Forma lineal de la ecuación IDF

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 \quad ( 24 )$$

Donde:

Y = log(I)= logaritmo de la intensidad de lluvia.

a<sub>0</sub>=log (K)=ordenada al origen.

a<sub>1</sub>=m=coeficiente del período de retorno

a<sub>2</sub>=-n=coeficiente de la duración

$X1 = \log(T) =$  logaritmo del período de retorno

$X2 = \log(t) =$  logaritmo de la duración

El análisis de los datos arrojó los siguientes valores de intensidad máxima para la estación de Abancay:

**Tabla 10**

*Valores de intensidad máxima de precipitación (mm/h) para diferentes duraciones y periodos de retorno – Estación Abancay.*

<b>Duración</b>	<b>Periodo de retorno (años)</b>					
	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>50</b>
<b>5</b>	109.26	136.06	154.85	173.7	179.85	199.39
<b>10</b>	64.97	80.9	92.08	103.28	106.94	118.56
<b>20</b>	38.63	48.11	54.75	61.41	63.59	70.5
<b>30</b>	28.5	35.49	40.39	45.31	46.91	52.01
<b>40</b>	22.97	28.6	32.55	36.52	37.81	41.92
<b>50</b>	19.43	24.2	27.54	30.89	31.98	35.46
<b>60</b>	16.95	21.1	24.02	26.94	27.89	30.93
<b>70</b>	15.1	18.8	21.4	24	24.85	27.55
<b>80</b>	13.66	17.01	19.36	21.71	22.48	24.92
<b>90</b>	12.5	15.57	17.72	19.88	20.58	22.82
<b>100</b>	11.55	14.39	16.37	18.37	19.02	21.08
<b>110</b>	10.76	13.39	15.24	17.1	17.7	19.63
<b>120</b>	10.08	12.55	14.28	16.02	16.59	18.39
<b>180</b>	7.43	9.26	10.54	11.82	12.24	13.57
<b>240</b>	5.99	7.46	8.49	9.53	9.86	10.93
<b>360</b>	4.42	5.5	6.26	7.03	7.28	8.07
<b>480</b>	3.56	4.44	5.05	5.66	5.86	6.5
<b>600</b>	3.01	3.75	4.27	4.79	4.96	5.5
<b>720</b>	2.63	3.27	3.73	4.18	4.33	4.8
<b>1440</b>	1.56	1.95	2.22	2.48	2.57	2.85

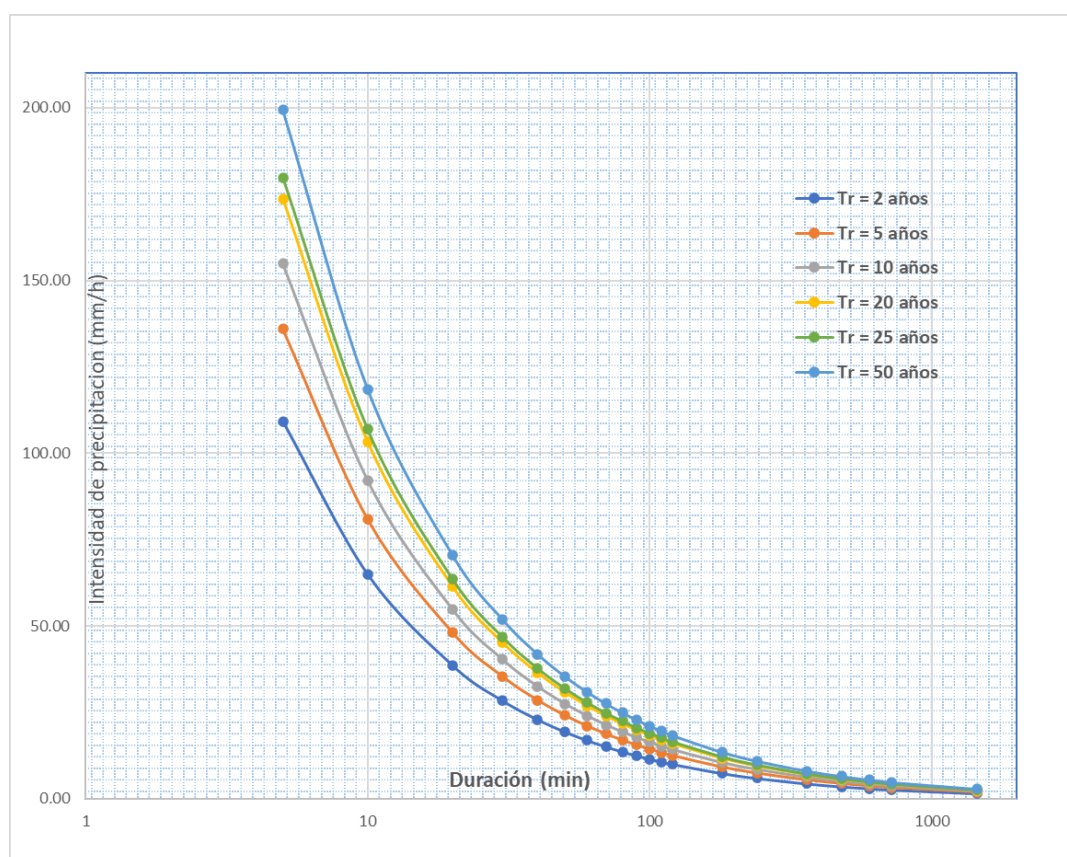
*Nota.* Esta tabla presenta los valores de intensidad máxima de lluvia en milímetros por hora (mm/h), calculados para diferentes duraciones de tormenta (entre 5 y 1440 minutos) y

periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25 y 50 años, correspondientes a la estación climatológica de Abancay. Fuente: Elaboración propia.

Estos valores fueron estimados con base en la precipitación máxima en 24 horas, empleando el modelo de Frederich Bell, con el objetivo de proporcionar insumos confiables para el diseño hidráulico del sistema de drenaje pluvial en las avenidas Panamá.

**Figura 3**

*Curva Intensidad – Duración – Frecuencia*



*Nota.* Esta figura muestra los resultados de la intensidad duración y los colores son las frecuencias para 2, 5, 10, 20, 25, 50 años. Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros hidrológicos definidos para la subcuenca de la Avenida Panamá permiten establecer el escenario de diseño crítico del sistema de drenaje pluvial. A partir del análisis de las curvas IDF desarrolladas para la estación climatológica SENAMHI – Abancay, se adoptó una intensidad de lluvia de 80.88 mm/h para una duración de 14.48

minutos, calculada como tiempo de concentración mediante la fórmula de Bransby-Williams. Este valor representa el tiempo que tarda el agua en recorrer la cuenca desde el punto más lejano hasta el exutorio (intersección con Av. Perú).

El análisis se desarrolló para un período de retorno de 25 años, en cumplimiento con lo establecido por las Normas Técnicas CE.040 y OS.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).

Estas normativas recomiendan utilizar dicho periodo para zonas urbanas con vías principales, ya que representa eventos de lluvia moderadamente frecuentes, pero con potencial de impacto significativo en la movilidad, infraestructura y seguridad ciudadana.

La intensidad adoptada, combinada con un tiempo de concentración representativo y un periodo de retorno normativo, conforman la base técnica sobre la cual se estimó el caudal de diseño.

Esta configuración busca asegurar que el sistema de drenaje proyectado tenga la capacidad suficiente para responder ante eventos extremos, evitando desbordes y reduciendo el riesgo de inundaciones en un sector crítico de la ciudad de Abancay.

**Tabla 11**

*Parámetros hidrológicos de diseño – Subcuenca Av. Panamá.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Descripción</b>
<b>Intensidad de lluvia (I)</b>	80.88 mm/h	Intensidad máxima estimada para el diseño del sistema de drenaje pluvial en la subcuenca de la Av. Panamá.
<b>Periodo de retorno (T)</b>	25 años	Periodo adoptado según normativa para zonas urbanas con infraestructura vial principal.
<b>Duración (D)</b>	14.48 min	Tiempo de concentración

*Nota.* Esta tabla presenta los valores clave utilizados para el cálculo del caudal de diseño del sistema de drenaje pluvial en la subcuenca correspondiente a la Avenida Panamá. Fuente: Elaboración propia.

### **Determinación de los caudales de aguas pluviales**

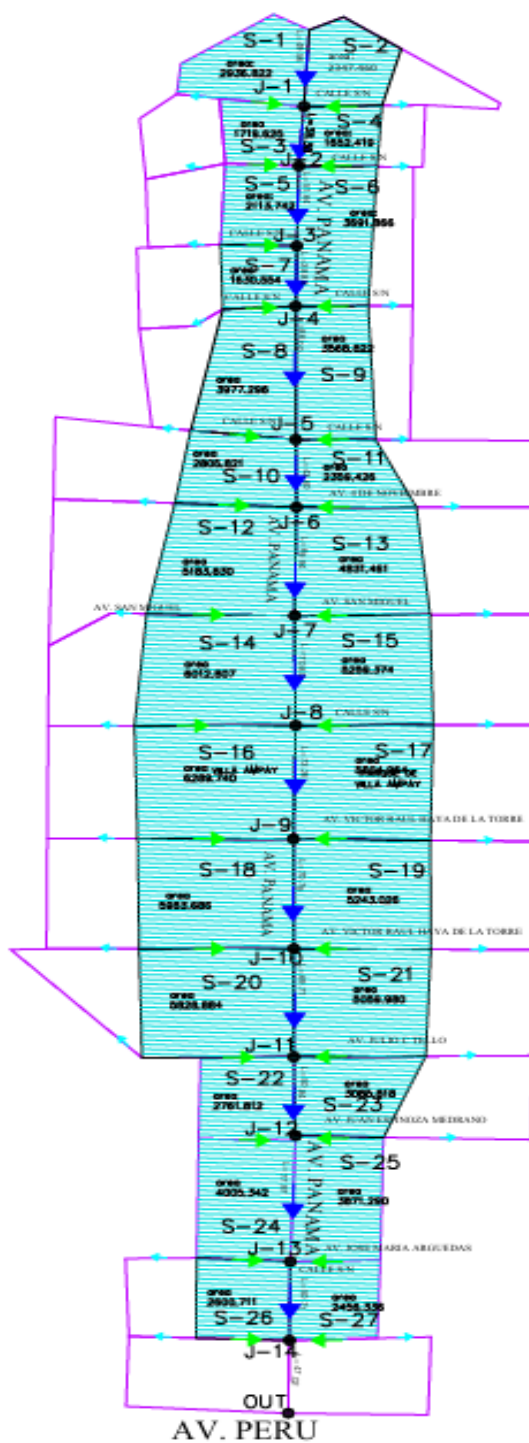
Para determinar el caudal de diseño en la intersección entre las avenidas Panamá, zona crítica donde convergen los escurrimientos pluviales urbanos, se ha definido dicho punto como salida principal de una subcuenca. En este contexto, la avenida Panamá ha sido modelada como una cuenca receptora, ya que a lo largo de su recorrido recoge el caudal generado por las precipitaciones que caen sobre calles y manzanas ubicadas aguas arriba.

Con el objetivo de delimitar con precisión las áreas aportantes, se realizó un reconocimiento de campo detallado, identificando las calles y sectores urbanos que direccionan escorrentía hacia la avenida Panamá.

Este trabajo fue complementado con el análisis de imágenes satelitales obtenidas desde Google Earth, lo que permitió identificar características clave del terreno urbano, como la dirección natural del flujo, la pendiente media del recorrido y la textura superficial. Estos parámetros fueron esenciales para calcular el tiempo de concentración, variable fundamental en la estimación del caudal.

Figura 4

Esquematación del modelo de la sub cuenca Av. Panamá



Nota. Esta tabla muestra la dirección de flujo de la avenida Panamá y sus calles laterales con la dirección de flechas verdes, y las azules llevan a la avenida Perú. Fuente: Elaboración propia.

El cálculo se desarrolló utilizando el método racional, ampliamente empleado en el diseño de sistemas de drenaje pluvial urbano por su simplicidad, fiabilidad y aplicabilidad en áreas reducidas. Para este análisis se ha asumido que las superficies aportantes son completamente impermeables, ya que gran parte del sector se encuentra asfaltado o pavimentado con concreto, lo cual impide la infiltración y favorece la formación de escorrentía superficial casi inmediata. Por esta razón, se adoptó un coeficiente de escorrentía elevado, considerando que prácticamente toda el agua precipitada escurre hacia la avenida Panamá, aumentando significativamente el volumen de agua que llega hasta la intersección con la avenida Perú.

**La fórmula del método racional es:**

$$Q = C I A$$

Donde:

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

C = Coeficiente de escorrentía (adimensional, entre 0 y 1)

I = Intensidad de lluvia (mm/h), obtenida de curvas IDF del SENAMHI

A = Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

El método racional es una herramienta ampliamente utilizada en el diseño de sistemas de drenaje pluvial urbano para estimar el caudal máximo instantáneo generado por lluvias de corta duración y alta intensidad. Este método resulta especialmente útil en cuencas urbanas de pequeña extensión, siendo aplicable en áreas menores a 3 km<sup>2</sup> según la Norma CE.040, y hasta 13 km<sup>2</sup> conforme a la Norma Técnica OS.060.

Su aplicación parte de la delimitación precisa de la cuenca, seguida del cálculo del tiempo de concentración, que se obtiene sumando el tiempo que el agua tarda en recorrer la superficie hasta un canal o colector (flujo superficial) y el tiempo que transcurre dentro de las tuberías o conductos (flujo en conducción).

Asimismo, es fundamental definir un período de retorno acorde al tipo de infraestructura, el nivel de riesgo y la criticidad del área a proteger.

Uno de los elementos más importantes del método es la correcta elección del coeficiente de escorrentía (C), que representa la fracción de la lluvia que se convierte en escorrentía superficial. Este valor depende de diversos factores, como el tipo de cobertura del suelo (impermeable, como techos o pavimento; o permeable, como áreas verdes), la pendiente del terreno, el uso actual y futuro del suelo, y la intensidad del evento de lluvia.

En zonas urbanas, donde suelen coexistir distintos tipos de superficies, se recomienda emplear un coeficiente ponderado, calculado en función del porcentaje del área que ocupa cada tipo de cobertura.

Es importante considerar que, por su simplicidad, el método racional asume que la lluvia es uniforme tanto en intensidad como en distribución espacial a lo largo de toda la cuenca y durante el periodo de análisis. Esta suposición puede representar una limitación en cuencas extensas o con topografías irregulares.

No obstante, su utilidad como método conservador y de rápida aplicación lo convierte en una herramienta confiable para estudios preliminares o en sectores urbanos bien definidos.

Finalmente, la normativa vigente exige que, para evitar riesgos de inundaciones o sobrecarga en las redes existentes, se evalúe la capacidad hidráulica del sistema receptor. En caso de que el caudal generado supere dicha capacidad, deberán considerarse estructuras de retención, almacenamiento o regulación, garantizando así la seguridad de las áreas

colindantes y evitando interferencias con redes de saneamiento u otras infraestructuras urbanas.

**Tabla 12**

*Coefficientes de escorrentía para ser utilizados en el método racional*

CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)						
	2	5	10	25	50	100	500
<b>ÁREAS URBANAS</b>							
Asfalto	0.73	0.77	0.81	0.86	0.9	0.95	1
Concreto / Techos	0.75	0.8	0.83	0.88	0.92	0.97	1
<b>Zonas verdes (jardines, parques, etc.)</b>							
<b>Condición (cubierta de pasto menor del 50% del área)</b>							
Plano 0 - 2%	0.32	0.34	0.37	0.4	0.44	0.47	0.58
Promedio 2 - 7%	0.37	0.4	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente Superior a 7%	0.4	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
<b>Condición promedio (cubierta de pasto menor del 50% al 75% del área)</b>							
Plano 0 - 2%	0.25	0.28	0.3	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio 2 - 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente Superior a 7%	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53	0.6
<b>Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)</b>							
Plano 0 - 2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio 2 - 7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente Superior a 7%	0.4	0.37	0.4	0.44	0.47	0.51	0.58
<b>ÁREAS NO DESARROLLADAS</b>							
<b>Área de Cultivos</b>							
Plano 0 - 2%	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47	0.57
Promedio 2 - 7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.6
Pendiente Superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
<b>Pastizales</b>							
Plano 0 - 2%	0.25	0.28	0.3	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio 2 - 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente Superior a 7%	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53	0.6
<b>Bosques</b>							
Plano 0 - 2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio 2 - 7%	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47	0.56
Pendiente Superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

*Nota.* Esta tabla muestra los coeficientes que serán utilizados en el estudio. Fuente: OS.060

– Reglamento Nacional de Edificaciones.

### Parámetros utilizados en el método racional

Los valores de coeficiente de escorrentía fueron determinados en función del tipo de superficie predominante en cada subcuenca, tal como establece el MVCS (2019, p. 54).

El área total de captación fue de 18.2 ha, distribuida en tres subcuencas (SC1, SC2 y SC3), cuyas características se detallan a continuación:

**Tabla 13**

*Parámetros geomorfológicos de la sub cuenca – Av. Panamá*

Parámetro	Valor	Unidad	Descripción
L	0.88	km	Distancia entre los puntos más alejados de la cuenca.
Cota máx.	2564.00	msnm	Altitud más alta de la cuenca.
Cota mín.	2413.00	msnm	Altitud más baja de la cuenca.
Desnivel	151.00	m	Diferencia de altura entre la cota máxima y la mínima.
Pendiente	0.17		Inclinación del terreno.
Área	10.27	km <sup>2</sup>	Superficie total de la cuenca.

*Nota.* Esta tabla muestra los parámetros geomorfológicos de la sub cuenca, para determinar la intensidad. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 14**

*Parámetros hidrológicos de la sub cuenca – Av. Panamá*

Parámetro	Valor	Unidad	Descripción
Intensidad (I)	80.88	mm/h	El valor proviene de las curvas IDF a partir de un análisis de regresión
Periodo de retorno (T)	25.00	años	El periodo de retorno de 25 años es utilizado en zonas urbanas según las Normas CE 040 y OS 060, para eventos de lluvia moderadamente frecuentes, protegiendo las áreas urbanas contra inundaciones.
Duración (D)	14.48	min	El tiempo de concentración calculado con la fórmula de Bransby-Williams, que estima el tiempo necesario para que el agua recorra la cuenca.

*Nota.* Esta tabla muestra los resultados obtenidos reemplazando los parámetros geomorfológicos. Fuente: Elaboración propia.

### Caudal generado por el método racional

**Tabla 15**

*Caudal generado por el método racional*

Parámetro	Valor	Unidad	Descripción
Q	2.03	m <sup>3</sup> /s	El caudal máximo estimado en el punto de salida de la subcuenca, calculado a partir de la intensidad de la lluvia y las características del terreno.
C	0.88	-	El coeficiente de escorrentía para áreas urbanas, utilizado para un periodo de retorno de 25 años
I	80.88	mm/h	La intensidad de lluvia medida en milímetros por hora, obtenida de las curvas IDF para un periodo de retorno de 25 años.
A	10.27	km <sup>2</sup>	El área de la subcuenca, medida en hectáreas

*Nota.* Esta tabla muestra el flujo estimado en el inicio de la subcuenca, en el cruce de la avenida Panamá con la avenida Perú, es de 2.03 metros cúbicos por segundo. Este número simboliza el torrente de agua que la avenida Panamá transporta hacia la avenida Perú, aunque carece de un sistema de drenaje adecuado para manejar este torrente. Este flujo es vital para la orquestación y arquitectura del sistema de drenaje en la región, pues ilustra el impacto directo de las lluvias en la capacidad de drenaje de la ruta. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos en este estudio son consistentes con los caudales hallados en contextos urbanos de características comparables. Por ejemplo, **Oscoco y Pastor (2018)**, en su estudio sobre el drenaje pluvial de Tamburco - Abancay, determinaron caudales en el orden de 0.45 a 0.60 m<sup>3</sup>/s para una cuenca urbana de 19 ha, utilizando también el método racional. Asimismo, **Zárate (2020)** aplicó esta metodología en la urbanización Fila Alta – Jaén, estimando caudales máximos de 0.65 m<sup>3</sup>/s para una superficie de 20 ha, bajo un Tr de 25 años. En ambos casos, los coeficientes de escorrentía fueron similares a los usados en esta investigación (entre 0.70 y 0.85).

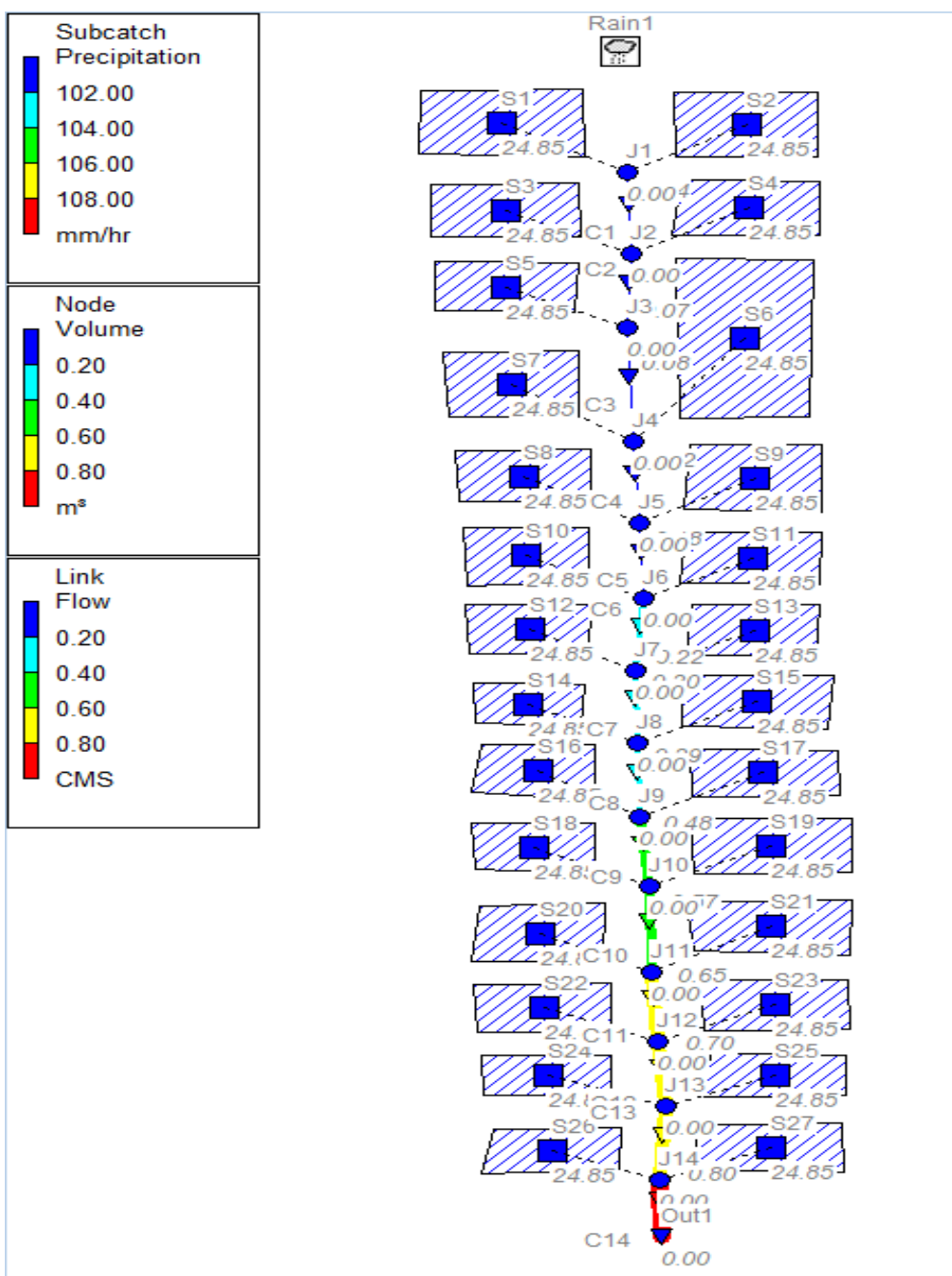
## **Implementación del software SWMM para determinar el régimen hidráulico del sistema de evacuaciones de aguas pluviales**

Con la finalidad de evaluar el comportamiento hidráulico del sistema de evacuación pluvial correspondiente a las avenidas Panamá, se implementó un modelo de simulación dinámica utilizando el software SWMM 5.1 (Storm Water Management Model). Este software ha sido desarrollado por la Environmental Protection Agency (EPA) y permite modelar redes de drenaje urbano, considerando la generación, transporte y almacenamiento de escorrentías pluviales.

El Manual Técnico de Diseño de Drenaje Pluvial Urbano del MVCS (2019) recomienda el uso de modelos numéricos como SWMM para simular escenarios de diseño en zonas urbanizadas, especialmente cuando existen condiciones complejas como múltiples subcuencas, conexiones hidráulicas y puntos críticos de acumulación. Asimismo, la Norma OS.060 del RNE establece que los sistemas de drenaje deben ser evaluados no solo con métodos empíricos, sino también con modelos hidráulicos computacionales, para comprobar su capacidad frente a eventos extremos

Figura 5

Estructura del Modelo de la sub cuenca simulado en el SWMM



Nota. Esta figura muestra la precipitación del área de los laterales de color azul que son menores a 102.00mm/hr. El volumen de color azul que son menores a 0.20 m<sup>3</sup>, los caudales varían del mínimo hasta el máximo en la intersección de la avenida Perú. Fuente: SWMM

5.2.

### **Estructura del modelo hidráulico**

El modelo hidrológico para el análisis de drenaje pluvial en las avenidas Panamá fue desarrollado utilizando el software SWMM (Storm Water Management Model), una herramienta ampliamente empleada para simular el comportamiento de sistemas de drenaje urbano y la escorrentía pluvial.

El modelado fue estructurado tomando como base la delimitación de la subcuenca que corresponde a la avenida Panamá, considerando las características de cada manzana y calle aportante hacia esta avenida.

En el modelo, se definieron las intersecciones de las calles que desembocan en la avenida Panamá como nudos o buzones de reunión, donde se concentran los flujos provenientes de las diferentes manzanas y calles que aportan escorrentía. Cada uno de estos nudos fue numerado de manera secuencial, hasta llegar a la intersección de la avenida Panamá con la avenida Perú, que fue considerada como el outfall (salida) del sistema modelado, es decir, el punto final donde todo el caudal es evacuado.

A lo largo de todo el trayecto de la avenida Panamá, se ubicaron un total de 14 junctions (puntos de conexión) y 27 subcatchments (subcuencas), representando las diferentes áreas urbanas que contribuyen al caudal pluvial en el sistema de drenaje. Además, se incorporaron 14 conduits de PVC que fueron simulados para reunir los caudales provenientes de cada nudo y conducirlos hacia la salida del sistema.

Estos conduits fueron dimensionados y modelados para evaluar su capacidad de transportar el caudal acumulado sin generar colapsos o desbordes.

El modelo incluye un rain gauge (pluviómetro) que contiene la serie temporal de intensidades de lluvia previamente calculadas.

Esta serie de datos corresponde a un intervalo de tiempo de 2 horas, lo que permite simular las condiciones de lluvia intensas y evaluar cómo se comporta el sistema de drenaje bajo dichas condiciones.

El uso de SWMM en este análisis permite simular de manera detallada cómo el agua de lluvia fluye a través de las calles y manzanas, se acumula en los puntos de reunión (nudos), es transportada a través de los conduits de PVC y se dirige hacia la salida, situada en la intersección de las avenidas Panamá.

Esta configuración proporciona información valiosa para la gestión y el diseño de infraestructuras de drenaje adecuadas, permitiendo dimensionar correctamente las soluciones necesarias para evitar inundaciones y garantizar la eficacia del sistema.

**Tabla 16**

*Resumen de Parámetros del Modelo simulado en el SWMM*

Nº	Parámetro	Valor	Descripción
1	Raingages	1	El modelo utiliza un pluviómetro para obtener las intensidades de lluvia necesarias para el cálculo del caudal.
2	Subcatchments	27	Se han considerado 27 subcuencas que representan Áreas urbanas específicas que aportan escorrentía a la avenida Panamá.
3	Infiltration Model	HORTON	El modelo utiliza el método de Horton para simular la infiltración de la lluvia en las superficies urbanas.

N°	Parámetro	Valor	Descripción
4	Junction Nodes	14	Se han definido 14 nodos de intersección donde se concentra el caudal antes de ser dirigido hacia los conduits.
5	Outfall Nodes	1	El modelo cuenta con un único nodo de salida ubicado en la intersección de las avenidas Panamá.
6	Conduit Links	14	Se han simulado 14 conduits de PVC que transportan el caudal desde los nodos hasta el nodo de salida.
7	Flow Units	CMS	El modelo utiliza unidades de flujo en CMS (metros cúbicos por segundo), adecuadas para este tipo de análisis de drenaje urbano.
8	Flow Routing	DYNWAVE	Se ha utilizado el método DYNWAVE para el enrutamiento del flujo, simulando el comportamiento dinámico del sistema de drenaje.

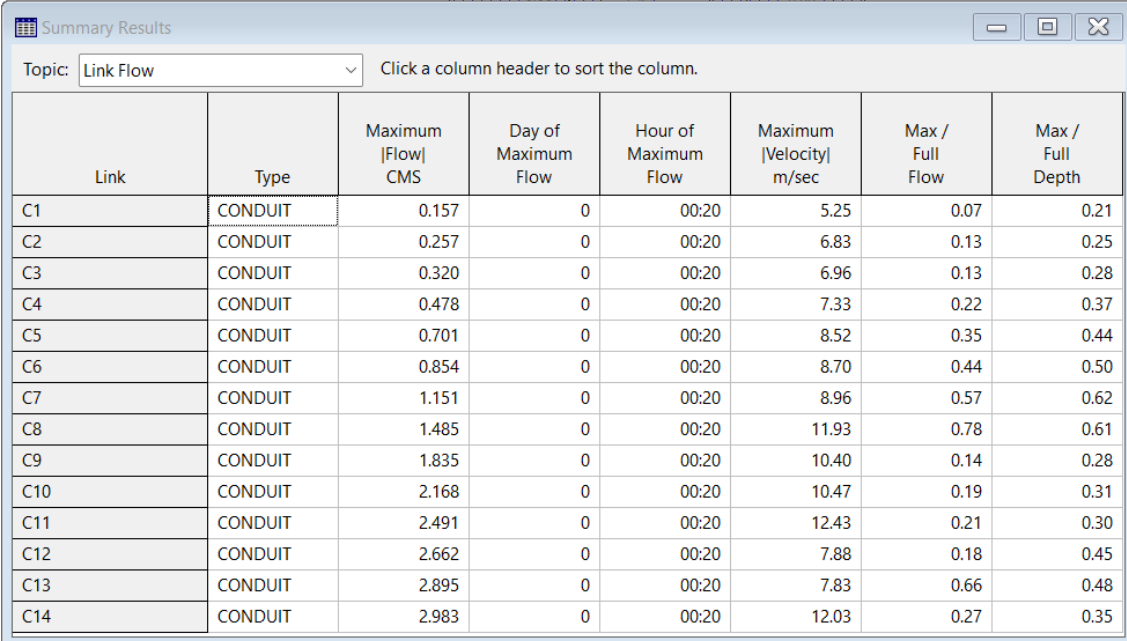
*Nota.* Esta tabla muestra los parámetros a utilizar en el programa de SWMM. Fuente: Elaboración propia.

Los valores ingresados se basan en levantamiento topográfico, trabajo de campo y normas y reglamentos nacionales, que establecen que el modelo hidráulico debe considerar al menos una simulación bajo régimen de onda dinámica para representar correctamente efectos de retroceso y colapso.

### **Resultados de simulación – Régimen hidráulico**

**Figura 6**

*Resultados de caudales por conducto (Link Flow) desarrollado en el software SWMM*



Link	Type	Maximum [Flow] CMS	Day of Maximum Flow	Hour of Maximum Flow	Maximum [Velocity] m/sec	Max / Full Flow	Max / Full Depth
C1	CONDUIT	0.157	0	00:20	5.25	0.07	0.21
C2	CONDUIT	0.257	0	00:20	6.83	0.13	0.25
C3	CONDUIT	0.320	0	00:20	6.96	0.13	0.28
C4	CONDUIT	0.478	0	00:20	7.33	0.22	0.37
C5	CONDUIT	0.701	0	00:20	8.52	0.35	0.44
C6	CONDUIT	0.854	0	00:20	8.70	0.44	0.50
C7	CONDUIT	1.151	0	00:20	8.96	0.57	0.62
C8	CONDUIT	1.485	0	00:20	11.93	0.78	0.61
C9	CONDUIT	1.835	0	00:20	10.40	0.14	0.28
C10	CONDUIT	2.168	0	00:20	10.47	0.19	0.31
C11	CONDUIT	2.491	0	00:20	12.43	0.21	0.30
C12	CONDUIT	2.662	0	00:20	7.88	0.18	0.45
C13	CONDUIT	2.895	0	00:20	7.83	0.66	0.48
C14	CONDUIT	2.983	0	00:20	12.03	0.27	0.35

*Nota.* Esta figura presenta los resultados del modelo hidrológico e hidráulico desarrollado en el software SWMM, específicamente en el módulo de análisis de caudales por conducto (Link Flow). Fuente: Software SWMM

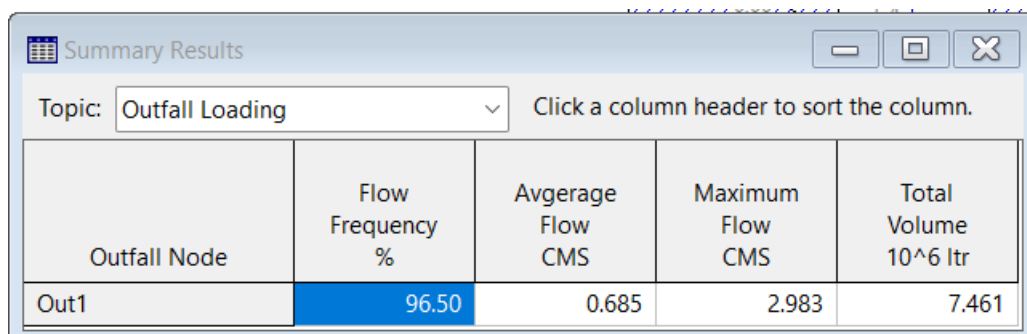
Entre los 14 conduits simulados, el conducto C14 representa el tramo final del sistema de drenaje pluvial modelado para la avenida Panamá, correspondiendo a la salida de toda la subcuenca hacia la intersección con la avenida Perú, punto definido como el outfall del sistema. Según los resultados, el conducto C14 alcanza un caudal máximo de 2.983 m<sup>3</sup>/s, registrado a los 20 minutos del inicio de la simulación, lo que refleja la rápida acumulación y concentración de escorrentía pluvial en el sistema debido a la impermeabilización del área aportante.

Además, se observa una velocidad máxima de flujo de 12.03 m/s, con una relación de 0.27 de caudal máximo respecto a su capacidad total y una profundidad relativa de llenado de 0.35, lo que indica que, aunque el caudal es considerable, el conducto aún opera dentro de márgenes aceptables de capacidad hidráulica bajo el escenario simulado.

Estos resultados son clave para el dimensionamiento y validación del sistema de drenaje propuesto, evidenciando la necesidad de contar con una infraestructura capaz de evacuar eficientemente los aportes pluviales generados en esta zona urbana, especialmente en la intersección crítica de ambas avenidas. Fuente: SWMM V 5.2.

### Figura 7

Resultados del nodo de salida (Outfall Loading) del modelo simulado en SWMM



The screenshot shows a window titled 'Summary Results' with a dropdown menu set to 'Outfall Loading'. Below the menu is a table with the following data:

Outfall Node	Flow Frequency %	Average Flow CMS	Maximum Flow CMS	Total Volume 10 <sup>6</sup> ltr
Out1	96.50	0.685	2.983	7.461

*Nota.* Esta figura muestra los resultados del nodo de salida (Outfall Loading) del modelo simulado en SWMM, correspondiente al punto Out1, que representa la intersección de las avenidas Panamá, definida como la salida final del sistema de drenaje pluvial modelado. Se observa que el flujo en este nodo tiene una frecuencia del 96.50%, lo que indica que estuvo activo y transportando agua durante casi toda la duración del evento simulado. Fuente: Software SWMM

El caudal promedio registrado fue de 0.685 m<sup>3</sup>/s, mientras que el caudal máximo alcanzó un valor de 2.983 m<sup>3</sup>/s, confirmando los resultados obtenidos en el conducto C14. Además, el volumen total de agua evacuado por este nodo fue de 7.461 × 10<sup>6</sup> litros, equivalente a 7461 m<sup>3</sup>. Fuente: SWMM V 5.2.

Estos resultados validan que la intersección de ambas avenidas actúa como punto de concentración y descarga de la escorrentía urbana, y refuerzan la necesidad de implementar un sistema de drenaje capaz de manejar adecuadamente estos volúmenes, especialmente bajo eventos de lluvia intensa.

**Figura 8**

*Resultados del escurrimiento superficial por subcuenca (Subcatchment Runoff) del modelo simulado en SWMM*

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Imperv Runoff mm	Perv Runoff mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 <sup>6</sup> ltr	Peak Runoff CMS	Runoff Coeff
S1	72.72	0.00	0.00	0.00	72.80	0.00	72.80	0.21	0.09	1.001
S2	72.72	0.00	0.00	0.00	72.81	0.00	72.81	0.17	0.07	1.001
S3	72.72	0.00	0.00	0.00	72.83	0.00	72.83	0.13	0.05	1.001
S4	72.72	0.00	0.00	0.00	72.82	0.00	72.82	0.12	0.05	1.001
S5	72.72	0.00	0.00	0.00	72.81	0.00	72.81	0.15	0.06	1.001
S6	72.72	0.00	0.00	0.00	72.77	0.00	72.77	0.27	0.11	1.001
S7	72.72	0.00	0.00	0.00	72.82	0.00	72.82	0.12	0.05	1.001
S8	72.72	0.00	0.00	0.00	72.77	0.00	72.77	0.29	0.12	1.001
S9	72.72	0.00	0.00	0.00	72.77	0.00	72.77	0.26	0.11	1.001
S10	72.72	0.00	0.00	0.00	72.81	0.00	72.81	0.20	0.08	1.001
S11	72.72	0.00	0.00	0.00	72.82	0.00	72.82	0.17	0.07	1.001
S12	72.72	0.00	0.00	0.00	72.78	0.00	72.78	0.38	0.15	1.001
S13	72.72	0.00	0.00	0.00	72.79	0.00	72.79	0.35	0.14	1.001
S14	72.72	0.00	0.00	0.00	72.79	0.00	72.79	0.44	0.18	1.001
S15	72.72	0.00	0.00	0.00	72.78	0.00	72.78	0.38	0.16	1.001
S16	72.72	0.00	0.00	0.00	72.78	0.00	72.78	0.46	0.19	1.001
S17	72.72	0.00	0.00	0.00	72.78	0.00	72.78	0.40	0.16	1.001
S18	72.72	0.00	0.00	0.00	72.79	0.00	72.79	0.44	0.18	1.001
S19	72.72	0.00	0.00	0.00	72.79	0.00	72.79	0.38	0.16	1.001
S20	72.72	0.00	0.00	0.00	72.78	0.00	72.78	0.42	0.17	1.001
S21	72.72	0.00	0.00	0.00	72.78	0.00	72.78	0.37	0.15	1.001
S22	72.72	0.00	0.00	0.00	72.80	0.00	72.80	0.19	0.08	1.001
S23	72.72	0.00	0.00	0.00	72.81	0.00	72.81	0.22	0.09	1.001
S24	72.72	0.00	0.00	0.00	72.78	0.00	72.78	0.29	0.12	1.001
S25	72.72	0.00	0.00	0.00	72.78	0.00	72.78	0.28	0.11	1.001
S26	72.72	0.00	0.00	0.00	68.85	0.00	68.85	0.18	0.03	0.947

*Nota.* Esta figura muestra los resultados del escurrimiento superficial por subcuenca (Subcatchment Runoff) obtenidos mediante la simulación en el software SWMM. Se analizaron un total de 26 subcuencas, cada una representando zonas urbanas específicas que aportan caudal hacia la avenida Panamá. Todas las subcuencas recibieron una precipitación uniforme de 72.72 mm durante el evento simulado. Fuente: Software SWMM

Los resultados indican que prácticamente la totalidad de la precipitación se transformó en escorrentía, debido a la condición de impermeabilidad asumida en el área de estudio. Esto se refleja en los valores del coeficiente de escorrentía, que fue de 1.001 para la mayoría de subcuencas, lo que confirma que no se produjo infiltración ni evaporación significativas. La única excepción fue la subcuenca S26, que presentó un coeficiente ligeramente menor (0.947) y un volumen de escorrentía reducido, posiblemente debido a una

variación en el área o en los parámetros de infiltración definidos para esa unidad. Fuente: SWMM V 5.2.

En cuanto al volumen total de escorrentía, se obtuvieron valores entre  $0.12 \times 10^6$  litros y  $0.46 \times 10^6$  litros, mientras que los caudales pico oscilaron entre 0.05 y 0.18 m<sup>3</sup>/s, siendo estos últimos los que más contribuyen al aumento del caudal hacia el conducto final C14. Estos resultados validan el comportamiento intensamente impermeable del entorno urbano simulado, donde las superficies pavimentadas generan escorrentía casi inmediata ante eventos de precipitación.

Este análisis es fundamental para dimensionar adecuadamente los elementos del sistema de drenaje pluvial y prever los puntos críticos de acumulación, especialmente en intersecciones como la de las avenidas Panamá.

### **Discusión**

Los resultados obtenidos a través del modelado hidrológico e hidráulico realizado en el software SWMM evidencian con claridad la vulnerabilidad del área de estudio frente a eventos de lluvia intensa. El caudal máximo registrado en el conducto de salida (C14), equivalente a 2.983 m<sup>3</sup>/s, representa un aporte significativo de escorrentía pluvial generado por las 27 subcuencas urbanas que conforman la cuenca de la avenida Panamá. Este valor supera ampliamente lo que un sistema sin infraestructura de drenaje puede manejar de forma natural, lo que explica las frecuentes acumulaciones de agua e inundaciones en la intersección con la avenida Perú.

El comportamiento hidráulico del sistema muestra que, si bien los conductos simulados mantienen velocidades y profundidades dentro de límites funcionales, el 96.5% de frecuencia de flujo en el nodo de salida revela una condición crítica de saturación. Es decir, el sistema estaría casi en operación constante durante el evento simulado, lo que compromete su capacidad de respuesta ante lluvias más prolongadas o intensas.

Por otro lado, los resultados del módulo Subcatchment Runoff confirman que prácticamente toda la precipitación registrada se convierte en escorrentía, con coeficientes cercanos o iguales a 1.00, lo que valida la hipótesis del estudio: las superficies completamente pavimentadas no permiten infiltración ni retención significativa. Esto convierte a la avenida Panamá en una cuenca colectora altamente eficiente, pero también peligrosa, al canalizar rápidamente grandes volúmenes de agua hacia zonas que, como la avenida Perú, carecen de un sistema de evacuación pluvial. Sin embargo (Narro, P. D., & Luna, V. N., 2022) afirma que utilizó un coeficiente de escorrentía promedio en el área urbana de Otuzco es de 0,89; valor debido a la poca área verde que tiene la ciudad.

Este comportamiento es especialmente evidente en el análisis de los volúmenes generados por subcuenca, donde se identificaron valores de escorrentía superiores a  $0.40 \times 10^6$  litros y caudales pico de hasta  $0.18 \text{ m}^3/\text{s}$ , generados por unidades urbanas relativamente pequeñas. La sumatoria progresiva de estos caudales refuerza la necesidad de considerar un sistema de drenaje integral y escalonado, que mitigue los aportes desde las primeras calles, evitando que toda la carga hídrica recaiga en la intersección final.

Finalmente, se destaca que si bien el modelo operó de manera estable bajo el enfoque del método racional y el esquema de flujo dinámico (DYNWAVE), los resultados sugieren que el sistema actual, al no contar con infraestructura de drenaje existente, no tiene la capacidad de manejar adecuadamente el escurrimiento superficial generado. Esta situación plantea un riesgo latente de inundaciones urbanas, afectaciones al tránsito vehicular y peatonal, así como posibles daños a la infraestructura pública y privada.

En conclusión, los resultados no solo confirman la hipótesis planteada, sino que subrayan la urgencia de intervenir el sector con soluciones de drenaje pluvial que respondan a los volúmenes y velocidades reales observados. Asimismo, se recomienda considerar

estrategias complementarias como drenaje urbano sostenible (DUS), pavimentos permeables y sistemas de retención, que ayuden a reducir la escorrentía desde su origen.

Para el diseño se obtuvo precipitaciones con un registro histórico de 24 años, donde se realizó un ajuste de distribución de Log Normal triple parámetro para corregir y probar los datos dudosos y así obtener el dato definitivo de la lluvia para el diseño, así mismo, (Narro, P. D., & Luna, V. N., 2022) utilizó un registro histórico de 27 años históricos y realizó la corrección por este mismo método.

En primer lugar, se identifica una diferencia considerable entre el caudal estimado mediante el método racional ( $2.03 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y el caudal máximo generado por el modelo SWMM, el cual alcanza  $2.983 \text{ m}^3/\text{s}$  en el conducto C14, correspondiente al tramo final de evacuación en la intersección de las avenidas Panamá. Esta diferencia, cercana al 47%, evidencia las limitaciones del método racional en contextos urbanos densamente pavimentados, donde no se consideran aspectos como la acumulación progresiva de escorrentía, las pérdidas iniciales variables, el almacenamiento superficial temporal y la dinámica del flujo en redes cerradas. De igual manera (Herrera Saavedra, 2023) demuestra que al aplicar el método racional obtuvo un caudal de  $107.390 \text{ m}^3/\text{s}$  mientras que el caudal máximo generado por el modelo SWMM alcanzó  $141.108 \text{ m}^3/\text{s}$ , presentando una diferencia cercana de 33%.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Zárate (2020) y Oscco y Pastor (2018), quienes concluyeron que el método racional, si bien es útil para estimaciones preliminares, tiende a subestimar los caudales reales cuando se aplica en áreas urbanas sin incorporar las condiciones hidráulicas dinámicas del terreno.

## VI. Conclusiones

Objetivo 1: Determinar el régimen de intensidades máximas de la lluvia en la Av. Panamá de la ciudad de Abancay – 2025.

- Se logró establecer con precisión el régimen de precipitaciones extremas mediante el análisis de los registros históricos de la estación SENAMHI – Abancay, correspondiente a un periodo de 24 años que corresponden desde 1996–2019.
- A través del modelo Frederick Bell y la aplicación de curvas IDF, se obtuvo una intensidad máxima de 80.88 mm/h para una duración de 14.48 minutos y un periodo de retorno de 25 años. Este valor ha sido adoptado como la base para el diseño del sistema de drenaje pluvial en las avenidas Panamá, y se ajusta a las características de las precipitaciones en zonas urbanas andinas.

Objetivo 2: Determinar los caudales de aguas pluviales en el sistema de evacuación pluvial en la Av. Panamá de la ciudad de Abancay – 2025.

- Se delimitó la subcuenca correspondiente a la Av. Panamá, identificando las áreas aportantes mediante inspección de campo y análisis satelital.
- El cálculo de caudales se realizó mediante el método racional, utilizando parámetros como tiempo de concentración (14.48 min), coeficiente de escorrentía elevado (debido a superficies pavimentadas) e intensidades derivadas del análisis IDF.
- El caudal estimado en el punto crítico de intersección con Av. Perú fue de 2.03 m<sup>3</sup>/s, lo que evidencia un alto volumen de escorrentía y una infraestructura insuficiente para evacuarlo, dada la ausencia de sistemas de drenaje en ambas vías.
- Este caudal fue validado y comparado con los resultados del modelo SWMM, el cual estimó un caudal máximo de 2.983 m<sup>3</sup>/s, confirmando la tendencia de subestimación del método racional en escenarios reales sin almacenamiento ni disipación de caudal.

**Tabla 17***Caudal generado por el método racional*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Descripción</b>
Q	2.03	m <sup>3</sup> /s	El caudal máximo estimado en el punto de salida de la subcuenca, calculado a partir de la intensidad de la lluvia y las características del terreno.
C	0.88	-	El coeficiente de escorrentía para áreas urbanas, utilizado para un periodo de retorno de 25 años
I	80.88	mm/h	La intensidad de lluvia medida en milímetros por hora, obtenida de las curvas IDF para un periodo de retorno de 25 años.
A	10.27	ha	El área de la subcuenca, medida en hectáreas

*Nota.* Esta tabla muestra los valores obtenidos del método racional, teniendo como caudal máximos 2.03 m<sup>3</sup>/s. Fuente: Elaboración propia.

Objetivo 3: Implementación del software SWMM para determinar el régimen hidráulico del sistema de evacuación de aguas pluviales en la Av. Panamá de la ciudad de Abancay – 2025.

- Se construyó un modelo detallado en el software SWMM, conformado por 27 subcuencas, 14 nodos, 14 conduits de PVC, y un único nodo de salida ubicado en la intersección crítica entre ambas avenidas.
- El modelo permitió simular con alta precisión el comportamiento hidráulico del sistema ante un evento de lluvia intensa, revelando que los conductos alcanzan velocidades superiores a 12 m/s y niveles cercanos al 80% de su capacidad máxima en los tramos finales.
- Se identificaron zonas de acumulación y retroceso hidráulico, lo cual, valida la necesidad urgente de diseñar un sistema de drenaje integral, con capacidad para gestionar no solo el caudal directo, sino también el flujo acumulado aguas arriba.

- La implementación del modelo evidenció la utilidad del enfoque dinámico para entender la interacción entre infraestructura urbana y eventos extremos, permitiendo proponer soluciones técnicas más precisas y sostenibles.
- Según los resultados, el conducto C14 alcanza un caudal máximo de 2.983 m<sup>3</sup>/s, registrado a los 20 minutos del inicio de la simulación, lo que refleja la rápida acumulación y concentración de escorrentía pluvial en el sistema debido a la impermeabilización del área aportante.

## VII. Recomendaciones

**Objetivo 1:** Determinar el régimen de intensidades máximas de la lluvia en la Av. Panamá de la ciudad de Abancay – 2025.

### 1. Ampliar la red de estaciones meteorológicas locales:

Para mejorar la precisión de los análisis futuros, se recomienda **ampliar la red de estaciones meteorológicas** en la ciudad, especialmente en áreas críticas como la intersección de las avenidas Panamá. Esto permitirá obtener datos pluviométricos más detallados y específicos, especialmente en eventos de alta intensidad.

### 2. Utilizar un enfoque regional para el análisis de intensidades:

Considerando la variabilidad de las precipitaciones en zonas urbanas, es recomendable **ampliar el análisis a otras estaciones cercanas** para validar los datos obtenidos en SENAMHI – Abancay y establecer un **perfil regional de precipitaciones máximas**. Este enfoque más amplio permitirá tener una visión más precisa del comportamiento de las lluvias extremas en la zona andina.

### 3. Actualizar los modelos climáticos a intervalos regulares:

Debido a la variabilidad climática y al impacto del cambio climático, es esencial **actualizar los modelos climáticos** de forma periódica para ajustar las intensidades máximas y mejorar la precisión de los escenarios de diseño. Esto ayudará a asegurar que el sistema de drenaje siga siendo eficaz frente a futuros eventos extremos.

**Objetivo 2:** Determinar los caudales de aguas pluviales en el sistema de evacuación pluvial en la Av. Panamá de la ciudad de Abancay – 2025.

### 1. Optimización de la infraestructura de drenaje existente:

A raíz del análisis de caudales, se recomienda **optimizar la infraestructura de drenaje actual** para manejar eficientemente el volumen de agua estimado. Esto puede incluir la **instalación de conductos de mayor diámetro** en puntos críticos y la **mejora de los sistemas de alcantarillado** que actualmente no están dimensionados para manejar caudales extremos.

#### 1. Rediseño del sistema de drenaje con almacenamiento temporal:

Dado que se ha identificado un **caudal significativo** en la intersección de las avenidas, se sugiere **incorporar soluciones de almacenamiento temporal** de aguas pluviales, como **balsas de retención** o **tanques subterráneos**, para regular el flujo hacia el sistema de drenaje y prevenir inundaciones durante eventos de lluvia intensos.

#### 2. Realización de estudios de modelado más detallados:

Se recomienda **realizar estudios adicionales de modelado hidráulico**, incluyendo más variables, como el **comportamiento del flujo subterráneo** y las **interacciones de escorrentía de áreas colindantes**. Estos estudios permitirán obtener un panorama más exacto de las necesidades de la infraestructura y su capacidad de respuesta ante lluvias extremas.

**Objetivo 3:** Implementación del software SWMM para determinar el régimen hidráulico del sistema de evacuación de aguas pluviales en la Av. Panamá de la ciudad de Abancay – 2025.

#### 1. Mejorar la precisión del modelo hidráulico con datos más detallados:

Para optimizar el modelo desarrollado en SWMM, se recomienda **incorporar datos adicionales**, como los **tiempos de concentración detallados** para cada subcuenca, las **variaciones estacionales de la cobertura del suelo** y las **características de los conductos** (material, edad, etc.). Esto permitirá obtener resultados más precisos y mejorar la capacidad predictiva del sistema.

## 2. **Monitoreo en tiempo real del sistema hidráulico:**

Se recomienda **instalar sensores de monitoreo en tiempo real** para supervisar los niveles de los conductos, el caudal de salida y la capacidad de la infraestructura. Esto permitirá detectar **puntos de sobrecarga o fallos** en el sistema de drenaje durante eventos pluviales extremos, facilitando la intervención rápida y la optimización de recursos.

## 3. **Integración del modelo SWMM en planes de gestión urbana:**

Una vez completado el modelo, se recomienda **integrar los resultados del SWMM** en los **planes de desarrollo urbano y gestión de riesgos** de la ciudad. Esto permitirá aplicar el modelo a otros sectores urbanos y tomar decisiones informadas sobre futuras ampliaciones o intervenciones en la infraestructura de drenaje.

## VIII. Referencias

- Arias, F. G. (2012). *Metodología de la investigación: Aspectos básicos y técnicos* (2ª ed.). Trillas. <https://www.trillas.mx/metodologia-investigacion>
- Cateriano Huataro, F.A (2019) *Diseño de drenaje pluvial de la cuenca Ignacio Merino de Piura usando el programa SWMM* [Tesis de grado, Universidad de Piura]. <https://pirhua.udep.edu.pe/item/47f7f003-4289-47d7-814b-2d33faf9677f>
- Ccarhuas, Y y Huisa, R (2019). *Optimización del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco – Abancay 2018* [Tesis de grado, Universidad Tecnológica de los Andes]. <https://hdl.handle.net/20.500.14512/226>
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4ª ed.). SAGA. <https://us.sagepub.com/en-us/nam/research-design>
- Durañona Ibarra, F. L. (2024). *Propuesta de proyecto de redes de drenaje pluvial para el Barrio Pablo Rojas* [Tesis de grado, Universida de Federal da Integração Latino-Americana]. <https://dspace.unila.edu.br/handle/123456789/8659>
- Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS Statistics* (5ª ed.). SAGE. <https://us.sagepub.com/en-us/nam/discovering-statistics-using-ibm-spss-statistics>
- Flores, A y Tejada,E (2017). *Instalación del sistema de drenaje pluvial en la ciudad de Chuquibambilla, provincia de Grau-Apurímac* [Tesis de grado, Universidad Tecnológica de los Andes]. <https://hdl.handle.net/20.500.14512/57>
- Guanipa Rivero, K. J., Lugo Aguilar, A. L., & Rincón Ortiz, J. C. (2020). *Análisis de sensibilidad de parámetros hidrológicos e hidráulicos del modelo SWMM y su aplicación en sistemas de drenaje urbano*. Gaceta Técnica, 21(1), 44–63. <https://www.redalyc.org/journal/5703/570362079002/html/>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2018). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill. <https://www.mheducation.com>

- Herrera, A (2023) *Modelación hidráulica mediante la utilización del Software SWMM para una red pluvial ubicada en Fila Alta, provincia de Jaén 2021* [Tesis de grado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo] <http://hdl.handle.net/20.500.12423/6551>
- Israel, M., & Hay, I. (2006). *Research ethics for social scientists*. SAGE. <https://us.sagepub.com/en-us/nam/research-ethics-for-social-scientists>
- Izquierdo, D y Zeña, L (2019) *Diseño del drenaje pluvial urbano de la zona urbana del distrito de Santa Cruz, Provincia de Santa Cruz, Departamento de Cajamarca, 2017* [Tesis de grado, Universidad Señor de Sipán]. <https://www.calameo.com/books/0063003900553e8ca2dde>
- Kerlinger, F. N., & Lee, H. B. (2002). *Foundations of behavioral research* (4<sup>a</sup> ed.). Harcourt College Publishers. <https://www.harcourtcollege.com/foundations-behavioral-research>
- Li Qian, Wang Feng, Yu Yang, Huang Zhengce, Li Mantao, & Guan Yuntao. (2021). *Comprehensive performance evaluation of LID practices for the sponge city construction: A case study in Guangxi, China*. ArXiv. <https://arxiv.org/abs/2112.10347>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2019). *Manual de Carreteras: Volumen V – Hidrología y drenaje pluvial*. Lima, Perú. <https://www.mtc.gob.pe/>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2024). *Inventario Nacional de Vías Urbanas 2024*. Lima, Perú. <https://www.mtc.gob.pe/>
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2018). *Precipitation-Frequency Atlas of the Western United States*. <https://hdsc.nws.noaa.gov/hdsc/pdf>

- NOAA. (2018). *Precipitation-Frequency Atlas of the Western United States*. Retrieved from. <https://hdsc.nws.noaa.gov/hdsc/pdf>
- Narro, P. D., & Luna, V. N. (2022). *Diseño de un sistema de drenaje pluvial urbano en la ciudad de Otuzco, La Libertad mediante el uso del modelo matemático SWMM* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/21652>
- Ojeda de la Cruz, A., Álvarez Chávez, C. R., & Orona Llano, D. C. (2020). *Drenaje pluvial sostenible. Una alternativa de gestión del agua de lluvia*. *Contexto*, 14(20), 530–552. <https://doi.org/10.29105/contexto14.20-4>
- Oscoco, I y Pastor, P (2022) *Análisis hidrológico y diseño de un sistema de drenaje pluvial para el área urbana en la ciudad de Andahuaylas* [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo] <https://hdl.handle.net/20.500.12692/101757>
- Osores, P. (2016). *Manual de diseño geométrico de carreteras y vías urbanas*. Lima, Perú. [https://www.escuelatecnicaejercito.edu.pe/manual\\_diseno\\_vial.pdf](https://www.escuelatecnicaejercito.edu.pe/manual_diseno_vial.pdf)
- Parada-Molina, P. C., Suárez Guerrero, A. I., Jiménez Huerta, J., Cervantes Pérez, J., & Silva Blanco, L. A. (2020). *Drenaje urbano sostenible: una alternativa para Xalapa, Veracruz, México*. *Sociedad y Ambiente*, 23, 1–23. <https://doi.org/10.31840/sya.vi23.2201>
- Pérez, R. (2014). *Hidrología urbana y gestión de aguas pluviales*. <http://repositorio.unmsm.edu.pe/handle/123456789/3456>
- Rodríguez, M y Castrejon, R (2023). *Evaluación del sistema de drenaje pluvial por gravedad de la ciudad e Cajamarca, sector 13 – Barrio San Martín de Porres* [Tesis de grado, universidad privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/35040>
- Autoridad Nacional del Agua. (2018). *Manual de calibración de modelos hidráulicos para redes pluviales*. <http://www.ana.gob.pe/documentos/manuales/ANA-MD-2018.pdf>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2021). *Guía metodológica para la caracterización del ciclo hidrológico urbano*.  
[http://www.senamhi.gob.pe/descargas/guias/Guia\\_CicloHidrologico\\_Urbano.pdf](http://www.senamhi.gob.pe/descargas/guias/Guia_CicloHidrologico_Urbano.pdf)

U.S. Environmental Protection Agency. (2015). Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1. Retrieved from [https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-08/documents/swmm\\_5.1\\_user\\_manual.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-08/documents/swmm_5.1_user_manual.pdf)

Zambrano, G. M. (2020). *Diseño hidráulico del sistema de alcantarillado sanitario para el sector El Arrastradero* [Tesis de pregrado, Universidad Estatal de Milagro].  
<https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2428/1/28%20Zambrano%20Ar%C3%A9valo%20Gilberth%20Mois%C3%A9s.pdf>

Zárate, O (2020), *Modelado hidrológico e hidráulico del drenaje pluvial mediante el software SWMM para la urbanización Monterrico de la ciudad Jaén - Cajamarca* [Tesis de grado, Universidad nacional de Jaén]  
<https://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/281>

Cateriano Huataro, F. (2019) *Diseño de drenaje pluvial de la cuenca Ignacio Merino de Piura usando el programa SWMM* [Tesis de grado, Universidad de Piura].  
<https://pirhua.udep.edu.pe/item/47f7f003-4289-47d7-814b-2d33faf9677f>

Izquierdo, H y Zeña, T (2019) *Diseño del drenaje pluvial urbano de la zona urbana del distrito de Santa Cruz, Provincia de Santa Cruz, Departamento de Cajamarca, 2017* [Tesis de grado, Universidad Señor de Sipán].  
<https://www.calameo.com/books/0063003900553e8ca2dde>

Kerlinger, F. N., & Lee, H. B. (2002). *Foundations of behavioral research* (4<sup>a</sup> ed.). Harcourt College Publishers. <https://www.harcourtcollege.com/foundations-behavioral-research>

Flores, A y Tejada, D (2017). *Instalación del sistema de drenaje pluvial en la ciudad de Chuquibambilla, provincia de Grau-Apurímac* [Tesis de grado, Universidad Tecnológica de los Andes]. <https://hdl.handle.net/20.500.14512/57>

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes.