

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL: DE INGENIERÍA CIVIL**



**Tesis**

**Influencia de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial de la  
ciudad de Antabamba, Apurímac, 2023**

Asesor:

Msc. Maldonado Mendivil, Ángel

Autor:

Contreras Valderrama, Raul

Para optar el título profesional de: Ingeniero Civil

Abancay – Apurímac – Perú

2025



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 023

En la ciudad de Abancay año 2025 en el mes de marzo día miércoles del 05 siendo las 11:00 de la mañana, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0220-2025- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 25 de febrero del 2025, de la Escuela Profesional de Facultad de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Ph.D. Abbon Alex VÁSQUEZ RAMÍREZ
Dictaminante:	Ing. Rubén GAMARRA MOTA
Replicante :	Dra. Rosa Marina VERA TEVES

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis  Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Influencia de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba, Apurímac, 2023"

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br: CONTRERAS VALDERRAMA, Raul

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 (**)
CONTRERAS VALDERRAMA, Raul	Aprobado

Siendo las 13:15 horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Ph.D. Abbon Alex VÁSQUEZ RAMÍREZ

Dictaminante: Ing. Rubén GAMARRA MOTA

Replicante: Dra. Rosa Marina VERA TEVES

Abancay 06 de marzo del 2025

## Influencia de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba, Apurímac, 2023

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>22%</b> INDICE DE SIMILITUD	<b>21%</b> FUENTES DE INTERNET	<b>6%</b> PUBLICACIONES	<b>8%</b> TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------	--------------------------------------

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>7%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.utea.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>3%</b>
<b>3</b>	<b>Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>es.scribd.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>tesis.usat.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>docs.google.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>pirhua.udep.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>Submitted to uncedu</b>	

## Metadatos

<b>Datos del Autor</b>		
Apellidos y Nombres	:	Contreras Valderrama Raul
Tipo de documento de identidad	:	DNI
Número de documento de identidad	:	46875033
URL ORCID	:	No aplica
<b>Datos del Asesor</b>		
Apellidos y Nombres	:	Msc. 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 realizó la investigación	:	Octubre 2023 – octubre 2024
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciada
Porcentaje de similitud	:	22%
URL OCDE	:	Ingeniería Civil <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01</a>

## **Dedicatoria**

Le dedico a Dios por todas las bendiciones que me ha dado en mi vida. Agradezco por su amor incondicional, por su protección constante y por guiar mis pasos en el camino de la vida.

A mis padres, por ser mi apoyo incondicional en cada paso que doy y por siempre estar presentes para alcanzar mis metas, del mismo modo a todos mis familiares, por su comprensión, ánimo y por estar siempre presentes en los momentos difíciles.

A todos aquellos que de alguna manera contribuyeron en la realización de esta tesis, les dedico con todo mi cariño y agradecimiento en cada paso que di a este trabajo de investigación. ¡Gracias por formar parte de este importante logro!

## **Agradecimientos**

A toda la plana docente de la Escuela de profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de los Andes, quienes me han aportado sus conocimientos en la realización de esta tesis de investigación y experiencias vividas en mi desarrollo profesional.

A mi asesor de tesis, M.Sc. Ángel Maldonado Mendivil, por su apoyo, orientación y paciencia durante toda mi investigación, así como por facilitarme los datos necesarios. Su dedicación al revisar y corregir el informe final fue fundamental para su mejora. Además, su comprensión y conocimientos sobre el tema enriquecieron mi trabajo.

A la Ing. Yolanda C. Paredes Catalan por su invaluable guía y apoyo durante la realización de esta tesis, su experiencia y conocimientos fueron fundamentales para el desarrollo y éxito de esta investigación.

## Resumen

La escorrentía urbana ocurre cuando el agua de lluvia no se infiltra en el suelo, debido a la impermeabilización de superficies urbanas como calles y edificios. Este fenómeno provoca un aumento del agua en el sistema de drenaje pluvial, lo que genera inundaciones y contaminación. Para comprender y mitigar estos problemas, el objetivo fue evaluar la influencia de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial aplicando el modelo SWMM del software RS MINERVE en la ciudad de Antabamba. Esta tesis analizó cómo la escorrentía urbana afecta el sistema de drenaje de Antabamba, utilizando hietogramas de precipitación para generar el caudal de diseño. Se examinaron parámetros hidráulicos y geométricos del drenaje con Flow Master. Los resultados mostraron una correlación lineal positiva significativa entre el caudal de la escorrentía urbana y los parámetros de diseño hidráulico, evidenciando un aumento en la velocidad y el tirante de los canales de drenaje, siendo  $r = 0.8736$  para el caudal de la escorrentía urbana vs la velocidad del agua en el canal, y un valor de  $r = 0.9646$  aplicado para el caudal de la escorrentía urbana vs el tirante del agua en el canal. Se identificaron zonas críticas de inundación y puntos de congestión en el sistema, revelando que su capacidad es insuficiente para manejar lluvias intensas. Esto resalta la necesidad de implementar medidas de mitigación y mejorar el sistema de drenaje, buscando reducir los efectos de la escorrentía urbana y proteger a los habitantes de Antabamba ante posibles inundaciones.

**Palabras claves:** escorrentía urbana, sistema de drenaje pluvial, caudal, velocidad, tirante.

## **Abstract**

Urban runoff occurs when rainwater does not infiltrate the soil, due to the impermeabilization of urban surfaces such as streets and buildings. This phenomenon leads to an increase in water within the storm drainage system, resulting in flooding and pollution. To understand and mitigate these issues, the objective was to assess the influence of urban runoff on the storm drainage system by applying the SWMM model of the RS MINERVE software in the city of Antabamba. This thesis analyzed how urban runoff affects the drainage system of Antabamba, using precipitation hyetographs to generate the design flow. Hydraulic and geometric parameters of the drainage were examined with Flow Master. The results showed a significant positive linear correlation between the flow of urban runoff and hydraulic design parameters, demonstrating an increase in the velocity and depth of the drainage channels, with  $r = 0.8736$  for urban runoff flow vs. water velocity in the channel, and an  $r$  value of  $0.9646$  for urban runoff flow vs. water depth in the channel. Critical flooding zones and congestion points in the system were identified, revealing that its capacity is insufficient to handle intense rainfall. This highlights the need to implement mitigation measures and improve the drainage system, aiming to reduce the effects of urban runoff and protect the inhabitants of Antabamba from potential flooding.

**Keywords:** urban runoff, storm drainage system, flow, velocity, depth.

## 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>Agradecimientos</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>xiii</b>
<b>Índice de anexos</b> .....	<b>xiv</b>
<b>I. Introducción</b> .....	<b>15</b>
<b>II. Planteamiento del problema</b> .....	<b>17</b>
2.1. Descripción y formulación del problema .....	17
2.2. Objetivos .....	21
2.2.1. Objetivo general .....	21
2.2.2. Objetivos específicos .....	21
2.3. Justificación e importancia.....	22
2.4. Hipótesis .....	23

2.5. Variables .....	24
<b>III. Marco Teórico.....</b>	<b>28</b>
3.1. Antecedentes .....	28
3.2. Bases teóricas.....	39
3.3. Definición de términos .....	56
<b>IV. Metodología .....</b>	<b>58</b>
4.1. Tipo y nivel de investigación.....	58
4.2. Ámbito temporal y espacial.....	60
4.3. Población y muestra .....	60
4.4. Instrumentos.....	60
4.5. Procedimientos.....	62
4.6. Análisis de datos .....	63
<b>V. Resultados y discusión .....</b>	<b>65</b>
5.1. Resultados .....	65
5.2. Discusión de resultados .....	88
5.3. Prueba de Hipótesis .....	89
<b>VI. Conclusiones.....</b>	<b>93</b>
<b>VII. Recomendaciones.....</b>	<b>95</b>
<b>VIII. Referencias bibliográficas .....</b>	<b>97</b>
<b>IX. Anexos .....</b>	<b>105</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> Matriz de operacionalización de variables .....	25
<b>Tabla 2</b> Velocidades máximas en concreto en función de su resistencia.....	49
<b>Tabla 3</b> Velocidades límites admisibles .....	49
<b>Tabla 4</b> Coeficiente de rugosidad por tipo de material en cunetas.....	53
<b>Tabla 5</b> Elementos geométricos de secciones de canal .....	55
<b>Tabla 6</b> Técnicas e instrumentos.....	61
<b>Tabla 7</b> Precipitaciones máximas de 24 horas.....	65
<b>Tabla 8</b> Procesamiento de datos .....	66
<b>Tabla 9</b> Resultados de los deltas teóricos y tabular para las distintas distribuciones de probabilidad .....	68
<b>Tabla 10</b> Precipitación máxima para diferentes períodos de retorno con la distribución Log Pearson Tipo III .....	68
<b>Tabla 11</b> Precipitaciones máximas corregidas para diferentes períodos de retorno con la distribución Log Pearson Tipo III.....	69
<b>Tabla 12</b> Hietogramas de precipitación de diseño aplicando el Modelo de Dick - Peschke .....	71
<b>Tabla 13</b> Datos de salida del caudal de diseño en las 21 calles de la ciudad de Antabamba usando el modelo SWMM del software RSMINERVE para Coeficiente de Strickler ( $K = 33$ ) .....	73
<b>Tabla 14</b> Datos de salida del caudal de diseño en las 21 calles de la ciudad de Antabamba usando el modelo SWMM del software RSMINERVE para Coeficiente de Strickler ( $K = 67$ ) .....	79
<b>Tabla 15</b> Datos de caudal, velocidad y tirante en los canales de las calles de la ciudad de Antabamba, para un coeficiente de Strickler 67.....	85

<b>Tabla 16</b> Determinación de los elementos geométricos de los canales en las 21 calles de la ciudad de Antabamba usando el FlowMaster para un coeficiente de Strickler 67 .....	87
<b>Tabla 17</b> Resultados del caudal de la escorrentía urbana vs velocidad y el tirante del canal .....	90

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF).....	44
<b>Figura 2</b> Sección transversal de cunetas.....	51
<b>Figura 3</b> Ecuación de Manning para determinar caudales en cunetas triangulares .....	52
<b>Figura 4</b> Histograma de registro histórico zona de estudio .....	66
<b>Figura 5</b> Prueba de bondad de ajuste Smirnov- Kolmogorov .....	67
<b>Figura 6</b> Curva Intensidad – Duración – Frecuencia.....	70
<b>Figura 7</b> Gráfica de hietograma de precipitación de diseño para T = 10 años .....	72
<b>Figura 8</b> Correlación lineal entre la escorrentía urbana y la velocidad de diseño .....	85
<b>Figura 9</b> Correlación lineal entre la escorrentía urbana y el tirante de diseño .....	86
<b>Figura 10</b> Correlación lineal entre la escorrentía urbana y la velocidad de diseño .....	91
<b>Figura 11</b> Correlación lineal entre la escorrentía urbana y el tirante de diseño.....	91

## Índice de anexos

<b>Anexo 1</b> Matriz de consistencia.....	106
<b>Anexo 2</b> Matriz de operacionalización de variables.....	107
<b>Anexo 3</b> Instrumento N° 01: Precipitaciones máximas por año .....	108
<b>Anexo 4</b> Instrumento N° 02: Curva Intensidad, duración y frecuencia (IDF) .....	108
<b>Anexo 5</b> Instrumento N° 03: Hietogramas de precipitación de diseño (mm) por el método de bloque alterno – Modelo Dick Peschke .....	109
<b>Anexo 6</b> Instrumento N° 04: Determinación del caudal de la escorrentía urbana con el modelo SWMM del Software RS MINERVE.....	110
<b>Anexo 7</b> Solicitud de datos de precipitación máxima en 24 horas .....	113
<b>Anexo 8</b> Respuesta del SENAMHI a la solicitud de datos de precipitación máxima en 24 horas .....	114
<b>Anexo 9</b> Evidencias Fotográficas .....	115
<b>Anexo 10</b> Plano clave de las 21 calles de la ciudad de Antabamba .....	119
<b>Anexo 11</b> Diseño de los canales en las 21 calles de la ciudad de Antabamba .....	120

## I. Introducción

La escorrentía urbana se refiere al agua que fluye por las calles y superficies impermeables de las ciudades durante las lluvias, este fenómeno, cada vez es más común debido al crecimiento de las áreas urbanas, supone una dificultad para los sistemas de evacuación de aguas pluviales, ya que puede causar inundaciones, desbordamientos de alcantarillas y contaminación de las masas de agua (Mandujano, 2022).

En la presente tesis, se analizó la influencia de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial, con el objetivo de identificar los factores que influyen en su magnitud y comportamiento, se investigó cómo la impermeabilización del suelo, el diseño de la infraestructura urbana y el cambio climático afectan la cantidad y calidad del flujo de agua en el sistema de drenaje, así como las posibles soluciones para mitigar sus impactos negativos. Esta tesis contribuirá a mejorar la gestión del agua en áreas urbanas, promoviendo la implementación la mejora en el sistema de drenaje pluvial, por lo que en esta Tesis se evaluó la influencia de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial aplicando el modelo SWMM en la ciudad de Antabamba, Antabamba, Apurímac, 2023.

En el **Planeamiento del problema**, se abordó la problemática de carácter global, nacional y local, además de realizarse la definición del problema, la justificación del estudio, los objetivos planteados y las posibles limitaciones que podrían presentarse durante la investigación.

En el **Marco Teórico**; se elaboró el marco conceptual teórico, reuniendo la información académica pertinente relacionada con ambas variable: escorrentía urbana y sistema de drenaje pluvial, de igual manera, se elaboró el marco teórico abordando los temas principales relacionados con el estudio, además de incluir una exposición de los antecedentes empíricos pertinentes a la investigación.

En la **Metodología**, se expusieron las hipótesis y las variables, llevando a cabo la operacionalización de las variables independientes y dependientes, incluyendo sus

dimensiones e indicadores correspondientes, población, muestra y muestreo, técnicas e instrumentos, consideraciones éticas, y procesamiento de estadísticos con el objetivo de poder evaluar la influencia de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial aplicando el modelo SWMM en la ciudad de Antabamba.

En **Resultados y discusión**, se presentan los hallazgos, el análisis y las pruebas estadísticas realizadas para comparar los datos recopilados de los parámetros hidrológicos, de diseño hidráulico y elementos geométricos, se llevaron a cabo análisis de hipótesis y estudios de relación entre las variables para la hipótesis específica 2 y tener una la relación entre la escorrentía urbana y los parámetros de diseño hidráulico, específicamente la velocidad y el tirante, en los canales del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba.

Concluyéndose que, a partir de los resultados obtenidos en la investigación, se presentan las conclusiones y sugerencias derivadas del estudio realizado. Además, se incluyen las fuentes bibliográficas consultadas y los anexos correspondientes que complementan el trabajo.

## **II. Planteamiento del problema**

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

La influencia de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial radica en los impactos adversos generados por las inundaciones urbanas, erosión y sedimentación, contaminación del agua, daños a la infraestructura urbana, y riesgos para la salud y la seguridad de la población, esta problemática requiere una atención urgente y medidas efectivas de gestión de aguas pluviales como es la mejora de la infraestructura de drenaje aumentando su capacidad de captación y evacuación de las aguas, y de esta manera lograr mitigar sus efectos para garantizar la sostenibilidad y la calidad de vida en áreas urbanas.

Los estudios realizados en escorrentía urbana Cajas (2023) confirman que en el mundo hay varios tipos de desastres naturales que con frecuencia impactan a las áreas urbanas, siendo uno de los más comunes los de origen hidrometeorológico, como las lluvias intensas, las cuales sumadas con el crecimiento rápido de la población y un deficiente diseño de las redes de alcantarillado pluvial y sanitario, aumentan el riesgo de inundaciones. Este problema afecta a todas las ciudades de los países tropicales, donde las personas suelen construir sus hogares en zonas vulnerables como laderas y orillas de ríos, lo que resulta en daños materiales y pérdidas humanas, por otro lado el cambio climático origina “problemas de modificaciones discernibles en el aumento de la temperatura media global y las alteraciones en los patrones de precipitación, ocasionando inundaciones y encharcamiento de aguas pluviales en zonas urbanas en distintos pueblos de América Latina y el mundo” (Cepal, 2014, como se citó en Acuña, 2018, p. 1). Así mismo, Cajas (2023) menciona que las inundaciones son causadas por la expansión urbana descontrolado y la falta de planificación municipal, lo que aumenta el riesgo de desastres debido a las precipitaciones. Es crucial realizar estudios de lluvias y evaluar su impacto en el sistema de drenaje para desarrollar planes de contingencia y mejorar la infraestructura necesaria.

Respecto al problema del sistema de drenaje pluvial García (2019) confirma que con el cambio climático, se espera que los periodos de sequía y lluvias intensas se vuelvan más extremos. Esto significa que habrá largos periodos de escasez de agua en algunas áreas, mientras que en otras habrá lluvias torrenciales que provocarán inundaciones preocupantes. El drenaje pluvial representa un desafío significativo para las comunidades ubicadas en áreas elevadas, ya que la falta de un sistema de drenaje adecuado resulta en inundaciones debido al estancamiento del agua de lluvia, lo que puede causar daños a la infraestructura civil, por esta razón, es esencial implementar un manejo efectivo de las aguas pluviales para garantizar una evacuación adecuada (Mero, 2022).

En el Perú; el fenómeno de “El Niño” modifica las condiciones climáticas, desencadenando intensas lluvias que resultan en graves inundaciones y deslizamientos de tierra, este fenómeno, que ocurre de manera inesperada, trae consigo pérdidas humanas, económicas y ambientales dando consecuencia a daños considerables en la comunidad, sus hogares y zonas dedicadas a actividades productivas, además de afectaciones en la infraestructura de servicios esenciales; por ello, el control de la escorrentía superficial a través de sistemas de drenaje pluvial urbano es crucial para el desarrollo sostenible de las ciudades (Mandujano, 2022). Cuando llueve de manera intensa y por largo tiempo, los sardineles y cunetas se saturan, provocando desbordes que generan acumulación de agua en las vías y erosiones en el pavimento, afectando a las viviendas y organizaciones cercanas, representando un peligro para la población vulnerable que podría enfermarse por la acumulación de estas aguas (Salazar, 2018).

En el marco de este estudio, uno de los fenómenos analizados se presenta en las calles principales de Antabamba, donde las inundaciones provocan impactos negativos en la calidad de vida de los habitantes, dañando las estructuras de los edificios y la superficie pavimentada de las calles. Esta situación es sumamente crítica debido a que la acumulación de agua de lluvia y la limitada capacidad de drenaje del suelo están

provocando deterioros en la capa de asfalto. Actualmente, las técnicas utilizadas en el diseño de los sistemas de drenaje urbano solo ofrecen información sobre cómo se comportan los elementos hidráulicos en condiciones estáticas. No obstante, el uso de software especializado permite obtener datos sobre la respuesta dinámica de todos los elementos de un sistema de drenaje urbano ante un evento de lluvia (Mays et al., 2018).

Así mismo, los estudios realizados por COEN (2020) en su Reporte complementario N.º 3238 - 24/12/2019 / COEN - INDECI / 12:20 Horas. Precipitaciones pluviales en el distrito de Antabamba – Apurímac verifican que se dieron el 5 de noviembre de 2019, a las 9:00 de la mañana, se presentaron lluvias que provocaron perjuicios en las viviendas ubicadas en la zona de Mollocco, en el distrito y provincia de Antabamba, donde se evaluaron daños en vida y salud a 2 personas damnificadas y 6 personas afectadas, las mismas que 3 viviendas fueron afectadas y 2 viviendas inhabitables, todo ello causadas por las lluvias intensas el cual generó escorrentía urbana el cual afecta el bienestar y salud de las personas. Cabe resaltar que en el año 2023 desde los primeros días del mes de diciembre hasta los 3 primeros meses del año siguiente durante un período de lluvias intensas en toda la zona de Apurímac, se produjeron perjuicios en varias comunidades, afectando su infraestructura, medios de subsistencia y bienestar, lo que ha tenido un impacto considerable en la población de la región (INDECI & COEN, 2023).

La influencia de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial se manifiesta durante épocas de fuertes lluvias generando inundaciones en calles y viviendas de la ciudad de Antabamba, desbordamiento de alcantarillas y sistemas de drenaje pluvial, aumento en la erosión del suelo, daños en infraestructuras como carreteras y puentes, así como la contaminación de cuerpos de agua cercanos por arrastre de residuos y químicos. Entre los principales factores de esta situación problemática se tiene eventos climáticos intensos, impermeabilización del suelo debido a la urbanización, obstrucción de los sistemas de drenaje por acumulación de basura en las calles y alcantarillas, cambios en el

uso del suelo que aumentan la escorrentía superficial, falta de mantenimiento de los sistemas de drenaje pluvial, y la deforestación de zonas cercanas.

Durante épocas de fuertes lluvias, los niveles de agua aumentan considerablemente, por lo que el problema persiste ya que la realidad del centro poblado es que carece de servicios de infraestructura como lo es el sistema de drenaje y pavimentación de sus calles, corriendo el riesgo de generar serios problemas para la población puesto que la sobrecarga de agua provoca inundaciones en las calles principales y erosión en los cuerpos de agua, causando daños en edificaciones e infraestructuras, esta situación representa un riesgo para la vida y la salud de los habitantes a causa de la deficiente infraestructura de drenaje pluvial.

Lo referido en el párrafo anterior nos llevaría a sostener la necesidad de evaluar el impacto de la escorrentía proveniente de áreas urbanas en el sistema de drenaje pluvial con el fin de desarrollar recomendaciones que nos permite aumentar su capacidad de eficiencia en la captación y evacuación de las aguas generadas por la escorrentía urbana, que consiste en desarrollar el diseño de las estructuras hidráulicas necesarias para garantizar que la escorrentía urbana sea drenada de manera eficiente en el sistema de drenaje pluvial. Considerando que un sistema de drenaje tiene como propósito recolectar, canalizar y eliminar las aguas pluviales, con el fin de prevenir posibles daños a personas, bienes o propiedades. Esto asegura el correcto desarrollo de las actividades cotidianas de quienes habitan en la zona. La evacuación del agua se realiza mediante la recolección en cunetas, las cuales dirigen el flujo por medio de la gravedad (Carhuas, 2018). El distrito de Antabamba ubicado en la provincia de Antabamba y región de Apurímac presenta lluvias intensas en los periodos de noviembre a marzo de cada año las lluvias intensas provocan inundaciones que resultan en perjuicios considerables para la comunidad, afectando tanto a sus viviendas y zonas de producción como a la infraestructura de servicios esenciales. Considerando la situación específica de la región mencionada, con este trabajo de

investigación se busca evaluar la influencia de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial aplicando el modelo SWMM en la ciudad de Antabamba, Antabamba, Apurímac, 2023 para mejorar la infraestructura del sistema de drenaje pluvial, dicho de este modo se plantea las siguientes interrogantes:

### **2.1.1. Problema general**

¿Cuál es la influencia de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial aplicando el modelo SWMM del software RS MINERVE en la ciudad de Antabamba, Apurímac, 2023?

### **2.1.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo influye los parámetros de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba, Apurímac, 2023?
- ¿Cuál es la relación entre el caudal de la escorrentía urbana y los parámetros de diseño hidráulico, específicamente la velocidad y el tirante, en los canales del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba, Apurímac, 2023?
- ¿Cómo influye el caudal de la escorrentía urbana en los elementos geométricos de los canales del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba, Apurímac, 2023?

## **2.2. Objetivos**

### **2.2.1. Objetivo general**

Evaluar la influencia de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial aplicando el modelo SWMM del software RS MINERVE en la ciudad de Antabamba, Apurímac, 2023.

### **2.2.2. Objetivos específicos**

- Determinar la influencia de los parámetros de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba, Apurímac, 2023.

- Analizar la relación entre el caudal de la escorrentía urbana y los parámetros de diseño hidráulico, específicamente la velocidad y el tirante, en los canales del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba, Apurímac, 2023.
- Determinar la influencia del caudal la escorrentía urbana en los elementos geométricos de los canales del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba, Apurímac, 2023.

### 2.3. Justificación e importancia

Por lo expuesto, en los párrafos mencionados, esta investigación se justifica en lo siguiente:

Según su **conveniencia**, el presente trabajo de investigación trata sobre la influencia de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial siendo esencial para comprender y abordar los impactos negativos que puede tener en las la infraestructura urbana, así como para desarrollar estrategias efectivas de gestión y mitigación. Por lo que es conveniente y útil esta investigación, ya que abordará desafíos fundamentales asociados con la gestión del agua en entornos urbanos, proporciona conocimientos científicos valiosos y apoya la toma de decisiones para evaluar y promover la mejora de los sistemas de drenaje pluvial existentes para mejorar la calidad de vida en entornos urbanos.

El presente trabajo es de **implicancia Práctica** puesto que se trabajó a partir de los datos obtenidos de las distintas estaciones meteorológicas proporcionadas por el SENAMHI, permitirá estimar los caudales generados por la escorrentía urbana, de tal manera que se podrá determinar la mejora del diseño hidráulico de la infraestructura de drenaje para aumentar su capacidad de captación para evacuar de aguas pluviales a través de un sistema de drenaje pluvial.

Se **justifica teóricamente**, porque la definición de la escorrentía urbana no está completamente definida de manera estricta, por lo que se pretendió ampliar las teorías que

se tienen respecto a esta variable y su efecto en el sistema de drenaje pluvial. Por otra parte, se analizó las principales teorías que se tienen hasta el momento respecto al efecto de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial con el propósito esencial de poder controlar las inundaciones y prevenir la salud de los habitantes que es muy primordial para el desarrollo actual.

Tiene **justificación metodológica**, porque pretende dar el uso de un nuevo instrumento de medición referente al modelo de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial como es el caso del software RS Minerve el cual se empleará modelos hidrológicos como SWMM (Storm Water Management Model - Modelo de gestión de aguas pluviales) para simular la escorrentía en áreas urbanas. Estos modelos permiten analizar el flujo de agua desde el momento de la precipitación hasta su ingreso en el sistema de drenaje, lo que puede ser útil para futuras investigaciones o para mejorar otros instrumentos de medición relacionados con el efecto de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial. Dicho esto “en hidrología urbana los modelos más utilizados son EPA SWMM, Storm and Sanitary Analysis y SewerGEMS” (Castillo et al., 2022, p. 44).

La investigación es de **relevancia social**, ya que es imprescindible encontrar soluciones a los problemas de colapsos de rejillas, canales y encharcamiento de aguas pluviales en las calles del distrito de Antabamba, puesto que hasta ahora no se han realizado estudios hidrológicos pertinentes para controlar estos fenómenos que afectan a la población urbana, y de esta manera beneficiara a la población afectada por las constantes inundaciones en la parte baja de la ciudad en tiempos de lluvias o avenidas máximas, mejorando su bienestar y calidad de vida.

#### **2.4. Hipótesis**

Las hipótesis del presente trabajo de investigación son las siguientes:

#### **2.4.1. Hipótesis general**

La escorrentía urbana tiene influencia significativa en el sistema de drenaje pluvial aplicando el modelo SWMM del software RS MINERVE en la ciudad de Antabamba, Apurímac, 2023.

#### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- Los parámetros de la escorrentía urbana tienen influencia significativa en el sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba, Apurímac, 2023.
- Existe una relación significativa entre el caudal de la escorrentía urbana y los parámetros de diseño hidráulico, específicamente la velocidad y el tirante, en los canales del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba, Apurímac, 2023.
- El caudal de la escorrentía urbana tiene influencia significativa en los elementos geométricos de los canales del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba, Apurímac, 2023.

#### **2.5. Variables**

Se identificaron las siguientes variables:

VD: sistema de drenaje pluvial

VI: escorrentía urbana

**2.5.1. Operacionalización de variables**

**Tabla 1**

*Matriz de operacionalización de variables*

TITULO DE LA TESIS:		Influencia de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba, Apurímac, 2023			
Matriz de Operacionalización de variables					
VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
<b>Escorrentía urbana</b>	Ortiz et al. (2013) define a la escorrentía urbana como al agua que se desplaza sobre superficies impermeables en áreas urbanizadas, originada por la precipitación de lluvia o nieve, considerándose una problemática por su vínculo con eventos de inundaciones, deterioro del terreno y contaminación de los acuíferos.	Está referida a la determinación de los caudales máximos, en esta investigación será considerada como el flujo de la escorrentía urbana, dicho flujo es generado a partir de las precipitaciones máximas y datos geomorfológicos e hidrológicos de la cuenca urbana de la ciudad de Antabamba, para el caso del caudal de diseño generado por la	<b>Parámetros hidrológicos</b>	Precipitación Máxima 24 h	mm
				Intensidad de precipitación	mm/h
				Período de retorno	años
				Curva Intensidad-duración y frecuencia (IDF)	adimensional

	<p>escorrentía urbana serán determinadas con ayuda del modelo SWMM del software RS MINERVE.</p>		<p>Área de drenaje (considerando calles y techos)</p> <p>Coeficiente de Strickler</p> <p>Pendiente del terreno o Pendiente Longitudinal (Crítica)</p> <p>Hietograma de precipitación de diseño</p> <p>Caudal de diseño</p>	<p>m<sup>2</sup></p> <p>adimensional</p> <p>m/m</p> <p>mm</p> <p>m<sup>3</sup>/s</p>
<p><b>Sistema de drenaje pluvial</b></p> <p>Nania (1999) expresa que se define a la variable sistema de drenaje pluvial como la ocurrencia de la escorrentía urbana</p>	<p>El sistema de drenaje pluvial se caracteriza por medio de la determinación de parámetros de diseño hidráulico, tales como velocidades y tirantes de diseño en los canales, así como los elementos geométricos de los canales generados por la escorrentía urbana. Estas dimensiones son establecidas en función del caudal de diseño de la escorrentía urbana, se utilizan herramientas como FlowMaster para calcular los parámetros de diseño</p>	<p><b>Parámetros de diseño de los canales</b></p>	<p>Coeficiente de rugosidad o de Manning</p> <p>Velocidad de diseño</p> <p>Tirante de diseño</p>	<p>adimensional</p> <p>m/s</p> <p>m</p>
		<p><b>Elementos geométricos de los canales</b></p>	<p>Sección transversal</p>	<p>Triangular Rectangular Trapezoidal Circular</p>

---

hidráulico y los elementos  
geométricos de los  
canales del sistema de  
drenaje pluvial.

Base del canal (Ancho  
de solera)

m

Altura del canal  
(profundidad del fujo)

m

Ancho Superficial  
(Espejo de agua)

m

---

### III. Marco Teórico

#### 3.1. Antecedentes

##### 3.1.1. *Antecedentes internacionales*

Acero y Felício (2021) da a conocer el artículo científico titulado “*Aquae pluviae et caducae* ( Lluvia y agua que cae). Sistemas de drenaje e impermeabilización frente a la escorrentía superficial en Augusta Emerita (Mérida, España) y Mirobriga (Santiago do Cacém, Portugal)”, publicado en la revista *Dialnet y Zephyrus: Revista de prehistoria y arqueología*, 88, 135-161, ISSN: 0514-7336, 2021; tuvo como objetivo analizar los sistemas de drenaje de agua de lluvia en las ciudades romanas de Augusta Emerita y Mirobriga en la provincia de Lusitania. Desarrolló una investigación de tipo descriptiva y comparativa, nivel de exploratorio, usó el método de documentación arqueológica y observación in situ; el diseño fue de estudio comparativo de los sistemas de drenaje de agua de lluvia en las ciudades romanas de Augusta Emerita y Mirobriga en la provincia de Lusitania. Cuyos resultados encontraron diferencias en los sistemas de drenaje, con Augusta Emerita utilizando bajantes y canales perimetrales, mientras que Mirobriga dirigía la escorrentía hacia canales subterráneos. Concluye que la planificación urbana y las estrategias de drenaje eran fundamentales en la gestión del agua en entornos urbanos romanos, destacando la importancia de las estructuras de drenaje para evitar problemas de humedad y proteger las fachadas de los edificios. Por lo que, el estudio sobre los sistemas de drenaje de agua de lluvia en las ciudades romanas de Augusta Emerita y Mirobriga proporciona información relevante en la presente investigación sobre cómo se gestionaba la escorrentía en entornos urbanos antiguos. Esta investigación histórica puede aportar conocimientos sobre estrategias de drenaje utilizadas en el pasado y su efectividad, lo que podría ser útil para comprender y abordar el efecto de la escorrentía urbana en los sistemas de drenaje pluvial contemporáneos.

Castillo et al. (2022) en su artículo científico denominado “Estrategias para el diseño de sistemas de drenaje urbano en la ciudad de Santa Clara” publicado en la revista

Ingeniería Hidráulica y Ambiental, vol. XLIII, No. 2, pp. 44-57, ISSN 1680-0338, 2022, cuyo objetivo fue de desarrollar un esquema tecnológico para el diseño de sistemas de drenaje urbano en Santa Clara, debido a la compleja situación actual del drenaje pluvial en la ciudad y la necesidad de implementar medidas efectivas, cuya metodología se basa en la aplicación de medidas estructurales y no estructurales en el diseño de redes de drenaje pluvial, los resultados que propone es sobre un Esquema Tecnológico para solucionar o mitigar el impacto de grandes avenidas o eventos extremos en un área hidrológica urbana determinada, concluye con la elaboración de estudios específicos para mejorar el comportamiento del sistema de drenaje pluvial en la ciudad, también recomiendan que la realización del estudio "Tormenta de diseño para la ciudad de Santa Clara" proporcionará resultados que mejorarán la comprensión de las relaciones IDF y los hietogramas patrón para la ciudad, dicho esto el artículo tiene un aporte y aborda directamente la problemática del drenaje pluvial en Santa Clara y propone soluciones concretas para mejorar la eficiencia del sistema.

Carvajal et al. (2019) en su artículo científico titulado "Storm Water Management Model Simulation and Evaluation of the Eastern urban drainage system of Cali in the face of climate variability scenarios" publicado en la revista Ingeniería y Competitividad, vol. 21, No. 2, pp. 44-57, ISSN: 0123-3033 - DOI: 10.25100/iyc.v21i2.8046, 2019, con la finalidad de analizar el comportamiento hidráulico del sistema de drenaje urbano en el oriente de Cali durante eventos de precipitación máxima, utilizando el modelo Storm Water Management Model (SWMM), el motivo principal de la investigación fue evaluar y comprender cómo la variabilidad climática y el cambio climático impactan en el sistema de drenaje urbano de Cali, con el fin de identificar puntos críticos y mejorar la planificación de obras hidráulicas para proteger a los habitantes de la ciudad, la investigación es de tipo experimental o aplicado, nivel aplicado o práctico, en su metodología, utilizó el modelo Storm Water Management Model para simular tres escenarios climáticos y analizar el

comportamiento hidráulico del sistema de drenaje urbano en Cali. Se calibraron y validaron los modelos con mediciones limnigráficas y se identificaron puntos críticos para futuras intervenciones, diseño es tipo experimental ya que se menciona la calibración y validación de los modelos utilizados para simular el proceso de infiltración y evaluar sistemas de drenaje urbano en zonas planas, concluye que logró una calibración aceptable del modelo, con resultados que describen adecuadamente el patrón de la escorrentía superficial en relación con su distribución en el espacio y a lo largo del tiempo, se identificaron puntos críticos en el sistema de drenaje que pueden ser útiles para la planificación de obras hidráulicas y salvaguardar la seguridad y los recursos de los residentes urbanos; el estudio se relaciona directamente con el tema de estudio, ya que se enfoca en evaluar el comportamiento hidráulico del sistema de drenaje urbano, considerando la escorrentía urbana y su impacto en el sistema de drenaje pluvial, especialmente en el contexto de la variabilidad climática y el cambio climático.

Mero (2022) en su tesis titulada “Diseño del Alcantarillado Pluvial Para Ciudadela Chequelandia En La Ciudad Chone”, de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa - Manabí – Ecuador; el objetivo del estudio es diseñar un alcantarillado pluvial para la Ciudadela Chequelandia en el cantón Chone, planteando el siguiente problema de ¿Cómo se puede mejorar el manejo del drenaje pluvial en zonas urbanas para prevenir inundaciones?, aborda el problema del drenaje pluvial inadecuado y sus efectos en la infraestructura civil, la investigación es de tipo aplicada, nivel descriptivo, utilizó métodos de campo y bibliográfico, su diseño tiene un enfoque hipotético-deductivo. Concluye resaltando la importancia de un adecuado diseño de alcantarillado pluvial para prevenir inundaciones y daños en la infraestructura, el estudio topográfico e hidrológico son fundamentales para encontrar soluciones favorables en el manejo del drenaje pluvial, el diseño propuesto cumple con un buen funcionamiento, aunque se recomienda aumentar el diámetro para hacer frente a intensidades de lluvias. Según los resultados obtenidos en la

tesis, el diseño propuesto para el alcantarillado pluvial se centra en abordar y mitigar los efectos negativos de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje. Al mejorar la gestión del drenaje pluvial, se busca prevenir inundaciones y optimizar la eficiencia del sistema frente a condiciones climáticas extremas, lo que contribuye directamente a una adecuada gestión de la escorrentía urbana.

Isabeles et al. (2019) en su artículo de investigación titulada “Adaptación metodológica en el diseño y desarrollo urbano de bajo impacto para el manejo de aguas pluviales en Colima, México” publicado en la revista *Tecnura*, Vol. 23, No. 62, pp. 55-72, ISSN: 2248-7638, 2019. El objetivo del artículo es adaptar metodológicamente la teoría de desarrollo urbano de bajo impacto para abordar el manejo de aguas pluviales en la Ciudad de Colima, México, con el fin de generar proyectos multifuncionales para la movilidad y el desarrollo urbano, considerando la importancia del espacio público como generador de igualdad y sostenibilidad urbana, la investigación fue elaborado con el propósito de abordar la problemática del manejo de aguas pluviales en la Ciudad de Colima, México, mediante la adaptación metodológica de la teoría de desarrollo urbano de bajo impacto, el cual busca proponer intervenciones sostenibles, inclusivas y resilientes en el espacio público, especialmente en las calles, para mejorar la calidad de vida y promover un desarrollo urbano integral y sustentable. La tesis es de tipo y nivel aplicada, el método que utilizó fue el diseño y desarrollo urbano de bajo impacto (LIUDD - Low Impact Urban Design and Development) contextualizado con el marco francés de planeación urbana, su diseño tiene un enfoque metodológico adaptado para el manejo de aguas pluviales proponiendo soluciones sostenibles y multifuncionales en el espacio público. Concluye con desarrollar e implementar una gestión integral del agua, priorizando el LIUDD, puede ayudar a mitigar el estrés hídrico en ciudades con problemáticas comunes, sugiriendo la creación de una dependencia integrada por representantes de diversos sectores para coordinar la gestión del espacio público y promover proyectos multifuncionales para el manejo de aguas

pluviales y el desarrollo urbano sostenible. El estudio aborda directamente el tema del efecto de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial al proponer soluciones de bajo impacto para el manejo de aguas pluviales en entornos urbanos, con el objetivo de reducir la cantidad de escorrentía y minimizar los impactos negativos en el sistema de drenaje pluvial, como inundaciones y contaminación. La adaptación de la teoría LIUDD y la implementación de estrategias sostenibles buscan mitigar los efectos de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial, promoviendo un enfoque integrado y multifuncional para una gestión más eficiente y resiliente del agua en entornos urbanos.

Sánchez y Martí (2020) en su artículo de investigación denominada “El problema de la escorrentía pluvial en el núcleo urbano de Aspe (Alicante)” de la edición Universitat d’Alacant, ISBN: 978-84-1302-091-4, 2020, el objetivo de la investigación fue de identificar zonas problemáticas en el núcleo urbano de Aspe debido a episodios de lluvias recientes, proponer mejoras para mitigar la escorrentía superficial, y analizar acciones que agravan la gestión del agua pluvial en el área urbana. La investigación es de tipo descriptiva, nivel exploratorio, método cualitativo, diseño transversal. Concluyendo que la gestión de la escorrentía pluvial en el núcleo urbano de Aspe se ve afectada por el crecimiento urbano y el cambio climático, lo que ha provocado episodios de inundaciones, siendo necesario implementar medidas como depósitos de detención para reducir la escorrentía y mitigar los efectos de las lluvias intensas en el área urbana, el análisis de las zonas problemáticas y la propuesta de mejoras en la gestión del agua pluvial son fundamentales para reducir la vulnerabilidad de la población ante eventos extremos. El estudio realizado en el núcleo urbano de Aspe, Alicante, se relaciona directamente con el tema de estudio del efecto de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial, puesto que se identifican zonas problemáticas causadas por la escorrentía urbana, se proponen medidas para mitigarla y se analizan las consecuencias de los episodios de lluvias intensas en el sistema de drenaje pluvial, esto contribuye a comprender cómo la escorrentía urbana afecta la capacidad de

drenaje de un área urbana y la importancia de implementar medidas sostenibles para gestionar eficazmente el agua pluvial.

### **3.1.2. Antecedentes nacionales**

Mandujano (2022) en su tesis para optar el título profesional de ingeniero civil, titulada “Estudio de mejora del sistema de drenaje pluvial como solución a las inundaciones en el jirón Chanchamayo de la ciudad de Tarma”, de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, tuvo como objetivo realizar un estudio de mejora del sistema de drenaje pluvial como solución a las inundaciones en jirón Chanchamayo de la ciudad de Tarma. El motivo de la elaboración de la tesis fue investigar y analizar el sistema de drenaje pluvial en una zona específica para identificar problemas y proponer soluciones que ayuden a mitigar inundaciones. El objetivo principal era mejorar la infraestructura de drenaje para prevenir desastres naturales y contribuir con información relevante para este fin. El tipo de investigación es cuantitativa, de nivel aplicada, método no experimental y de diseño exploratorio – explicativo. Las conclusiones de la investigación resaltan la importancia de mejorar el sistema de drenaje pluvial para prevenir inundaciones, el cual sugiere la implementación de soluciones basadas en los resultados obtenidos. Además, se enfatiza la necesidad de continuar investigando en esta área para desarrollar nuevas estrategias que aborden eficazmente los problemas de drenaje urbano. La relación con el tema de estudio "efecto de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial" es directa, ya que la investigación se enfoca en analizar el comportamiento hidráulico de sumideros, cunetas y tuberías de drenaje pluvial para mitigar inundaciones causadas por la escorrentía urbana, el cual buscó comprender cómo la escorrentía afecta el sistema de drenaje y propone mejoras para gestionar eficazmente el agua de lluvia en entornos urbanos.

Sanchez (2023) en su tesis denominada “Diseño del sistema de drenaje pluvial y pavimentación para el área urbana del Centro Poblado Cruz del Médano, distrito de Mórrope, provincia Lambayeque, departamento de Lambayeque 2019” de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, cuyo objetivo es proponer el diseño de un sistema de

drenaje pluvial y pavimentación en el centro poblado Cruz del Médano para mejorar la calidad de vida de la población y el desarrollo del lugar. Los objetivos específicos incluyen la recolección de información topográfica, investigaciones geotécnicas y de mecánica de suelos, estudios de tráfico, y el diseño de pavimentos flexibles y rígidos en el área urbana, buscando resolver problemas de aniegos, inundaciones, y mejorar la transitabilidad peatonal y vehicular en la zona, cuyo motivo de elaboración de la tesis fue de abordar la problemática de la falta de infraestructura de drenaje pluvial en el centro poblado Cruz del Médano, que ha generado inundaciones y riesgos para la salud de la población. Se busca mejorar la calidad de vida de los habitantes y contribuir al desarrollo sostenible de la zona a través del diseño de un sistema de drenaje pluvial y pavimentación adecuado, enfocando en la aplicación de conocimientos de ingeniería civil para solucionar los problemas de aniegos y mejorar la infraestructura urbana en el área. El tipo de investigación es descriptiva, nivel aplicada, utilizando métodos como estudios topográficos, de tránsito, geotécnicos, meteorológicos e hidrológicos para recopilar datos esenciales. El diseño de la investigación incluye objetivos generales y específicos relacionados con la recolección y análisis de datos necesarios. En sus conclusiones resaltan la importancia de implementar un sistema de drenaje pluvial y pavimentación en el centro poblado Cruz del Médano para prevenir inundaciones y mejorar la calidad de vida de los habitantes, destacando la necesidad de considerar aspectos geotécnicos, hidrológicos y de tráfico en el diseño de infraestructura urbana. Además, se enfatiza la importancia de la gestión ambiental y el monitoreo durante la ejecución de las obras para minimizar impactos negativos en el entorno. La tesis se relaciona con el estudio del efecto de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial, abordando la problemática mediante un diseño que mitigue inundaciones y mejore la gestión de aguas pluviales en un entorno urbano. Busca reducir los impactos negativos de la escorrentía mediante medidas adecuadas para el control y manejo de las aguas de lluvia en el área estudiada.

Morales y Zavala (2023) en su tesis titulada "Diseño del sistema de drenaje pluvial para la urbanización los jardines de Avifap etapa I de la ciudad de Piura", de la Universidad de Piura, tuvo como objetivo principal plantear un diseño óptimo de un sistema de drenaje pluvial para evacuar aguas en Piura. Además, buscó realizar un estudio hidrológico para este propósito. El motivo de la elaboración es minimizar las inundaciones y mejorar la calidad de vida de los habitantes de la zona de Piura afectada por las precipitaciones estacionales y el Fenómeno El Niño. El tipo y nivel de investigación es descriptivo, el método empleado fue el Método Racional para el análisis hidrológico. Tiene conclusiones, en el cual la tesis propuso la construcción de cunetas para mejorar la evacuación de aguas pluviales en Piura, evitando daños en las vías por las lluvias estacionales y el Fenómeno El Niño, se diseñaron cunetas de concreto con especificaciones técnicas adecuadas, el presupuesto presentado permitirá la ejecución del proyecto de drenaje pluvial propuesto en la investigación. La relación con el tema de estudio "efecto de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial" radica en que la investigación propuesta aborda directamente la problemática de la escorrentía urbana al diseñar un sistema de drenaje pluvial efectivo para mitigar inundaciones y mejorar la gestión del agua de lluvia en zonas urbanas vulnerables como Piura.

Luna (2021) en su tesis denominada "Diseño de un sistema de drenaje pluvial urbano en la ciudad de Otuzco, La Libertad mediante el uso del modelo matemático SWMM", de la Pontificia Universidad Católica del Perú, Diseñar un sistema de drenaje pluvial urbano en Otuzco, La Libertad, utilizando el modelo matemático SWMM, realizar un estudio hidrológico para determinar la precipitación de diseño y los parámetros de la cuenca, determinar el flujo de diseño mediante la simulación del modelo con el fin de definir los elementos necesarios en el sistema de drenaje pluvial urbano. El objetivo principal de la elaboración del sistema de alcantarillado pluvial en áreas urbanas en Otuzco fue prevenir posibles daños por lluvias y cumplir con las normativas vigentes en el país, cuyo motivo fue

de diseñar una infraestructura que garantizara la seguridad de los pobladores y el desarrollo de la ciudad, considerando aspectos económicos, sociales y de seguridad, así como la implementación de este sistema se basó en la necesidad de contar con una red de drenaje eficiente y viable para enfrentar las condiciones climáticas y proteger la infraestructura urbana. El tipo de investigación es aplicada, nivel descriptivo, utilizó el método del modelo matemático SWMM para simular el comportamiento hidráulico en el sistema de drenaje pluvial urbano, el diseño de investigación fue no experimental, ya que se basó en la observación y análisis de datos existentes para el diseño del sistema de drenaje pluvial en Otuzco. Concluye que Se diseñó un sistema de drenaje pluvial urbano en Otuzco para prevenir daños por lluvias y cumplir con normativas nacionales, se utilizó el modelo SWMM para llevar a cabo cálculos de forma efectiva y obtener resultados que reflejen condiciones reales, se considera el período de concentración fue de 13.35 min, y se destaca la importancia del mantenimiento para garantizar la capacidad hidráulica del sistema. Se relaciona directamente con el tema de estudio del efecto de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial, al diseñar un sistema de drenaje pluvial eficiente en Otuzco, se aborda la problemática de la escorrentía urbana y se busca mitigar los efectos negativos que esta puede tener en el sistema de drenaje. La investigación aplicada y descriptiva realizada en Otuzco con el uso del modelo SWMM contribuye a comprender y gestionar de manera efectiva la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial, mejorando así la gestión del agua de lluvias en la zona.

Aguilar (2021) en su tesis nombrada “Evaluación del drenaje pluvial de vías urbanas para establecer puntos críticos de inundación en un distrito”, de la Universidad Peruana Los Andes, el objetivo de esta investigación es verificar si un planeamiento adecuado, junto con el uso de la topografía y el trazado geométrico de las vías contribuye a una mayor precisión en la detección de áreas vulnerables a inundaciones en la zona de Chilca. La razón de este estudio fue analizar y determinar estos puntos críticos para mejorar el

sistema de evacuación de aguas pluviales con el fin de disminuir la probabilidad de inundaciones en la región. El tipo de investigación es aplicada, nivel cuantitativo, método científico, y diseño experimental pre-experimental, se realizaron entrevistas estructuradas y se procesó la información utilizando software estadístico SPSS y Excel. Las conclusiones de la investigación subrayan la importancia de un planeamiento adecuado, el aprovechamiento de la topografía y un diseño geométrico vial efectivo para prevenir inundaciones en el distrito de Chilca. Se demostró que la implementación de estas medidas puede reducir significativamente los puntos críticos de inundación. Se recomienda continuar mejorando el sistema de drenaje pluvial y llevar a cabo un monitoreo constante para mitigar los riesgos de inundaciones en la zona. La tesis está directamente relacionada con el tema de estudio del efecto de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial, puesto que, ambos temas se enfocan en la gestión adecuada de las aguas pluviales para prevenir inundaciones y mejorar la eficiencia del sistema de drenaje frente a eventos de escorrentía urbana. Los resultados obtenidos en la investigación pueden contribuir a fortalecer el conocimiento sobre cómo la escorrentía urbana afecta el sistema de drenaje pluvial y cómo se pueden implementar medidas para mitigar sus efectos.

### **3.1.3. Antecedentes regionales o locales**

Aguilar y Amarillo (2021) en su investigación denominada “Mejoramiento del sistema de drenaje de la Carretera Ramal Pacucha – distrito de Andahuaylas – Apurímac”, de la Universidad Ricardo Palma. En sus objetivos propone desarrollar una solución gráfica para la ecuación de Manning como objetivo principal, mientras que los objetivos específicos abarcan la distinción entre el diseño de alcantarillas y puentes, el análisis de la relación entre diferentes tipos de precipitación, la descripción de problemas viales y el diseño de nuevas estructuras, la aplicación de conceptos hidrológicos para gestionar el agua en carreteras, la predicción del comportamiento de elementos como cunetas y alcantarillas, y el cálculo de áreas de microcuencas utilizando el software ArcGis. Cuyo tipo de investigación es aplicada con enfoque mixto (Cualitativo – Cuantitativo), nivel descriptivo y

aplicativo, método cuasiexperimental con diseño longitudinal, utilizó un diseño de investigación cuasiexperimental con control parcial, concluye con la verificación de las condiciones actuales del sistema de drenaje, proponiendo el replanteo del sistema de drenaje a través de un plan estratégico, constata la hipótesis y se presentan los parámetros de diseño para alcantarillas y cunetas propuestas. La relación con el tema de estudio "efecto de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial" se encuentra en la importancia de evaluar y replantear el sistema de drenaje existente para garantizar su correcto funcionamiento y mantenimiento a lo largo del tiempo. La evaluación de las condiciones actuales del sistema y la propuesta de un plan estratégico para mejorar el drenaje se alinean con la necesidad de gestionar eficazmente la escorrentía urbana y prevenir problemas de inundaciones y daños en áreas urbanas.

Cebrián y García (2022) en su tesis titulada "Propuesta del sistema de drenaje vial para mejorar la estructura del pavimento rígido en la Av. Unión, Anco Huallo – Chincheros - Apurímac, 2022", de la Universidad César Vallejo. En sus objetivos plantea: determinar propuesta de sistema de drenaje para solucionar problemas de filtrado de agua en pavimento rígido, establecer correlación entre sistema de drenaje y estructura del pavimento; y Mejorar estabilización de tramo de carretera en Av. Unión, Anco Huallo – Chincheros. La investigación aborda directamente el tema del efecto de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial al proponer un sistema de drenaje para prevenir inundaciones causadas por precipitaciones intensas. Se menciona la importancia de diseñar un plan de mantenimiento y limpieza para garantizar un drenaje continuo, lo que está relacionado con la gestión de la escorrentía urbana para evitar obstrucciones y problemas de inundación. Es de tipo aplicada, nivel explicativo, método cuantitativo, y diseño experimental. Dentro de sus conclusiones, se elaboró una propuesta para el sistema de drenaje en la vía, con el fin de optimizar la durabilidad y resistencia de la superficie de concreto en la Avenida Anco Huallo-Chincheros. Además, se analizó la conexión entre el

uso de drenaje con cantos rodados y la integridad de la estructura del pavimento rígido, proponiendo mejoras para evitar daños, y concluyó que el diseño del sistema de drenaje debe combinar el canto rodado y el sistema francés para una mejor filtración y circulación del agua. La relación con el tema de estudio "efecto de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial" parte en que la investigación aborda la implementación de un sistema de drenaje vial para prevenir inundaciones causadas por la escorrentía urbana. Se propone mejorar la estructura del pavimento rígido y el sistema de drenaje para gestionar de manera efectiva el agua de lluvia y evitar problemas de acumulación y obstrucción en áreas urbanas.

## **3.2. Bases teóricas**

### **3.2.1. Escorrentía urbana**

#### **3.2.1.1. Definiciones**

En relación con la teoría que fundamenta nuestro estudio, exploramos varias de estas cuestiones y nos enfocamos específicamente en las teorías que se alinean de manera adecuada y enmarcan las variables relevantes para este proyecto de investigación. Partimos de la teoría que define el concepto de escorrentía urbana, refiriéndose al caudal que se desplaza sobre las superficies urbanizadas:

Ortiz et al. (2013) define que “el agua de escorrentía urbana es el agua que fluye sobre superficies impermeables urbanizadas y proviene de la precipitación de lluvia o nieve. Se considera problemática debido a su relación con fenómenos de inundaciones, erosión del suelo y contaminación de acuíferos” (p. 17).

Beé (2020) sostiene que la escorrentía urbana “son aguas superficiales procedentes de las calles de las ciudades, que a medida que se desplazan, recogen y transportan contaminantes al desagüe pluvial, el cual los deposita en arroyos, ríos, lagos y aguas costeras”.

La escorrentía urbana es el agua superficial de lluvia, riego y lavado de autos que resulta de la urbanización. Las superficies impermeables, como carreteras,

estacionamientos y aceras, construidas durante el desarrollo del terreno, junto con los techos, canalizan el agua contaminada a los desagües pluviales. Esto impide la infiltración en el suelo, reduciendo la recarga de aguas subterráneas, disminuyendo el nivel freático y provocando inundaciones. Los sistemas de alcantarillado pluvial descargan esta agua sin tratar en cuerpos de agua, causando inundaciones y contaminación (Academia Lab., 2023).

Macor y Pedraza (2006) argumenta que “la urbanización produce un fuerte impacto sobre las respuestas hidrológicas de las cuencas. El incremento de la impermeabilidad aumenta notablemente los escurrimientos superficiales” (p. 35).

La escorrentía urbana se considera una fuente de contaminación difusa debido a su origen en áreas amplias, su vertido es intermitente y está vinculado a la lluvia, un fenómeno aleatorio y variable en el tiempo, esto hace que sea difícil de muestrear en su origen y está estrechamente relacionada con el uso del suelo (Zafra Mejía et al., 2009).

Respecto a las dimensiones para la variable, escorrentía urbana, de todas las definiciones conceptuales, se va recoger lo que está plasmado en Ortiz Hernández et al. (2013) define a la escorrentía urbana como el agua que fluye sobre superficies impermeables urbanizadas y proviene de la precipitación de lluvia o nieve, considerándose una problemática debido a su relación con fenómenos de inundaciones, erosión del suelo y contaminación de acuíferos.

La dimensión está referida a la determinación de los caudales máximos en esta investigación será considerada como el flujo o caudal de la escorrentía urbana, dicho flujo es generado a partir de las precipitaciones máximas, datos hidrológicos que son parte de los parámetros de escorrentía urbana de la ciudad de Antabamba.

### **3.2.1.2. Parámetros hidrológicos**

De acuerdo a Sanchez (2024) el objetivo del estudio hidrológico es identificar, analizar y evaluar los parámetros hidrológicos necesarios, así como determinar el caudal máximo que se debe considerar para el diseño del sistema de drenaje de aguas pluviales en la ciudad de Antabamba. Debido a la ausencia de una estación meteorológica en el

distrito, se opta por utilizar datos de estaciones cercanas, siendo la más próxima a la zona de estudio, se han recopilado registros de precipitaciones pluviales con más de 25 años de antigüedad, para realizar el análisis de los parámetros hidrológicos, se debe seguir las directrices establecidas en la Guía de Hidrología e Hidráulica y el reglamento OS.060 relativo al drenaje de aguas pluviales urbanas.

#### **3.2.1.2.1. Periodo de retorno ( $T_r$ )**

Como expresa Chow et al. (1994) “es el intervalo de recurrencia promedio entre eventos que igualan o exceden una magnitud específica” (p. 392).

#### **3.2.1.2.2. Prueba de datos dudosos**

Al analizar los registros de una precipitación, es frecuente encontrar valores que difieren de la tendencia predominante. Según las recomendaciones del Water Resources Council, es conveniente ajustar aquellos datos que presenten incertidumbre y que se aparten de manera significativa del patrón general, ya que esto puede influir de manera considerable en los parámetros estadísticos, particularmente en muestras de tamaño reducido. La selección y manejo de estos datos requiere un enfoque que integre aspectos matemáticos y hidrológicos, comenzando por identificar los datos con incertidumbre alta cuando la asimetría excede +0,4 y los datos con incertidumbre baja cuando la asimetría es menor a -0,4, antes de proceder a la posible eliminación de valores sospechosos dentro del conjunto de datos (Fuentes, 2016).

#### **3.2.1.2.3. Análisis estadístico de la información hidrológica mediante funciones de distribución de probabilidad teóricas**

De acuerdo con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008), en el campo de la hidrología se emplean diversas funciones de distribución de probabilidad, tanto teóricas como prácticas, para el análisis de eventos como precipitaciones, intensidades o caudales máximos en distintos períodos de retorno. Estos modelos probabilísticos pueden ser de naturaleza discreta o continua, y se recomienda utilizar las siguientes funciones: Distribución Normal, Distribución Log Normal de dos parámetros, Distribución Log Normal

de tres parámetros, Distribución Gamma de dos parámetros, Distribución Gamma de tres parámetros, Distribución Log Pearson tipo III, Distribución Gumbel y Distribución Log Gumbel (Villón, 2005).

#### **3.2.1.2.4. Prueba de bondad de ajuste**

Este procedimiento se emplea para evaluar qué distribución se ajusta mejor a los datos y escoger la que sea más representativa. Consiste en comparar la diferencia absoluta máxima  $D$  entre la función de distribución observada,  $F_o(x_m)$ , y la función estimada,  $F(x_m)$ . La  $D$  se obtiene como la mayor diferencia entre ambas funciones. Se determina un valor crítico  $d$ , que depende del tamaño de la muestra y del nivel de confianza deseado. Si  $D$  resulta ser menor que  $d$ , se acepta que la hipótesis nula es válida. Este método no requiere agrupar los datos, a diferencia de la prueba de chi-cuadrado, ya que realiza una comparación directa entre los datos y el modelo estadístico. La función de distribución observada,  $F_o(x_m)$ , se calcula como uno menos el cociente entre el rango del dato  $x_m$  en orden ascendente y la cantidad total de datos más uno (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008).

#### **3.2.1.2.5. Determinación de la tormenta de diseño**

Una tormenta de diseño es un tipo específico de evento de precipitación empleado en la planificación y desarrollo de sistemas hidrológicos. Este concepto generalmente hace referencia a un evento en el que se estima la entrada de agua en un sistema mediante técnicas de lluvia-escorrentía y análisis de flujo. Las tormentas de diseño se pueden definir según la cantidad de lluvia en un punto determinado o mediante un hietograma que representa cómo varía la precipitación a lo largo del tiempo durante el evento. La estimación de estos eventos puede basarse en datos históricos de precipitaciones en la región o en características generales de lluvias en áreas cercanas. La utilización de las tormentas de diseño abarca desde la determinación de caudales máximos en sistemas de drenaje pluvial hasta la generación de hietogramas como insumos para evaluar la cantidad

de agua que llega a embalses en zonas urbanas (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008).

#### **3.2.1.2.6. Intensidad de precipitación**

Como afirma (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2021) la intensidad de precipitación se determina mediante:

$$i_{(t,T)} = \frac{P_{(t,T)}}{t}$$

Donde:

“ $i_{(t,T)}$  : Intensidad de la precipitación, de duración  $t$  y periodo de retorno  $T$ ”

$P_{(t,T)}$  : Profundidad de precipitación”

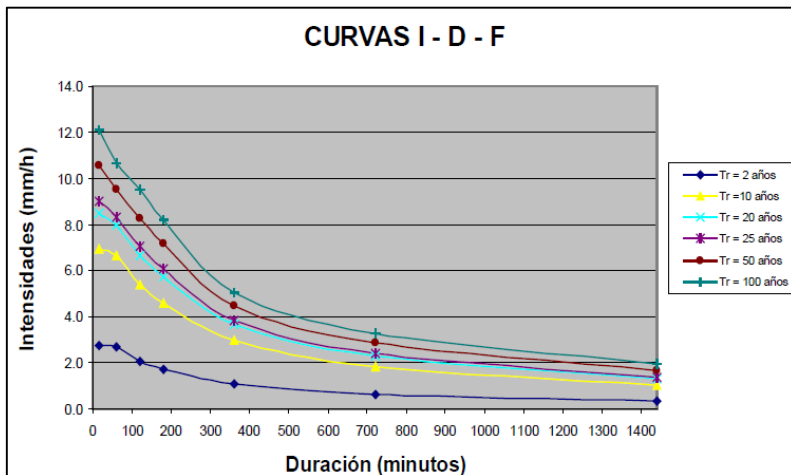
#### **3.2.1.2.7. Curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF)**

Según lo mencionado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008), la intensidad de la precipitación temporal se refiere a la cantidad de agua que cae en un determinado período, y se mide en milímetros por hora o como un valor promedio a lo largo del tiempo que dura la lluvia:  $i = \frac{P}{Td}$

De acuerdo con la fórmula establecida por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en 2008, la magnitud de la precipitación ( $P$ ) está vinculada a su duración ( $Td$ ). La frecuencia con la que ocurre la lluvia generalmente se mide en horas y se obtiene a partir del período de retorno ( $T$ ), que representa el tiempo promedio entre eventos con cierta intensidad de precipitación. Para elaborar las curvas IDF, es necesario contar con datos pluviográficos específicos y seleccionar la precipitación más intensa para distintas duraciones en cada año. Posteriormente, se realiza un análisis estadístico de frecuencias y se emplean modelos probabilísticos para estimar la probabilidad de diferentes intensidades de lluvia según la duración.

Figura 1

Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF)



Nota. En la figura se representa las curvas intensidad (mm/h), duración (min) y frecuencia en años para lluvia máxima. Tomado de “Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje” (p. 35), por Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008, [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_2950.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf).

### 3.2.1.2.8. Hietograma de diseño

En lugares de interés donde no se cuente con datos sobre la cantidad de lluvias en distintas épocas, si es necesario, se pueden utilizar supuestos sobre la distribución de las precipitaciones en el tiempo para propósitos de planificación; por ejemplo, se puede estimar el hietograma de diseño de manera triangular o utilizando el método del bloque alternante, entre otras técnica (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2021), en la presente Tesis aplicaremos el método del bloque alterno.

El método del bloque alternante es posible obtener el hietograma de diseño utilizando una curva IDF, asumiendo que la precipitación  $P$  de duración  $T_d$  ocurre en  $n$  intervalos de duración  $\Delta t$ , tal que se cumpla:

$$T_d = n * \Delta t$$

Después de haber calculado el periodo de retorno para el diseño, la intensidad de lluvia para diferentes intervalos de duración se obtiene de la curva IDF correspondiente;

posteriormente, se calcula la cantidad de lluvia para cada intervalo multiplicando la intensidad por la duración del mismo; al restar las cantidades de lluvia entre intervalos, se encuentra la cantidad de lluvia para intervalos de duración menor; para confeccionar el hietograma de diseño, se reorganizan los bloques de duración específica de manera que el bloque con mayor cantidad de lluvia esté en el centro, mientras que los demás bloques se sitúan alternativamente a la derecha e izquierda en orden descendente (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2021).

### **3.2.1.3. Influencias de la escorrentía urbana**

#### **3.2.1.3.1. *Inundaciones urbanas***

La escorrentía urbana es una causa principal de inundaciones en áreas urbanizadas, ocurren cuando la lluvia excede la capacidad de los sistemas de drenaje. Esto incluye inundaciones repentinas y desbordes que tienen impactos repetitivos y costosos, afectando comunidades y propiedades incluso fuera de llanuras aluviales (Academia Lab., 2023).

#### **3.2.1.3.2. *Daños por erosión***

La erosión excesiva de las orillas de los arroyos puede causar daños a la propiedad. Respuestas gubernamentales incluyen la construcción de terraplenes que, aunque estabilizan áreas afectadas, pueden trasladar problemas río arriba o abajo (Academia Lab., 2023).

#### **3.2.1.4. Problemáticas que surgen de la escorrentía urbana**

La entrada de aguas de escorrentía urbana en las redes de desagües domésticos provoca su desbordamiento, y esta mezcla termina llegando a las fuentes de agua para consumo humano, la presencia de aguas residuales en las fuentes de consumo puede causar enfermedades transmitidas por el agua, como cólera, hepatitis A y E, poliomielitis, fiebre tifoidea y diarrea (Beé, 2020).

### **3.2.2. Sistema de drenaje pluvial**

#### **3.2.2.1. Definiciones**

En cuanto a la teoría de la segunda variable, se entiende como sistema de drenaje pluvial cuyo propósito es transportar las aguas provenientes de las precipitaciones, desde el punto de recolección hasta el lugar de descarga (Barros Nieves et al., 2022).

Sanchez (2023) sostiene que en áreas urbanas, el propósito principal del sistema de drenaje pluvial es recoger y transportar el agua de lluvia hacia puntos de evacuación, con el fin de reducir al mínimo los daños tanto en personas, viviendas, y el medio ambiente, así como los impedimentos para llegar a los lugares de trabajo.

El sistema de evacuación de agua de lluvia consiste en una serie de subcolectores y colectores diseñados para conducir el agua de escorrentía generada por las precipitaciones hacia una planta de tratamiento o hacia un cuerpo de agua natural (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2021).

El sistema de drenaje de aguas pluviales es un elemento esencial en el desarrollo de un sistema de gestión de aguas pluviales requiere un diseño de drenaje que garantice la compatibilidad con las infraestructuras existentes y minimice las alteraciones en los patrones de escorrentía actuales. Además, es fundamental que el sistema controle eficazmente las inundaciones en propiedades, construcciones y vías durante eventos de lluvia intensos y que reduzca al máximo los posibles efectos negativos sobre el medio ambiente causados por el escurrimiento de aguas pluviales (Aguilar, 2021).

Teniendo en cuenta a Sanchez (2022) considera a un sistema de drenaje pluvial consiste en un conjunto de componentes, como sumideros, conductos y pozos, habitualmente fabricados en concreto, diseñados para facilitar la circulación de las aguas de lluvia y prevenir inundaciones en edificios y propiedades. y vías de comunicación.

En numerosas ciudades, se implementa un sistema de drenaje pluvial superficial que consta de canales integrados en las calles urbanas, la escorrentía en las calles es un fenómeno habitual y resulta relevante comprender la dinámica del flujo durante una

tormenta significativa, esto permitiría determinar los niveles de agua y las velocidades máximas que podrían alcanzarse con respecto a un período de retorno específico (Nania, 1999).

Con referencia a las dimensiones que define la segunda variable siendo sistema de drenaje pluvial, el mencionado autor Nania (1999) expresa que se define a la variable sistema de drenaje pluvial como la ocurrencia de la escorrentía urbana. Por ende, para evaluar la primera variable con la segunda, se debe caracterizar el sistema de drenaje pluvial determinando los parámetros de diseño hidráulico siendo las velocidades y tirantes de diseño así como los elementos geométricos de los canales del sistema de drenaje pluvial, generados por el caudal de la escorrentía urbana el cual se determinó con ayuda del modelo SWMM del Software RSMINERVE, y el FlowMaster para los parámetros de diseño hidráulico y los elementos geométricos de los canales del sistema de drenaje pluvial.

Dicho las dimensiones de la segunda variable, que son los parámetros de diseño hidráulico: velocidades y tirante de diseño generados por la escorrentía urbana; se pudo analizar la relación entre la escorrentía urbana y los parámetros de diseño hidráulico, específicamente la velocidad y el tirante, en los canales del sistema de drenaje pluvial; así mismo se tiene la dimensión de los elementos geométricos de los canales del sistema de drenaje pluvial el cual se determinaron con el apoyo del FlowMaster.

#### **3.2.2.2. Parámetros de diseño hidráulico de los canales**

Con respecto a los parámetros de diseño hidráulico de los canales en el presente ítem se “describe los factores que influyen en la obtención de diseños adecuados que garanticen el buen funcionamiento del sistema de drenaje proyectado, acorde a las exigencias hidrológicas de la zona de estudio” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012, p. 20).

### **3.2.2.2.1. *Diseño del sistema de drenaje pluvial***

De acuerdo a Barros et al. (2022) afirma que el sistema de drenaje pluvial se compone de varias estructuras diseñadas para cumplir funciones específicas:

**Estructuras de captación:** Estas instalaciones, como sumideros y coladeras pluviales, están diseñadas para recoger y transportar las aguas de lluvia desde techos y patios hacia el sistema de drenaje pluvial. Los escurrimientos pluviales, provenientes de cunetas, vialidades o vados, son canalizados hacia estas estructuras.

**Estructuras de conducción:** Son responsables de transportar las aguas recolectadas por las estructuras de captación hasta los sitios de tratamiento o vertido. Estas estructuras, que comprenden conductos cerrados y abiertos como canales y tuberías, constituyen la columna vertebral del sistema de alcantarillado.

**Estructuras de conexión y mantenimiento:** Facilitan la conexión y el mantenimiento de los conductos que forman parte de la red de alcantarillado. Permiten la interconexión entre tuberías de diferentes diámetros y materiales, y proporcionan acceso para realizar labores de limpieza e inspección en los conductos.

**Estructuras de descarga:** Se encargan de proteger y mantener libres de obstrucciones las tuberías del sistema de alcantarillado hasta su punto de descarga final. Esto contribuye a reducir los daños ocasionados por la corriente y asegura un adecuado funcionamiento del sistema en el punto de descarga.

**Estructuras complementarias:** Son utilizadas en circunstancias específicas y forman parte esencial del sistema de alcantarillado pluvial para abordar problemas particulares. Entre estas estructuras se incluyen las de retención, detención, infiltración, filtración, limpieza, remoción y medición.

### 3.2.2.2. Cunetas o canales longitudinales

Las cunetas longitudinales deben diseñarse para cumplir una o varias de las siguientes funciones: recoger las aguas de escorrentía provenientes de las calzadas, taludes de corte y laderas adyacentes; captar las aguas infiltradas en la base, subbase y terrenos vecinos; y controlar el nivel freático. La velocidad del agua debe ser controlada para evitar la erosión, (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2021) plantea una velocidad mínima de 0,90 m/s bajo la condición de caudal de diseño para evitar la sedimentación de partículas como arena y grava arrastradas por el agua pluvial, si no se cumple esta condición, el profesional responsable debe justificarlo. A continuación, se muestra justificaciones para los valores de velocidades máximas consideradas en el diseño de canales de concreto armado.

**Tabla 2**

*Velocidades máximas en concreto en función de su resistencia*

Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Profundidad del tirante (m)				
	0.5	1	3	5	10
50	9.6	10.6	12.3	13.0	16.4
75	11.2	12.4	14.3	15.2	16.4
100	12.7	13.8	16.0	17.0	18.3
150	14.0	15.6	18.0	19.1	20.8
200	15.6	17.3	20.0	21.2	22.9

*Nota.* La tabla muestra los valores velocidades máximas admisibles altos del concreto en función a su resistencia. Adaptado de “Manual: Criterios de diseños de obras hidráulicas para formulación de Proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico” (p. 16), por Autoridad Nacional del Agua, 2010.

**Tabla 3**

*Velocidades límites admisibles*

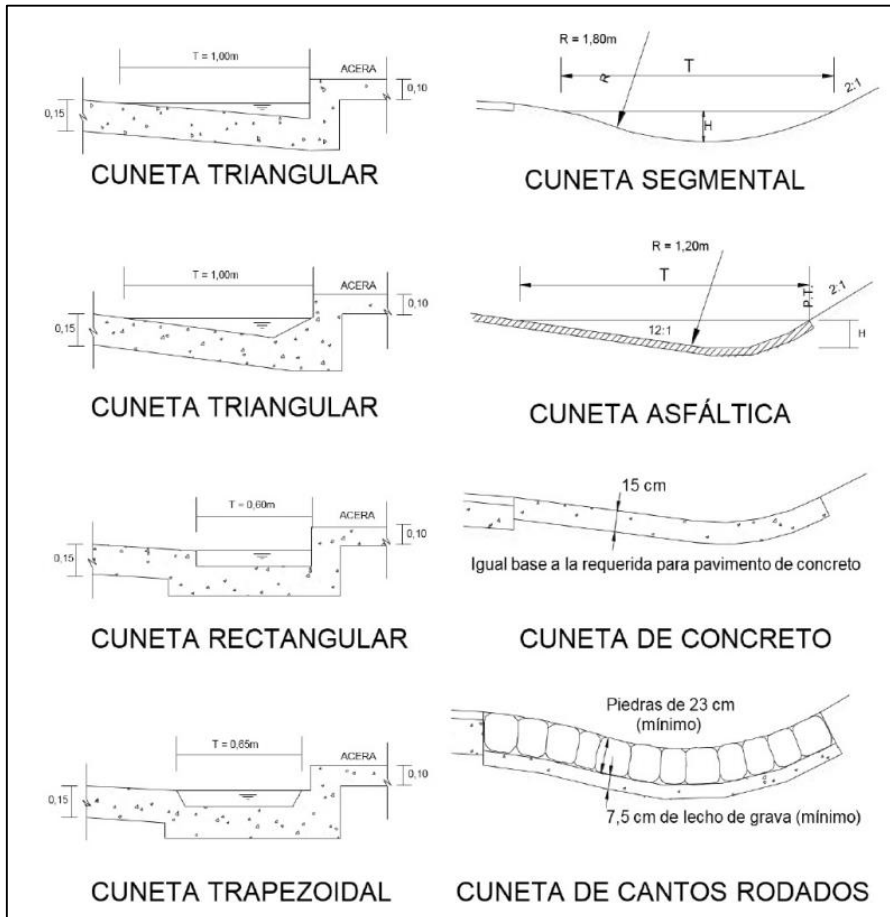
Tipo De Superficie	Velocidad limite admisible
Arena fina o limo (poca o ninguna arcilla)	0.20 - 0.60
Arena arcillosa dura, margas duras	0.60 - 0.90

Terreno parcialmente cubierto de vegetación	0.60 - 1.20
Arcilla grava, pizarras blandas con cubierta vegetal	1.20 – 1.50
Hierba	1.20 - 1.80
Conglomerado, pizarras duras, rocas blandas	1.40 - 2.40
Mampostería, Rocas Duras	3.00 – 4.50
Concreto	4.50 – 6.00

*Nota.* La tabla muestra los valores velocidades límites admisibles para flujos de corta duración. Adaptado de “Manual de Hidrología, hidráulica y drenaje” (p. 175), por Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012.

El flujo de agua pluvial que cae directa o indirectamente sobre las veredas y pistas, así como el proveniente de las instalaciones de drenaje pluvial de los edificios, debe dirigirse hacia las cunetas, estas cunetas deben canalizar el agua hacia las áreas bajas, donde los sumideros recogen el agua pluvial y la conducen hacia las alcantarillas pluviales del centro poblado (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2021).

Las cunetas poder ser clasificadas según su sección transversal (Figura 2):

**Figura 2***Sección transversal de cunetas*

*Nota.* En la figura se muestra las diferentes secciones transversales para las cunetas segmentales, asfálticas, de concreto y cantos rodados. Tomada del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2021).

Normalmente las cunetas tienen una forma triangular en sección transversal, con el lado vertical coincidiendo con el borde de la acera, la pendiente del pavimento sigue la hipotenusa del triángulo. La Figura 2 ilustra los diferentes tipos de cunetas triangulares y cómo se aplica la ecuación de Manning para calcular el flujo de agua que pueden transportar.



**Tabla 4**

*Coefficiente de rugosidad por tipo de material en cunetas*

<b>Cunetas de las Calles</b>	<b>Coefficiente de Rugosidad N</b>
<b>a. Cuneta de Concreto con acabado paleteado</b>	0,012
<b>b. Pavimento Asfáltico</b>	
1) Textura Lisa 2) Textura Rugosa	0.013
2) Textura Rugosa	0.016
<b>c. Cuneta de concreto con Pavimento Asfáltico</b>	
1) Liso	0,013
2) Rugoso	0,015
<b>d. Pavimento de Concreto</b>	
1) Acabado con llano de Madera	0.014
2) Acabado escobillado	0.016
<b>e. Ladrillo</b>	0.016
<b>f. Para cunetas con pendiente pequeña,</b> donde el sedimento puede acumularse se incrementarán los valores arriba indicados de n, en:	0.002

*Nota.* En la tabla se detalla los valores de coeficiente de rugosidad para los distintos materiales en cunetas. Adaptado de Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2021).

### **3.2.2.2.3. Rejilla**

Las rejillas metálicas con aberturas uniformes son utilizadas para retener los desechos sólidos en la superficie por donde fluyen las aguas pluviales y evitar su ingreso al sistema de aguas pluviales, se dividen en dos categorías según el material utilizado, como el fierro fundido o laminado, y por su posición en el sentido del flujo, pudiendo ser horizontales, verticales o mixtas; estas rejillas pueden adaptarse a diferentes formas geométricas, como rectangulares, cuadradas o circulares, siendo las rectangulares las más comunes en sistemas de drenaje pluvial; se fabrican en dimensiones estándar de 60 mm x 100 mm y 45 mm x 100 mm (24"x 40" y 18" x 40") gracias a su proceso de fabricación industrial (Morales y Zavala, 2023).

### 3.2.2.3. Elementos geométricos de los canales




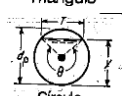
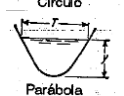
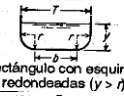

Como plantea Chow (2004) los elementos geométricos son propiedades de una sección de canal que pueden ser definidos por completo por la geometría de la sección y la profundidad de flujo, estos elementos son muy importantes y se utilizan con amplitud en el cálculo de flujo. Para secciones de canal regulares y simples, los elementos geométricos pueden expresarse matemáticamente en términos de la profundidad de flujo y de otras dimensiones de la sección. Para secciones complicadas y secciones de corrientes naturales, sin embargo, no se puede escribir una ecuación simple para expresar estos elementos, pero pueden prepararse curvas que representen la relación entre estos elementos y la profundidad de flujo para uso en cálculos hidráulicos.

A continuación, se dan las definiciones de varios elementos geométricos de importancia básica. Otros elementos geométricos utilizados en este libro se definirán cada vez que aparezcan por primera vez.

La profundidad del flujo  $y$ , es la distancia vertical desde el punto más bajo de una sección del canal hasta la superficie libre. A menudo este término se intercambia con profundidad de flujo de la sección,  $d$ . En efecto, la profundidad de flujo de la sección es la profundidad de flujo perpendicular a la dirección de éste, o la altura de la sección del canal que contiene el agua. Para un canal con un ángulo de pendiente longitudinal  $\theta$ , puede verse que la profundidad de flujo es igual a la profundidad de sección de flujo dividida por  $\cos \theta$ . En el caso de canales empinados, por consiguiente, los dos términos deben utilizarse de manera discriminada.

El nivel se refiere a la altura o distancia vertical que existe desde un punto de referencia o datum hasta la superficie libre. Cuando se selecciona el punto más bajo de la sección del canal como referencia, el nivel corresponde exactamente a la profundidad del flujo. En cuanto a “el ancho superficial  $T$  es el ancho de la sección del canal en la superficie libre” (Chow, 2004, p. 23). En la Tabla 5 mostrando los elementos geométricos de los canales:

**Tabla 5**  
Elementos geométricos de secciones de canal

Sección	Área A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Ancho superficial	Profundidad hidráulica D	Factor de sección Z
 Rectángulo	$by$	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	$b$	$y$	$by^{1.5}$
 Trapezio	$(b + zy)y$	$(b + 2y)\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{(b + zy)y}{(b + 2y)\sqrt{1 + z^2}}$	$b + 2zy$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2zy}$	$\frac{[(b + zy)y]^{1.5}}{\sqrt{b + 2zy}}$
 Triángulo	$zy^2$	$2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1 + z^2}}$	$2zy$	$1/2y$	$\frac{\sqrt{2}}{2}zy^{2.5}$
 Círculo	$\frac{1}{8}(\theta - \text{sen}\theta)d_0^2$	$\frac{1}{2}\theta d_0$	$\frac{1}{4}\left(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta}\right)d_0$	$\frac{\left(\frac{\text{sen}1}{2\theta}\right)d_0}{\text{or}} 2\sqrt{y(d_0 - y)}$	$\frac{1}{8}\left(\frac{\theta - \text{sen}\theta}{\text{sen}1/2\theta}\right)d_0$	$\frac{\sqrt{2}(\theta - \text{sen}\theta)^{1.5}}{32(\text{sen}1/2\theta)^{0.5}}d_0^{2.5}$
 Parábola	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T^2 + 8y^2}$ *	$\frac{3A}{2y}$	$2/3y$	$2/9\sqrt{6}Ty^{1.5}$
 Rectángulo con esquinas redondeadas ( $y > r$ )	$\left(\frac{\pi}{2} - 2\right)r^2 + (b + 2r)y$	$(\pi - 2)r + b + 2y$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2 + (b + 2r)y}{(\pi - 2)r + b + 2y}$	$b + 2r$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2}{b + 2r} + y$	$\frac{[(\pi/2 - 2)r^2 + (b + 2r)y]^{1.5}}{\sqrt{b + 2r}}$
 Triángulo con fondo redondeado	$\frac{T^2}{4z} - \frac{r^2}{z}(1 - z\cot^{-1}z)$	$\frac{T}{z}\sqrt{1 + z^2} - \frac{2r}{z}(1 - z\cot^{-1}z)$	$\frac{A}{P}$	$2[z(y - r) + r\sqrt{1 + z^2}]$	$\frac{A}{T}$	$A\sqrt{\frac{A}{T}}$

\* Aproximación satisfactoria para el intervalo  $0 < x \leq 1$ , donde  $x = 4y/T$ . Cuando  $x > 1$ , utilice la expresión exacta  $P = (T/2)[\sqrt{1 + x^2} + 1/x \ln(x + \sqrt{1 + x^2})]$

Nota. Adaptado de Chow (2004).

### **3.3. Definición de términos**

#### **3.3.1. Escorrentía urbana**

En opinión de Beé (2020) sostiene que la escorrentía urbana, son aguas superficiales procedentes de las calles de las ciudades, que a medida que se desplazan, recogen y transportan contaminantes al desagüe pluvial, el cual los deposita en arroyos, ríos, lagos y aguas costeras.

#### **3.3.2. Sistema de drenaje pluvial**

El Sistema de drenaje pluvial en una urbanización comprende una serie de infraestructuras, como sumideros, colectores y canales, diseñadas para captar y dirigir las aguas pluviales hacia un lugar específico de disposición, cuyo objetivo es evitar inundaciones y garantizar la salubridad en el entorno urbano (Dete, 2013). Es el conjunto de conductos y estructuras diseñadas para recibir, evacuar, transportar y disponer de las aguas, ya sean resultado de las actividades de una población específica o producidas por la precipitación de agua de lluvia (Hernández, 2018, p. 39).

#### **3.3.3. Caudal de diseño**

Como señala Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2021) “el caudal de diseño puede ser obtenido mediante el método racional, el hidrograma unitario u otros procedimientos de hidrología urbana, por ejemplo, modelos de simulación hidrológica (simulación de eventos y simulación continua)” (p. 15).

#### **3.3.4. Velocidad de diseño**

En cuanto a la velocidad mínima, esta debe ser de 0,90 m/s bajo la condición de caudal de diseño para evitar la sedimentación de partículas como arena y grava arrastradas por el agua pluvial, si no se cumple esta condición, el profesional responsable debe justificarlo; la velocidad máxima en subcolectores y colectores depende del material de la tubería. El profesional a cargo del proyecto debe determinar la velocidad máxima de diseño que prevenga la erosión de las paredes de la tubería (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2021).

### **3.3.5. Tirante de diseño**

El término "tirante" en hidráulica se refiere a la profundidad del agua en un canal, río, tubería u otro conducto por el que fluye el agua, es una medida importante para el cálculo de la velocidad y el caudal del flujo (Chow et al., 1994).

### **3.3.6. Modelo SWMM**

SWMM dispone de diversas funciones, incluyendo la planificación y diseño de elementos para sistemas de drenaje, análisis del rendimiento de redes ya instaladas, desarrollo de métodos de control para reducir posibles desbordamientos, y la inspección de la calidad del agua de escorrentía, entre otras tareas (Stohmann, 2022, p. 467).

### **3.3.7. Coeficiente de Strickler**

Se conoce "el Coeficiente de Strickler (K) cuya expresión es  $(1/n)$ " siendo la inversa del coeficiente de Manning o de rugosidad el cual considera (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012, p. 175). Para "cunetas excavadas en el terreno tendrá un valor de Coeficiente de Strickler de 33" (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012, p. 175). También se considera que "el valor de (n) para hormigón es de  $0.015 [m^{1/6}]$  equivalente a un coeficiente de Strickler de 67" (Pantaleón et al., 2013, p. 562).

### **3.3.8. Precipitaciones de diseño**

La precipitación de diseño se "obtiene del análisis de frecuencia de valores extremos del registro histórico de precipitación en dicho punto. Para ello, dado la duración, de cada año del registro histórico se halla la máxima profundidad de precipitación de tal duración" (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2021, p. 15)

### **3.3.9. Periodo de retorno**

Para fines desde una perspectiva de planificación, el intervalo de retorno se selecciona en función de la naturaleza del trabajo o proyecto, además de la experiencia y el juicio del responsable del diseño. Los volúmenes de flujo previstos para la infraestructura también son considerados en este proceso se establecen para drenar el agua de lluvia de frecuencia moderada, es decir, con periodos de retorno de 2, 5, 10 o menos de 25 años,

con el objetivo de evitar inundaciones en edificaciones, carreteras y zonas adyacentes. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2021).

#### **IV. Metodología**

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

La presente investigación que vamos a realizar tiene el **enfoque cuantitativo**, ya que recopilaremos información y datos para responder a nuestras preguntas, objetivos e hipótesis de investigación, las cuales fueron establecidas previamente, y el enfoque se apoya en la medición numérica para dichos propósitos, además del análisis estadístico (Hernández et al., 2014).

Así mismo **el alcance de la investigación es descriptivo** ya que de acuerdo a Hernández et al. (2014) afirma que el valor de los estudios descriptivos son “útiles para mostrar con precisión las dimensiones de un fenómeno, suceso, comunidad, contexto o situación” (p. 92) puesto que en la Tesis se busca evaluar el efecto de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial aplicando el modelo SWMM en la ciudad de Antabamba, Apurímac, 2023; por medio de la determinación del efecto de los parámetros hidrológicos de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial, así como el efecto de la escorrentía urbana en los elementos geométricos de los canales del sistema de drenaje pluvial, sabiendo que un Estudio descriptivo ayuda a “examinan un fenómeno para describirlo más completamente o para diferenciarlo de otro” (Cegarra, 2011, p. 92). A su vez es **correlacional**; de acuerdo a Hernández et al. (2014) el objetivo de un estudio de tipo correlacional es determinar la existencia y la fuerza de una conexión o vínculo entre dos o varias ideas, categorías o variables dentro de un entorno determinado específico; ya que se pretende analizar la relación entre la escorrentía urbana y los parámetros de diseño hidráulico, específicamente la velocidad y el tirante, en los canales del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba, Antabamba, Apurímac, 2023; en cierta medida el alcance correlacional posee una capacidad explicativa, aunque limitada, ya que el

conocimiento de la relación entre dos conceptos o variables proporciona alguna información para comprender su vínculo.

Con respecto al **tipo de investigación**, el presente proyecto corresponde al **tipo aplicada** debido a que se usará el aporte de teorías científicas, puesto que los estudios de ciencia aplicada no se limitan a utilizar los conocimientos existentes (Cegarra, 2011).

Sobre el **diseño**, de acuerdo a Hernández et al. (2014), corresponde al **no experimental**, puesto que durante el estudio no se pretende manipular ninguna de las variables: escorrentía urbana y sistema de drenaje pluvial, ya que solamente vamos a observar y analizar los hechos de los distintos escenarios de simulación en diferentes periodos de retorno aplicando el modelo SWMM del software RS MINERVE.

Además, la **temporalización es longitudinal**, porque nos limitaremos a analizar los hechos de la escorrentía urbana producido por las precipitaciones máximas en un periodo de tiempo desde el año 1994 al 2023, ya que para “conocer los hechos y fenómenos de la realidad, ya sea en una esencia individual o su relación a través del tiempo, pudiendo ser dos, tres o más años” (Carrasco, 2005, p. 73).

Finalmente, el **método es hipotético deductivo**, se parte de principios generales para llegar a una conclusión específica, que corresponde a la hipótesis que se somete a prueba para verificar su validez. Si esta hipótesis resulta ser correcta, no solo se fortalecería la teoría inicial, promoviendo un avance cíclico en el conocimiento, sino que también se facilitaría la formulación de soluciones a problemas tanto teóricos como prácticos (lo que también se denomina pragmático, aplicable o tecnológico). Por el contrario, si la hipótesis no se verifica, se puede proceder a reformularla en un esfuerzo por hacerla válida, o en su defecto, descartarla y reconsiderarla desde otros fundamentos teóricos que ofrezcan una orientación diferente o alternativa a la anterior (Sánchez, 2019, p. 108). Dado que nuestro estudio tiene hipótesis, las probaremos o refutaremos para sacar conclusiones que sean relevantes para nuestras preguntas.

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

### **4.2.1. Temporal**

La presente investigación se llevará a cabo durante el periodo de tiempo de octubre a diciembre del 2023, y enero a octubre del 2024.

### **4.2.2. Espacial**

El desarrollo del presente trabajo de investigación se realizará en la ciudad de Antabamba, provincia de Antabamba, del departamento Apurímac, puesto que durante períodos de intensas lluvias, los niveles de esta aumentan considerablemente, generando complicaciones importantes para la comunidad debido a la deficiente infraestructura de drenaje pluvial.

## **4.3. Población y muestra**

### **4.3.1. Población**

La población de estudio son todas las calles de la ciudad de Antabamba ubicada en el distrito de Antabamba, provincia de Antabamba, departamento de Apurímac, Lat.: 14°22'27" S y Long.: 72°53'18"O, Alt.: 3640 msnm.

### **4.3.2. Muestra**

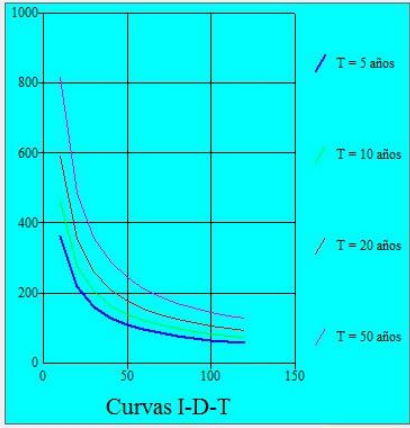
La muestra será no probabilística, también llamadas muestras dirigidas ya que no depende de la probabilidad, se trata de un método de escogencia basado en las particularidades de la investigación en lugar de apoyarse en un criterio estadístico para su generalización (Hernández et al., 2014). Para el caso de nuestra investigación la muestra de estudio fueron las 21 calles de la ciudad de Antabamba, es decir no se precisa realizar un diseño muestral probabilístico.

## **4.4. Instrumentos**

Las técnica e instrumentos para la presente investigación son los siguientes:

Tabla 6

## Técnicas e instrumentos

Técnicas	Instrumentos
<p>La técnica es mediante la observación no experimental, con la adquisición de datos hidrometeorológicos del SENAMHI.</p> <p>La técnica es mediante la observación no experimental, con la ayuda del modelo HIDROESTA2 se podrá determinar la Curva IDF (Intensidad, Duración y Frecuencia) el cual se ingresarán datos de precipitación máxima por año en la opción de Distribuciones (siendo parte del menú principal del HIDROESTA2, y de esta manera se determinará la curva IDF como se muestra a continuación:</p>	<p>Instrumento N° 01: Precipitaciones máximas por año</p>
 <p>Curvas I-D-T</p>	<p>Instrumento N° 02: Curva Intensidad, duración y frecuencia (IDF)</p>
<p>Del mismo modo con dicha información anterior se podrá determinar los hietogramas de precipitación de diseño por el método de bloque alterno – Modelo Dick Peschke, donde se va a generar nuestros hietogramas de bloque alterno, donde la duración esta expresada cada hora, la intensidad que ya está en función de la ecuación de intensidad como se muestra a continuación:</p>	<p>Instrumento N° 03: Hietogramas de precipitación de diseño (mm) por el método de bloque alterno – Modelo Dick Peschke</p>
$I = \frac{K \times T^m}{D^n}$ <p>Donde:</p> <p>I: Intensidad máxima (mm/h)</p> <p>T: Período de retorno en años = que va desde 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años el cual se desea evaluar.</p> <p>D: Duración de la precipitación (min)</p> <p>el valor de k, m y n ya son calculadas en HidroEsta 2, para ello se debe tener en el primer campo las duraciones en el segundo campo los periodos de retorno y en el tercer campo las intensidades.</p>	

---

<p>La técnica es mediante la observación no experimental, con la ayuda del modelo WSMM del software RS MINERVE podremos determinar el caudal de la escorrentía urbana. Para el cálculo del hidrograma de avenida se empleará uno de los métodos más sencillos siendo la metodología, el cual requiere datos de la cuenca urbana como área techada y calles, pendiente longitudinal, coeficiente de Strickler y datos de precipitaciones máximas (hietogramas).</p>	<p>Instrumento N° 04: Determinación del caudal de la escorrentía urbana con el modelo SWMM del Software RS MINERVE</p>
--	--

---

*Nota.* En la tabla se da a conocer los instrumentos con sus respectivas técnicas para la determinación de los diferentes resultados.

#### **4.5. Procedimientos**

En primer lugar, se realizó un análisis estadístico para validar los registros de precipitaciones máximas mensuales, asegurando su conformidad con los límites establecidos. A continuación, se aplicó la prueba de Smirnov-Kolmogorov para seleccionar una distribución teórica comúnmente utilizada en hidrología, utilizando datos históricos de precipitaciones máximas de 24h.

Para el análisis estadístico del impacto de las precipitaciones máximas, en esta tesis se adoptó la metodología estadística propuesta por el autor (Villón, s. f.), que incluye medidas de dispersión y tendencia central, tales como la media aritmética, la mediana, la moda, la varianza, la desviación estándar, el coeficiente de variación, el sesgo y la curtosis.

En cuanto al procedimiento para la ejecución del SWMM (Storm Water Management Model) en el software RS MINERVE, se debe seguir el siguiente proceso:

**Preparación de Datos:** Organizar y cargar los datos de precipitaciones máximas mensuales validados siendo este los hietogramas de precipitación de diseño, asegurándose de que estén en el formato adecuado para el software.

**Configuración del Modelo SWMM:** Ingresar los datos de entrada requeridos en el modelo, como las características del área de estudio, longitud de la calle (m), área considerando calles y techos en m<sup>2</sup>, pendiente longitudinal (Crítica) en m/m y el coeficiente de Strickler.

Ejecución del Modelo: Correr el modelo SWMM dentro de RS MINERVE para simular el comportamiento del escurrimiento pluvial y las inundaciones potenciales.

Análisis de Resultados: Evaluar los resultados obtenidos del modelo, utilizando las métricas estadísticas mencionadas para interpretar el impacto de las precipitaciones en el área de estudio.

Este procedimiento permite una integración efectiva de las técnicas estadísticas y la modelización hidrológica, facilitando una comprensión más profunda de los fenómenos relacionados con el agua.

#### **4.6. Análisis de datos**

##### **4.6.1. Análisis del objetivo específico 1**

Se realizó el modelado para un periodo de retorno de 10 años “los caudales de diseño de la infraestructura para drenar la escorrentía de precipitaciones de moderada frecuencia, es decir, periodos de retorno de 2, 5, 10 o menor a 25 años” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2021, p. 9)

Los caudales de diseño de la infraestructura para drenar la escorrentía de precipitaciones de baja frecuencia, es decir periodo de retorno igual o mayor a 10 años

Los parámetros de la escorrentía urbana incluyen variables como la intensidad de las precipitaciones, la superficie impermeabilizada, la pendiente del terreno, entre otros. Estos parámetros son fundamentales para evaluar el comportamiento de la escorrentía en un área urbana y su impacto en el sistema de drenaje pluvial.

Los resultados indican que la ciudad de Antabamba experimenta un alto nivel de escorrentía urbana, lo cual está afectando negativamente al sistema de drenaje pluvial. Esto se debe a la combinación de una alta intensidad de precipitaciones, un aumento en la superficie impermeabilizada debido al crecimiento urbano y una pendiente del terreno que facilita la acumulación de agua.

#### **4.6.2. *Análisis del objetivo específico 2***

Para analizar la relación entre el caudal de la escorrentía urbana y los parámetros de diseño hidráulico en los canales del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba, es importante tener en cuenta que la escorrentía urbana es el agua que fluye sobre la superficie de las áreas urbanas y que puede causar inundaciones si no se gestiona adecuadamente.

En este caso, los parámetros de diseño hidráulico que se deben tener en cuenta son la velocidad y el tirante del agua en los canales de drenaje. La velocidad del agua en los canales determina la capacidad de transporte de sedimentos y residuos, mientras que el tirante del agua indica la profundidad a la que se encuentra el agua en el canal. Para analizar la relación entre el caudal de la escorrentía urbana y estos parámetros de diseño hidráulico, se pueden realizar estudios de campo para medir la velocidad y el tirante del agua en diferentes puntos del sistema de drenaje pluvial. Estos datos se pueden comparar con la cantidad de escorrentía generada por las lluvias en la ciudad, para determinar si existe una relación entre la cantidad de agua que fluye por los canales y la velocidad y el tirante del agua.

#### **4.6.3. *Análisis del objetivo específico 3***

Para llevar a cabo este estudio, se realizó un análisis de la escorrentía urbana y se evaluaron los elementos geométricos de los canales de drenaje pluvial, como la sección transversal, base del canal, altura del canal y ancho superficial, complementando con datos de la pendiente y la rugosidad de la superficie del canal. Dichos cálculos partieron de la recopilación de datos de las precipitaciones para los hietogramas de precipitación de diseño y con ayuda del modelo WSMM del software RS MINERVE se determinó el caudal de agua de la escorrentía urbana en los canales.

## V. Resultados y discusión

### 5.1. Resultados

#### 5.1.1. Resultados del objetivo específico 1

Tabla 7

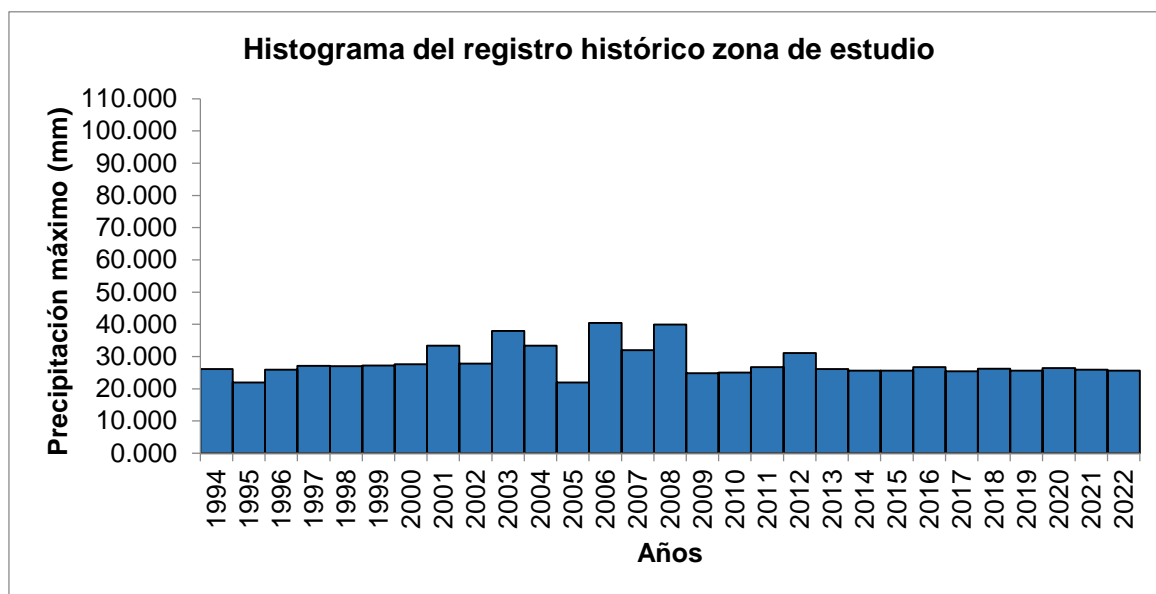
*Precipitaciones máximas de 24 horas*

<b>Precipitación máxima 24 horas</b>		
<b>N°</b>	<b>Año</b>	<b>Ppmax (mm)</b>
1	1994	26.089
2	1995	21.989
3	1996	25.903
4	1997	27.097
5	1998	26.992
6	1999	27.175
7	2000	27.630
8	2001	33.411
9	2002	27.844
10	2003	37.965
11	2004	33.381
12	2005	21.965
13	2006	40.400
14	2007	31.961
15	2008	39.973
16	2009	24.841
17	2010	25.040
18	2011	26.693
19	2012	31.064
20	2013	26.158
21	2014	25.591
22	2015	25.674
23	2016	26.707
24	2017	25.412
25	2018	26.225
26	2019	25.660
27	2020	26.466
28	2021	25.886
29	2022	25.674

*Nota.* En la tabla se muestra la precipitación máxima 24 horas desde el año 1994 al 2022.

**Figura 4**

*Histograma de registro histórico zona de estudio*



*Nota.* En la figura se detalla el histograma del registro histórico de la zona de estudio de las precipitación máxima 24 (mm) desde el año 1994 al 2022.

**Tabla 8**

*Procesamiento de datos*

Parámetros Estadísticos	P24h	Log(P24h)
Número de datos (N)	29	29
Sumatoria	816.850	41.880
Valor Máximo	40.400	1.610
Valor Mínimo	21.970	1.340
Media:	28.1672	1.4441
Varianza:	22.3726	0.0044
Desviación Estándar:	4.7300	0.0666
Coeficiente Variación:	0.1679	0.0461
Coeficiente de Sesgo:	1.4833	1.1988
Coeficiente de Curtosis:	4.8122	4.4037

*Nota.* En la tabla se detalla los resultados de los parámetros estadísticos de las precipitación de 24 h junto a su logaritmo (LogP24h).



**Tabla 9**

*Resultados de los deltas teóricos y tabular para las distintas distribuciones de probabilidad*

$\Delta$ Tabular	$\Delta$ teórico de las Distribuciones							
	Normal	Log normal 2 Parámetros	Log normal 3 Parámetros	Gamma 2 Parámetros	Gamma 3 Parámetros	log Pearson Tipo III	Gumbel	Log Gumbel
0.2525	0.2609	0.2322	0.1607	0.2426	0.16617	<b>0.15429</b>	0.1919	0.1627
MIN $\Delta$	<b>0.15429</b>							

*Nota.* La tabla muestra los valores de los deltas teóricos y tabular para las diferentes distribuciones de probabilidad.

Si al comparar todas las distribuciones dándoles el valor mínimo, la Distribución Log de Pearson Tipo III tiene un valor de 0.15429, lo que la convierte en la distribución más adecuada para mi serie de datos tal como se mostró en la figura 6.

**Tabla 10**

*Precipitación máxima para diferentes períodos de retorno con la distribución Log Pearson Tipo III*

Precipitación máxima para diferentes periodos de retorno		
T (años)	P	Distribución Log Pearson Tipo III $X^t$
2	0.500	27.02
5	0.200	31.17
10	0.100	34.21
25	0.040	38.35
50	0.020	41.62
100	0.010	45.07
200	0.005	48.68
500	0.002	53.76
1000	0.001	57.79
$\Delta$	<b>0.2525</b>	<b>0.15429</b>

*Nota.* La tabla muestra los valores de precipitación máxima para diferentes periodos de retorno en la distribución Log Pearson Tipo III.

**Tabla 11**

*Precipitaciones máximas corregidas para diferentes períodos de retorno con la distribución Log Pearson Tipo III*

<b>Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno para una distribución Log Pearson tipo III</b>				
<b>T (años)</b>	<b>Probabilidad de Excedencia F(x)</b>	<b>P =</b>	<b>Probabilidad de no Excedencia 1-F(x)</b>	<b>Z</b>
2	0.500		0.500	30.53
5	0.200		0.800	35.22
10	0.100		0.900	38.66
25	0.040		0.960	43.34
50	0.020		0.980	47.03
100	0.010		0.990	50.93
200	0.005		0.995	55.01
500	0.002		0.998	60.75
1000	0.001		0.999	65.30
<b>Δ</b>	<b>0.2525</b>			<b>0.15429</b>

*Nota.* La tabla muestra los valores de precipitación máxima para diferentes periodos de la distribución Log Pearson tipo III, ajustándose a un valor de delta teórico 0.15429 y delta tabular el valor de 0.2525.

Una vez que disponemos de los datos de precipitación, llevamos a cabo el cálculo de la intensidad y las curvas IDF. Para ello, utilizamos una fórmula que consiste en dividir la cantidad de precipitación en intervalos de tiempo determinados, expresados en horas. Este procedimiento se repite para cada intervalo que desees analizar, iniciando con intervalos de cinco minutos y luego cada hora. Después de obtener las intensidades, elaboramos nuestra curva de intensidad, duración y frecuencia, dichos resultados se muestran en la Figura 6.

$$I = \frac{P_D}{D}$$

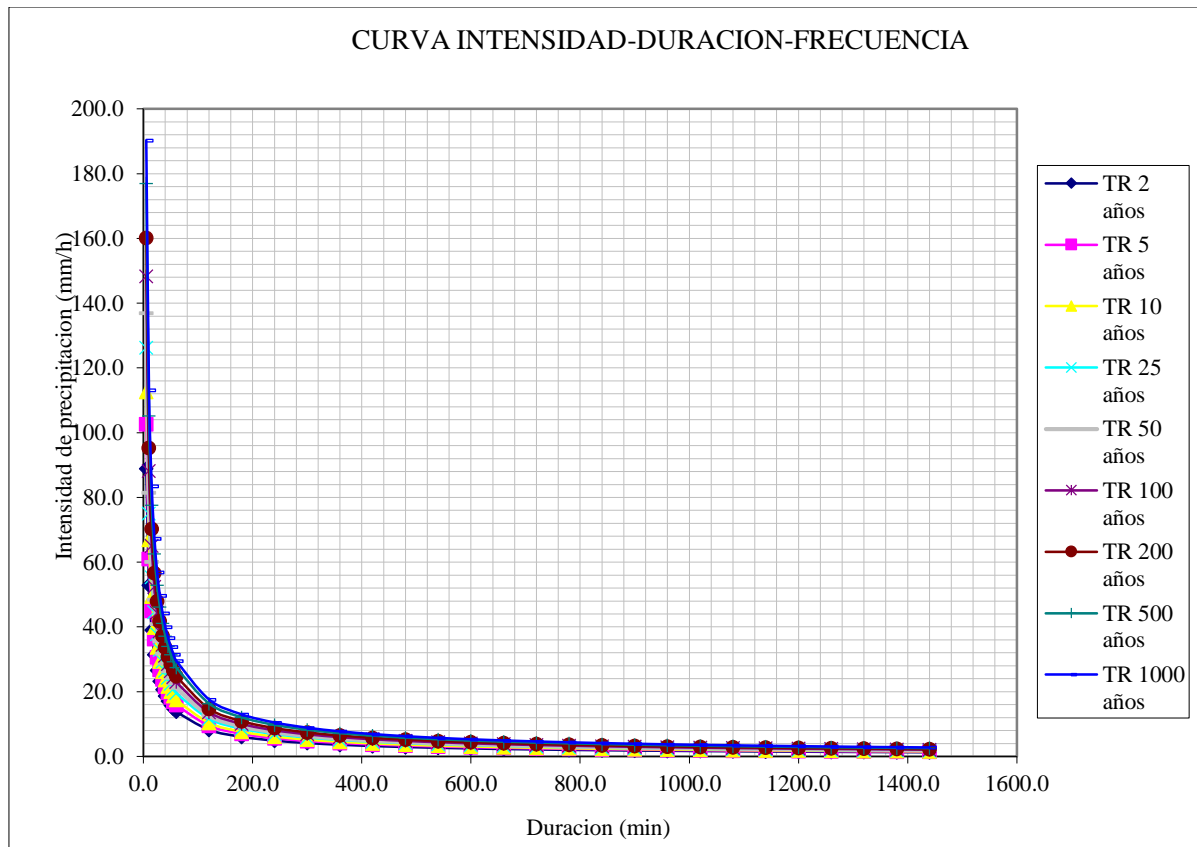
Donde:

$P_D$  = precipitación máxima de duración D, en mm

D = duración de la precipitación, en horas

**Figura 6**

*Curva Intensidad – Duración – Frecuencia*



*Nota.* La figura ilustra los valores de intensidad de precipitación (mm/h) en relación con la duración (min) y los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años.

Este es la manera de generar nuestra curva de intensidad, duración y frecuencia. Depende lo que se desea evaluar y el periodo de retorno de la estructura a construir, y también la manera de generar el hietograma de bloque alterno, para los diferentes periodos de retorno desde  $T = 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500,$  y 1000 años, a continuación, me muestra la Tabla 10 de los hietogramas de bloque alterno, resaltándose el uso del hietograma de precipitación de diseño para un TR = 10 años para los canales de la ciudad de Antabamba.

**Tabla 12**

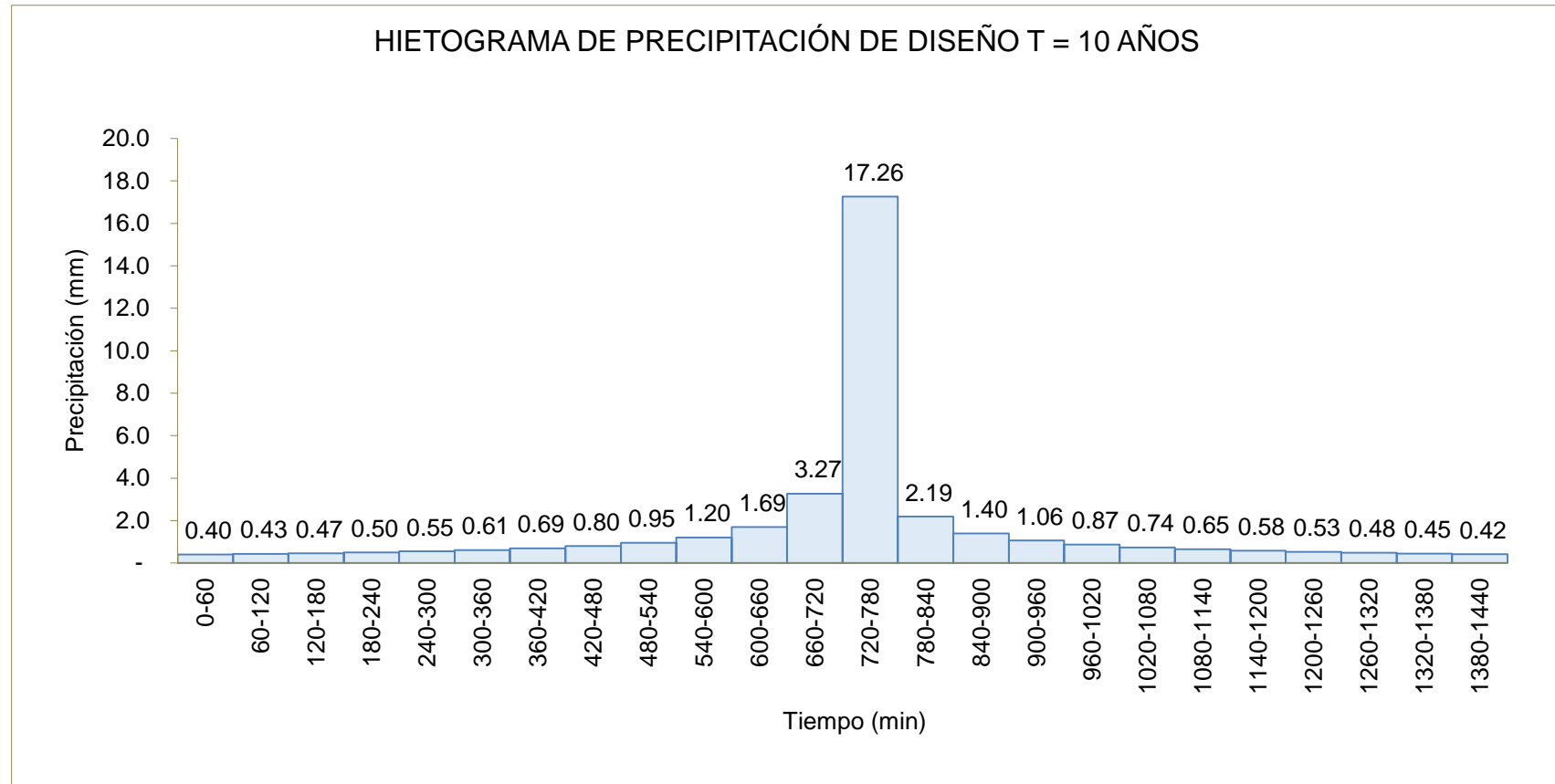
*Hietogramas de precipitación de diseño aplicando el Modelo de Dick - Peschke*

Duración (min)	Tr = 2 años	Tr = 5 años	Tr = 10 años	Tr = 25 años	Tr = 50 años	Tr = 100 años	Tr = 200 años	Tr = 500 años	Tr = 1000 años
60	0.33	0.37	0.40	0.45	0.49	0.53	0.58	0.65	0.70
120	0.36	0.40	0.43	0.48	0.52	0.57	0.62	0.69	0.75
180	0.38	0.43	0.47	0.52	0.56	0.61	0.67	0.75	0.81
240	0.42	0.46	0.50	0.56	0.61	0.67	0.72	0.81	0.88
300	0.46	0.51	0.55	0.62	0.67	0.73	0.79	0.89	0.96
360	0.50	0.56	0.61	0.68	0.74	0.81	0.88	0.98	1.07
420	0.57	0.64	0.69	0.77	0.84	0.91	0.99	1.11	1.20
480	0.66	0.73	0.80	0.89	0.97	1.05	1.14	1.28	1.39
540	0.79	0.88	0.95	1.06	1.16	1.26	1.37	1.53	1.66
600	0.99	1.11	1.20	1.34	1.46	1.59	1.73	1.93	2.10
660	1.40	1.56	1.69	1.89	2.06	2.24	2.43	2.71	2.95
720	2.69	3.00	3.27	3.65	3.97	4.31	4.69	5.23	5.69
780	<b>14.22</b>	<b>15.88</b>	<b>17.26</b>	<b>19.28</b>	<b>20.96</b>	<b>22.78</b>	<b>24.77</b>	<b>27.66</b>	<b>30.07</b>
840	1.80	2.01	2.19	2.45	2.66	2.89	3.14	3.51	3.81
900	1.15	1.29	1.40	1.56	1.70	1.85	2.01	2.24	2.44
960	0.87	0.98	1.06	1.19	1.29	1.40	1.52	1.70	1.85
1020	0.71	0.80	0.87	0.97	1.05	1.14	1.24	1.39	1.51
1080	0.61	0.68	0.74	0.83	0.90	0.98	1.06	1.19	1.29
1140	0.53	0.60	0.65	0.73	0.79	0.86	0.93	1.04	1.13
1200	0.48	0.53	0.58	0.65	0.71	0.77	0.83	0.93	1.01
1260	0.43	0.48	0.53	0.59	0.64	0.70	0.76	0.84	0.92
1320	0.40	0.45	0.48	0.54	0.59	0.64	0.69	0.78	0.84
1380	0.37	0.41	0.45	0.50	0.54	0.59	0.64	0.72	0.78
1440	0.34	0.38	0.42	0.47	0.51	0.55	0.60	0.67	0.73

*Nota.* La tabla detalla los valores de hietogramas de precipitación de diseño en duraciones desde los 60 min hasta los 1440 min.

**Figura 7**

Gráfica de hietograma de precipitación de diseño para  $T = 10$  años



Nota. La figura muestra los valores del hietograma de precipitación de diseño para un periodo de retorno de 10 años.

**Tabla 13**

*Datos de salida del caudal de diseño en las 21 calles de la ciudad de Antabamba usando el modelo SWMM del software RSMINERVE para Coeficiente de Strickler (K = 33)*

Nombre de la Calle	Lado	Longitud (m)	Área (ha) (Considerando calles y techos)	Área (m2) (Consid erando calles y techos)	Pendiente Longitudinal (Crítica)	Nodo	coeficiente de Strickler	coeficiente de Manning	Caudal Total Qt (m3/s) - Resultados del RS MINERVE	Qmáx
<b>CALLE SUCRE</b>										
CALLE SUCRE - C1	LD	55.85	0.040	400.00	0.1540	J1_SU_LD	33	0.03	0.005	0.445
	LI	55.85	0.040	400.00	0.1540	J1_SU_LI	33	0.03	0.445	
CALLE SUCRE - C2	LD	68.65	0.054	540.00	0.0670	J2_SU_LD	33	0.03	0.004	
	LI	68.65	0.054	540.00	0.0670	J2_SU_LI	33	0.03	0.438	
CALLE SUCRE - C3	LD	41.62	0.032	320.00	0.0680	J3_SU_LD	33	0.03	0.001	
	LI	41.62	0.032	320.00	0.0680	J3_SU_LI	33	0.03	0.428	
CALLE SUCRE - C4	LD	109.60	0.095	950.00	0.05130	J4_SU_LD	33	0.03	0.017	
	LI	109.60	0.095	950.00	0.05130	J4_SU_LI	33	0.03	0.313	
CALLE SUCRE - C5	LD	113.24	0.051	510.00	0.0784	J5_SU_LD	33	0.03	0.014	
	LI	113.24	0.051	510.00	0.0784	J5_SU_LI	33	0.03	0.119	
CALLE SUCRE - C6	LD	113.90	0.051	510.00	0.0410	J6_SU_LD	33	0.03	0.012	
	LI	113.90	0.051	510.00	0.0410	J6_SU_LI	33	0.03	0.054	
CALLE SUCRE - C7	LD	134.20	0.054	540.00	0.0324	J7_SU_LD	33	0.03	0.011	
	LI	134.20	0.054	540.00	0.0324	J7_SU_LI	33	0.03	0.011	
<b>CALLE MARISCAL CASTILLA</b>										
CALLE MARISCAL CASTILLA - C1	LD	60.00	0.033	330.00	0.0187	J1_MC_LD	33	0.03	0.005	0.270
	LI	60.00	0.033	330.00	0.0187	J1_MC_LI	33	0.03	0.015	
CALLE MARISCAL CASTILLA - C2	LD	65.37	0.032	320.00	0.0378	J2_MC_LD	33	0.03	0.004	
	LI	65.37	0.032	320.00	0.0378	J2_MC_LI	33	0.03	0.006	
CALLE MARISCAL CASTILLA - C3	LD	52.10	0.028	280.00	0.0648	J3_MC_LD	33	0.03	0.002	
	LI	52.10	0.028	280.00	0.0648	J3_MC_LI	33	0.03	0.001	
CALLE MARISCAL CASTILLA - C4	LD	107.66	0.047	470.00	0.05185	J4_MC_LD	33	0.03	0.270	
	LI	107.66	0.047	470.00	0.05185	J4_MC_LI	33	0.03	0.048	
CALLE MARISCAL CASTILLA - C5	LD	112.70	0.044	440.00	0.0644	J5_MC_LD	33	0.03	0.046	
	LI	112.70	0.044	440.00	0.0644	J5_MC_LI	33	0.03	0.046	

<b>CALLE BOLIVAR</b>										
CALLE BOLIVAR - C1	LD	82.71	0.056	560.00	0.0625	J1_BO_LD	33	0.03	0.002	
	LI	82.71	0.056	560.00	0.0625	J1_BO_LI	33	0.03	0.002	
CALLE BOLIVAR - C2 T1	LD	219.80	0.1120	1120.00	0.03550	J2_BO_LD	33	0.03	0.008	
	LI	219.80	0.1120	1120.00	0.03550	J2_BO_LI	33	0.03	0.492	
CALLE BOLIVAR - C3	LD	56.52	0.025	250.00	0.1396	J3_BO_LD	33	0.03	0.003	
	LI	56.52	0.025	250.00	0.1396	J3_BO_LI	33	0.03	0.225	
CALLE BOLIVAR - C4	LD	41.50	0.022	220.00	0.0974	J4_BO_LD	33	0.03	0.003	
	LI	41.50	0.022	220.00	0.0974	J4_BO_LI	33	0.03	0.217	
CALLE BOLIVAR - C5	LD	72.88	0.0548	548.00	0.0651	J5_BO_LD	33	0.03	0.002	0.492
	LI	72.88	0.0548	548.00	0.0651	J5_BO_LI	33	0.03	0.193	
CALLE BOLIVAR - C6	LD	114.30	0.0968	968.00	0.0446	J6_BO_LD	33	0.03	0.051	
	LI	114.30	0.0968	968.00	0.0446	J6_BO_LI	33	0.03	0.125	
CALLE BOLIVAR - C7	LD	116.80	0.045	450.00	0.0280	J7_BO_LD	33	0.03	0.048	
	LI	116.80	0.045	450.00	0.0280	J7_BO_LI	33	0.03	0.002	
CALLE BOLIVAR - C8	LD	113.95	0.058	580.00	0.05385	J8_BO_LD	33	0.03	0.002	
	LI	113.95	0.058	580.00	0.05385	J8_BO_LI	33	0.03	0.008	
CALLE BOLIVAR - C9	LD	128.40	0.058	580.00	0.0266	J9_BO_LD	33	0.03	0.016	
	LI	128.40	0.058	580.00	0.0266	J9_BO_LI	33	0.03	0.006	
<b>CALLE APURIMAC</b>										
CALLE APURIMAC - C1	LD	51.40	0.020	200.00	0.0331	J1_AP_LD	33	0.03	0.004	
	LI	51.40	0.020	200.00	0.0331	J1_AP_LI	33	0.03	0.257	
CALLE APURIMAC - C2	LD	63.50	0.070	700.00	0.0722	J2_AP_LD	33	0.03	0.003	
	LI	63.50	0.070	700.00	0.0722	J2_AP_LI	33	0.03	0.255	
CALLE APURIMAC - C3	LD	92.97	0.075	750.00	0.0342	J3_AP_LD	33	0.03	0.017	
	LI	92.97	0.075	750.00	0.0342	J3_AP_LI	33	0.03	0.248	
CALLE APURIMAC - C4	LD	59.98	0.035	350.00	0.0710	J4_AP_LD	33	0.03	0.015	
	LI	59.98	0.035	350.00	0.0710	J4_AP_LI	33	0.03	0.182	
CALLE APURIMAC - C5	LD	35.10	0.022	220.00	0.0710	J5_AP_LD	33	0.03	0.014	0.257
	LI	35.10	0.022	220.00	0.0710	J5_AP_LI	33	0.03	0.108	
CALLE APURIMAC - C6	LD	111.70	0.087	870.00	0.0802	J6_AP_LD	33	0.03	0.013	
	LI	111.70	0.087	870.00	0.0802	J6_AP_LI	33	0.03	0.042	
CALLE APURIMAC - C7	LD	109.60	0.087	870.00	0.0167	J7_AP_LD	33	0.03	0.010	
	LI	109.60	0.087	870.00	0.0167	J7_AP_LI	33	0.03	0.019	
CALLE APURIMAC - C8	LD	150.00	0.082	820.00	0.0248	J8_AP_LD	33	0.03	0.007	
	LI	150.00	0.082	820.00	0.0248	J8_AP_LI	33	0.03	0.009	
CALLE APURIMAC - C9	LD	111.00	0.083	830.00	0.0367	J9_AP_LD	33	0.03	0.002	
	LI	111.00	0.083	830.00	0.0367	J9_AP_LI	33	0.03	0.002	
<b>CALLE LOS ARRIEROS</b>										
	LD	77.42	0.0625	625.00	0.0502	J1_AR_LD	33	0.03	0.021	0.051

CALLE LOS ARRIEROS - C1	LI	77.42	0.0625	625.00	0.0502	J1_AR_LI	33	0.03	0.051	
CALLE LOS ARRIEROS - C2	LD	110.00	0.057	570.00	0.0402	J2_AR_LD	33	0.03	0.019	
	LI	110.00	0.057	570.00	0.0402	J2_AR_LI	33	0.03	0.021	
CALLE LOS ARRIEROS - C3	LD	105.16	0.055	550.00	0.0162	J3_AR_LD	33	0.03	0.002	
	LI	105.16	0.055	550.00	0.0162	J3_AR_LI	33	0.03	0.004	
<b>CALLE CALVARIO</b>										
CALLE CALVARIO - C1	LD	89.00	0.044	440.00	0.0100	J1_CAL_LD	33	0.03	0.633	
	LI	89.00	0.044	440.00	0.0100	J1_CAL_LI	33	0.03	0.636	
CALLE CALVARIO - C2	LD	62.14	0.0338	338.00	0.0200	J2_CAL_LD	33	0.03	0.314	
	LI	62.14	0.0338	338.00	0.0200	J2_CAL_LI	33	0.03	0.001	
CALLE CALVARIO - C3	LD	61.59	0.0266	266.00	0.0300	J3_CAL_LD	33	0.03	0.019	
	LI	61.59	0.0266	266.00	0.0300	J3_CAL_LI	33	0.03	0.098	
CALLE CALVARIO - C4	LD	62.44	0.0213	213.00	0.0400	J4_CAL_LD	33	0.03	0.048	
	LI	62.44	0.0213	213.00	0.0400	J4_CAL_LI	33	0.03	0.017	
CALLE CALVARIO - C5	LD	62.70	0.0337	337.00	0.0500	J5_CAL_LD	33	0.03	0.047	0.636
	LI	62.70	0.0337	337.00	0.0500	J5_CAL_LI	33	0.03	0.017	
CALLE CALVARIO - C6	LD	121.97	0.0484	484.00	0.0700	J6_CAL_LD	33	0.03	0.006	
	LI	121.97	0.0484	484.00	0.0700	J6_CAL_LI	33	0.03	0.058	
CALLE CALVARIO - C7	LD	101.30	0.046	460.00	0.0882	J7_CAL_LD	33	0.03	0.005	
	LI	101.30	0.046	460.00	0.0882	J7_CAL_LI	33	0.03	0.012	
CALLE CALVARIO - C8	LD	93.30	0.039	390.00	0.0723	J8_CAL_LD	33	0.03	0.003	
	LI	93.30	0.039	390.00	0.0723	J8_CAL_LI	33	0.03	0.003	
CALLE CALVARIO - C9	LD	70.00	0.027	270.00	0.0418	J9_CAL_LD	33	0.03	0.001	
	LI	70.00	0.027	270.00	0.0418	J9_CAL_LI	33	0.03	0.001	
<b>CALLE SANTIAGO</b>										
CALLE SANTIAGO - C1	LD	100.00	0.039	390.00	0.0415	J1_SAN_LD	33	0.03	0.005	
	LI	100.00	0.039	390.00	0.0415	J1_SAN_LI	33	0.03	0.018	
CALLE SANTIAGO - C2	LD	92.93	0.039	390.00	0.0835	J2_SAN_LD	33	0.03	0.003	0.018
	LI	92.93	0.039	390.00	0.0835	J2_SAN_LI	33	0.03	0.006	
CALLE SANTIAGO - C3	LD	106.22	0.045	450.00	0.0306	J3_SAN_LD	33	0.03	0.001	
	LI	106.22	0.045	450.00	0.0306	J3_SAN_LI	33	0.03	0.001	
<b>CALLE 4</b>										
CALLE 4 - C1	LD	43.00	0.067	670.00	0.0187	J1_C4_LD	33	0.03	0.003	
	LI	43.00	0.067	670.00	0.0187	J1_C4_LI	33	0.03	0.003	0.006
CALLE 4 - C2	LD	50.00	0.029	290.00	0.0382	J2_C4_LD	33	0.03	0.001	
	LI	50.00	0.029	290.00	0.0382	J2_C4_LI	33	0.03	0.006	
<b>CALLE RENOVACION</b>										
CALLE RENOVACION - C1	LD	62.08	0.041	406.00	0.0200	J1_RE_LD	33	0.03	0.007	0.019
	LI	62.08	0.041	406.00	0.0200	J1_RE_LI	33	0.03	0.002	

CALLE RENOVACION - C2	LD	168.79	0.183	1827.00	0.0522	J2_RE_LD	33	0.03	0.019	
	LI	168.79	0.183	1827.00	0.0522	J2_RE_LI	33	0.03	0.007	
CALLE RENOVACION - C3	LD	130.00	0.050	500.00	0.1090	J3_RE_LD	33	0.03	0.002	
	LI	130.00	0.050	500.00	0.1090	J3_RE_LI	33	0.03	0.003	
CALLE RENOVACION - C4	LD	118.00	0.040	400.00	0.1430	J4_RE_LD	33	0.03	0.002	
	LI	118.00	0.040	400.00	0.1430	J4_RE_LI	33	0.03	0.002	
<b>CALLE JUAN ESPINOZA MEDRANO</b>										
CALLE JUAN ESPINOZA MEDRANO - C1	LD	130.00	0.095	950.00	0.0455	J1_JEM_LD	33	0.03	0.008	
	LI	130.00	0.095	950.00	0.0455	J1_JEM_LI	33	0.03	0.021	0.021
CALLE JUAN ESPINOZA MEDRANO - C2	LD	32.50	0.016	160.00	0.0329	J2_JEM_LD	33	0.03	0.001	
	LI	32.50	0.016	160.00	0.0329	J2_JEM_LI	33	0.03	0.001	
<b>CALLE 2</b>										
CALLE 2 - C1	LD	56.00	0.053	530.00	0.055	J1_C2_LD	33	0.03	0.009	
	LI	56.00	0.053	530.00	0.055	J1_C2_LI	33	0.03	0.009	
CALLE 2 - C2	LD	74.00	0.066	660.00	0.245	J2_C2_LD	33	0.03	0.007	
	LI	74.00	0.066	660.00	0.245	J2_C2_LI	33	0.03	0.004	0.009
CALLE 2 - C3	LD	61.50	0.037	370.00	0.261	J3_C2_LD	33	0.03	0.002	
	LI	61.50	0.037	370.00	0.261	J3_C2_LI	33	0.03	0.002	
<b>CALLE CENTENARIO</b>										
CALLE CENTENARIO - C1	LD	55.00	0.031	310.00	0.1946	J1_CEN_LD	33	0.03	0.017	
	LI	55.00	0.031	310.00	0.1946	J1_CEN_LI	33	0.03	0.025	
CALLE CENTENARIO - C2	LD	61.00	0.034	340.00	0.1907	J2_CEN_LD	33	0.03	0.008	
	LI	61.00	0.034	340.00	0.1907	J2_CEN_LI	33	0.03	0.008	0.025
CALLE CENTENARIO - C3	LD	49.28	0.029	290.00	0.1920	J3_CEN_LD	33	0.03	0.004	
	LI	49.28	0.029	290.00	0.1920	J3_CEN_LI	33	0.03	0.004	
CALLE CENTENARIO - C4	LD	57.10	0.034	340.00	0.1623	J4_CEN_LD	33	0.03	0.002	
	LI	57.10	0.034	340.00	0.1623	J4_CEN_LI	33	0.03	0.002	
<b>CALLE HUANCA</b>										
CALLE HUANCA - C1	LD	60.00	0.031	310.00	0.1175	J1_HUANC_LD	33	0.03	0.045	
	LI	60.00	0.031	310.00	0.1175	J1_HUANC_LI	33	0.03	0.045	
CALLE HUANCA - C2	LD	52.40	0.022	220.00	0.1147	J2_HUANC_LD	33	0.03	0.031	
	LI	52.40	0.022	220.00	0.1147	J2_HUANC_LI	33	0.03	0.031	
CALLE HUANCA - C3	LD	68.24	0.039	390.00	0.2487	J3_HUANC_LD	33	0.03	0.021	
	LI	68.24	0.039	390.00	0.2487	J3_HUANC_LI	33	0.03	0.021	0.045
CALLE HUANCA - C4	LD	44.70	0.023	230.00	0.2479	J4_HUANC_LD	33	0.03	0.010	
	LI	44.70	0.023	230.00	0.2479	J4_HUANC_LI	33	0.03	0.010	
CALLE HUANCA - C5	LD	54.30	0.026	260.00	0.1292	J5_HUANC_LD	33	0.03	0.007	
	LI	54.30	0.026	260.00	0.1292	J5_HUANC_LI	33	0.03	0.007	
CALLE HUANCA - C6	LD	55.70	0.025	250.00	0.1081	J6_HUANC_LD	33	0.03	0.004	
	LI	55.70	0.025	250.00	0.1081	J6_HUANC_LI	33	0.03	0.004	

CALLE HUANCA - C7	LD	63.61	0.033	330.00	0.0480	J7_HUANC_LD	33	0.03	0.001	
	LI	63.61	0.033	330.00	0.0480	J7_HUANC_LI	33	0.03	0.001	
<b>CALLE UTUPARA</b>										
CALLE UTUPARA - C1	LD	56.00	0.031	310.00	0.1637	J1_UTU_LD	33	0.03	0.064	
	LI	56.00	0.031	310.00	0.1637	J1_UTU_LI	33	0.03	0.158	
CALLE UTUPARA - C2	LD	55.00	0.026	260.00	0.1087	J2_UTU_LD	33	0.03	0.049	
	LI	55.00	0.026	260.00	0.1087	J2_UTU_LI	33	0.03	0.143	
CALLE UTUPARA - C3	LD	84.77	0.051	508.00	0.1839	J3_UTU_LD	33	0.03	0.046	
	LI	84.77	0.051	508.00	0.1839	J3_UTU_LI	33	0.03	0.094	
CALLE UTUPARA - C4	LD	35.34	0.016	163.00	0.1937	J4_UTU_LD	33	0.03	0.032	0.158
	LI	35.34	0.016	163.00	0.1937	J4_UTU_LI	33	0.03	0.032	
CALLE UTUPARA - C5	LD	60.59	0.030	303.00	0.1453	J5_UTU_LD	33	0.03	0.014	
	LI	60.59	0.030	303.00	0.1453	J5_UTU_LI	33	0.03	0.014	
CALLE UTUPARA - C6	LD	57.00	0.039	390.00	0.0670	J6_UTU_LD	33	0.03	0.008	
	LI	57.00	0.039	390.00	0.0670	J6_UTU_LI	33	0.03	0.028	
CALLE UTUPARA - C7	LD	107.00	0.081	810.00	0.1762	J7_UTU_LD	33	0.03	0.003	
	LI	107.00	0.081	810.00	0.1762	J7_UTU_LI	33	0.03	0.003	
<b>CALLE HIPOLITO HUNANUE</b>										
CALLE HIPOLITO HUNANUE - C1	LD	74.90	0.039	390.00	0.1162	J1_HIHU_LD	33	0.03	0.006	
	LI	74.90	0.039	390.00	0.1162	J1_HIHU_LI	33	0.03	0.009	0.009
CALLE HIPOLITO HUNANUE - C2	LD	50.13	0.025	250.00	0.1403	J2_HIHU_LD	33	0.03	0.002	
	LI	50.13	0.025	250.00	0.1403	J2_HIHU_LI	33	0.03	0.001	
<b>CALLE LEGUIA</b>										
CALLE LEGUIA - C1	LD	43.20	0.035	350.00	0.2214	J1_LEG_LD	33	0.03	0.023	
	LI	43.20	0.035	350.00	0.2214	J1_LEG_LI	33	0.03	0.524	
CALLE LEGUIA - C2	LD	36.90	0.026	260.00	0.2084	J2_LEG_LD	33	0.03	0.008	
	LI	36.90	0.026	260.00	0.2084	J2_LEG_LI	33	0.03	0.018	
CALLE LEGUIA - C3	LD	56.21	0.028	280.00	0.1268	J3_LEG_LD	33	0.03	0.014	
	LI	56.21	0.028	280.00	0.1268	J3_LEG_LI	33	0.03	0.008	0.524
CALLE LEGUIA - C4	LD	97.90	0.062	620.00	0.0522	J4_LEG_LD	33	0.03	0.010	
	LI	97.90	0.062	620.00	0.0522	J4_LEG_LI	33	0.03	0.007	
CALLE LEGUIA - C5	LD	74.60	0.072	720.00	0.0993	J5_LEG_LD	33	0.03	0.008	
	LI	74.60	0.072	720.00	0.0993	J5_LEG_LI	33	0.03	0.005	
CALLE LEGUIA - C6	LD	80.27	0.040	400.00	0.1862	J6_LEG_LD	33	0.03	0.002	
	LI	80.27	0.040	400.00	0.1862	J6_LEG_LI	33	0.03	0.002	
<b>CALLE LOS AMAUTAS</b>										
CALLE LOS AMAUTAS - C1	LD	61.00	0.034	340.00	0.2313	J1_AMAU_LD	33	0.03	0.269	
	LI	61.00	0.034	340.00	0.2313	J1_AMAU_LI	33	0.03	0.490	0.490
CALLE LOS AMAUTAS - C2	LD	53.00	0.022	220.00	0.0799	J2_AMAU_LD	33	0.03	0.019	
	LI	53.00	0.022	220.00	0.0799	J2_AMAU_LI	33	0.03	0.268	

CALLE LOS AMAUTAS - C3	LD	101.00	0.063	630.00	0.0603	J3_AMAU_LD	33	0.03	0.267	
	LI	101.00	0.063	630.00	0.0603	J3_AMAU_LI	33	0.03	0.015	
CALLE LOS AMAUTAS - C4	LD	63.00	0.043	430.00	0.1125	J4_AMAU_LD	33	0.03	0.259	
	LI	63.00	0.043	430.00	0.1125	J4_AMAU_LI	33	0.03	0.006	
<b>CALLE N°3</b>										
CALLE N°3 - C1	LD	70.00	0.032	320.00	0.2157	J1_C3_LD	33	0.03	0.503	
	LI	70.00	0.032	320.00	0.2157	J1_C3_LI	33	0.03	0.510	
CALLE N°3 - C2	LD	51.33	0.029	290.00	0.2062	J2_C3_LD	33	0.03	0.001	0.510
	LI	51.33	0.029	290.00	0.2062	J2_C3_LI	33	0.03	0.001	
<b>CALLE 1</b>										
CALLE N°1 - C1	LD	103.00	0.040	400.00	0.1215	J1_C1_LD	33	0.03	0.004	
	LI	103.00	0.040	400.00	0.1215	J1_C1_LI	33	0.03	0.799	
CALLE N°1 - C2	LD	59.00	0.034	340.00	0.0675	J2_C1_LD	33	0.03	0.002	0.799
	LI	59.00	0.034	340.00	0.0675	J2_C1_LI	33	0.03	0.002	
<b>CALLE 5</b>										
CALLE N° 5 - C1	LD	35.00	0.013	130.00	0.01	J1_C5_LD	33	0.03	0.015	
	LI	35.00	0.013	130.00	0.01	J1_C5_LI	33	0.03	0.015	
CALLE N° 5 - C2	LD	40.00	0.013	130.00	0.01	J2_C5_LD	33	0.03	0.015	0.015
	LI	40.00	0.013	130.00	0.01	J2_C5_LI	33	0.03	0.015	
<b>CALLE NUEVA</b>										
CALLE NUEVA C1	LD	60.00	0.029	290.00	0.01	J1_CN_LD	33	0.03	0.015	
	LI	60.00	0.029	290.00	0.01	J1_CN_LI	33	0.03	0.015	
CALLE NUEVA C2	LD	27.00	0.010	100.00	0.01	J2_CN_LD	33	0.03	0.014	0.015
	LI	27.00	0.010	100.00	0.01	J2_CN_LI	33	0.03	0.014	

*Nota.* La tabla muestra los valores de salida del caudal de diseño en las 21 calles de la ciudad de Antabamba usando el modelo SWMM del software RSMINERVE para Coeficiente de Strickler ( $K = 33$ ), para un periodo de retorno de 10 años.

**Tabla 14**

*Datos de salida del caudal de diseño en las 21 calles de la ciudad de Antabamba usando el modelo SWMM del software RSMINERVE para Coeficiente de Strickler (K = 67)*

Nombre de la Calle	Lado	Longitud (m)	Área (ha) (Considerando calles y techos)	Área (m2) (Consid erando calles y techos)	Pendiente Longitudinal (Crítica)	Nodo	coeficiente de Strickler	coeficiente de Manning	Caudal Total Qt (m3/s) - Resultados del RS MINERVE	Qmáx
<b>CALLE SUCRE</b>										
CALLE SUCRE - C1	LD	55.85	0.040	400.00	0.1540	J1_SU_LD	67	0.015	0.003	0.437
	LI	55.85	0.040	400.00	0.1540	J1_SU_LI	67	0.015	0.437	
CALLE SUCRE - C2	LD	68.65	0.054	540.00	0.0670	J2_SU_LD	67	0.015	0.002	
	LI	68.65	0.054	540.00	0.0670	J2_SU_LI	67	0.015	0.430	
CALLE SUCRE - C3	LD	41.62	0.032	320.00	0.0680	J3_SU_LD	67	0.015	0.002	
	LI	41.62	0.032	320.00	0.0680	J3_SU_LI	67	0.015	0.419	
CALLE SUCRE - C4	LD	109.60	0.095	950.00	0.05130	J4_SU_LD	67	0.015	0.298	
	LI	109.60	0.095	950.00	0.05130	J4_SU_LI	67	0.015	0.017	
CALLE SUCRE - C5	LD	113.24	0.051	510.00	0.0784	J5_SU_LD	67	0.015	0.013	
	LI	113.24	0.051	510.00	0.0784	J5_SU_LI	67	0.015	0.102	
CALLE SUCRE - C6	LD	113.90	0.051	510.00	0.0410	J6_SU_LD	67	0.015	0.011	
	LI	113.90	0.051	510.00	0.0410	J6_SU_LI	67	0.015	0.046	
CALLE SUCRE - C7	LD	134.20	0.054	540.00	0.0324	J7_SU_LD	67	0.015	0.009	
	LI	134.20	0.054	540.00	0.0324	J7_SU_LI	67	0.015	0.009	
<b>CALLE MARISCAL CASTILLA</b>										
CALLE MARISCAL CASTILLA - C1	LD	60.00	0.033	330.00	0.0187	J1_MC_LD	67	0.015	0.003	0.260
	LI	60.00	0.033	330.00	0.0187	J1_MC_LI	67	0.015	0.011	
CALLE MARISCAL CASTILLA - C2	LD	65.37	0.032	320.00	0.0378	J2_MC_LD	67	0.015	0.003	
	LI	65.37	0.032	320.00	0.0378	J2_MC_LI	67	0.015	0.004	
CALLE MARISCAL CASTILLA - C3	LD	52.10	0.028	280.00	0.0648	J3_MC_LD	67	0.015	0.003	
	LI	52.10	0.028	280.00	0.0648	J3_MC_LI	67	0.015	0.001	
CALLE MARISCAL CASTILLA - C4	LD	107.66	0.047	470.00	0.05185	J4_MC_LD	67	0.015	0.043	
	LI	107.66	0.047	470.00	0.05185	J4_MC_LI	67	0.015	0.260	
CALLE MARISCAL CASTILLA - C5	LD	112.70	0.044	440.00	0.0644	J5_MC_LD	67	0.015	0.041	
	LI	112.70	0.044	440.00	0.0644	J5_MC_LI	67	0.015	0.039	

<b>CALLE BOLIVAR</b>										
CALLE BOLIVAR - C1	LD	82.71	0.056	560.00	0.0625	J1_BO_LD	67	0.015	0.002	
	LI	82.71	0.056	560.00	0.0625	J1_BO_LI	67	0.015	0.002	
CALLE BOLIVAR - C2 T1	LD	219.80	0.1120	1120.00	0.03550	J2_BO_LD	67	0.015	0.006	
	LI	219.80	0.1120	1120.00	0.03550	J2_BO_LI	67	0.015	0.491	
CALLE BOLIVAR - C3	LD	56.52	0.025	250.00	0.1396	J3_BO_LD	67	0.015	0.002	
	LI	56.52	0.025	250.00	0.1396	J3_BO_LI	67	0.015	0.234	
CALLE BOLIVAR - C4	LD	41.50	0.022	220.00	0.0974	J4_BO_LD	67	0.015	0.002	
	LI	41.50	0.022	220.00	0.0974	J4_BO_LI	67	0.015	0.227	
CALLE BOLIVAR - C5	LD	72.88	0.0548	548.00	0.0651	J5_BO_LD	67	0.015	0.002	0.491
	LI	72.88	0.0548	548.00	0.0651	J5_BO_LI	67	0.015	0.199	
CALLE BOLIVAR - C6	LD	114.30	0.0968	968.00	0.0446	J6_BO_LD	67	0.015	0.052	
	LI	114.30	0.0968	968.00	0.0446	J6_BO_LI	67	0.015	0.130	
CALLE BOLIVAR - C7	LD	116.80	0.045	450.00	0.0280	J7_BO_LD	67	0.015	0.048	
	LI	116.80	0.045	450.00	0.0280	J7_BO_LI	67	0.015	0.002	
CALLE BOLIVAR - C8	LD	113.95	0.058	580.00	0.05385	J8_BO_LD	67	0.015	0.002	
	LI	113.95	0.058	580.00	0.05385	J8_BO_LI	67	0.015	0.005	
CALLE BOLIVAR - C9	LD	128.40	0.058	580.00	0.0266	J9_BO_LD	67	0.015	0.014	
	LI	128.40	0.058	580.00	0.0266	J9_BO_LI	67	0.015	0.005	
<b>CALLE APURIMAC</b>										
CALLE APURIMAC - C1	LD	51.40	0.020	200.00	0.0331	J1_AP_LD	67	0.015	0.004	
	LI	51.40	0.020	200.00	0.0331	J1_AP_LI	67	0.015	0.245	
CALLE APURIMAC - C2	LD	63.50	0.070	700.00	0.0722	J2_AP_LD	67	0.015	0.003	
	LI	63.50	0.070	700.00	0.0722	J2_AP_LI	67	0.015	0.243	
CALLE APURIMAC - C3	LD	92.97	0.075	750.00	0.0342	J3_AP_LD	67	0.015	0.019	
	LI	92.97	0.075	750.00	0.0342	J3_AP_LI	67	0.015	0.236	
CALLE APURIMAC - C4	LD	59.98	0.035	350.00	0.0710	J4_AP_LD	67	0.015	0.015	
	LI	59.98	0.035	350.00	0.0710	J4_AP_LI	67	0.015	0.168	
CALLE APURIMAC - C5	LD	35.10	0.022	220.00	0.0710	J5_AP_LD	67	0.015	0.014	0.245
	LI	35.10	0.022	220.00	0.0710	J5_AP_LI	67	0.015	0.099	
CALLE APURIMAC - C6	LD	111.70	0.087	870.00	0.0802	J6_AP_LD	67	0.015	0.014	
	LI	111.70	0.087	870.00	0.0802	J6_AP_LI	67	0.015	0.038	
CALLE APURIMAC - C7	LD	109.60	0.087	870.00	0.0167	J7_AP_LD	67	0.015	0.010	
	LI	109.60	0.087	870.00	0.0167	J7_AP_LI	67	0.015	0.016	
CALLE APURIMAC - C8	LD	150.00	0.082	820.00	0.0248	J8_AP_LD	67	0.015	0.008	
	LI	150.00	0.082	820.00	0.0248	J8_AP_LI	67	0.015	0.010	
CALLE APURIMAC - C9	LD	111.00	0.083	830.00	0.0367	J9_AP_LD	67	0.015	0.003	
	LI	111.00	0.083	830.00	0.0367	J9_AP_LI	67	0.015	0.003	
<b>CALLE LOS ARRIEROS</b>										
	LD	77.42	0.0625	625.00	0.0502	J1_AR_LD	67	0.015	0.020	0.047

CALLE LOS ARRIEROS - C1	LI	77.42	0.0625	625.00	0.0502	J1_AR_LI	67	0.015	0.047	
CALLE LOS ARRIEROS - C2	LD	110.00	0.057	570.00	0.0402	J2_AR_LD	67	0.015	0.018	
	LI	110.00	0.057	570.00	0.0402	J2_AR_LI	67	0.015	0.019	
CALLE LOS ARRIEROS - C3	LD	105.16	0.055	550.00	0.0162	J3_AR_LD	67	0.015	0.002	
	LI	105.16	0.055	550.00	0.0162	J3_AR_LI	67	0.015	0.003	
<b>CALLE CALVARIO</b>										
CALLE CALVARIO - C1	LD	89.00	0.044	440.00	0.0100	J1_CAL_LD	67	0.015	0.603	
	LI	89.00	0.044	440.00	0.0100	J1_CAL_LI	67	0.015	0.607	
CALLE CALVARIO - C2	LD	62.14	0.0338	338.00	0.0200	J2_CAL_LD	67	0.015	0.299	
	LI	62.14	0.0338	338.00	0.0200	J2_CAL_LI	67	0.015	0.001	
CALLE CALVARIO - C3	LD	61.59	0.0266	266.00	0.0300	J3_CAL_LD	67	0.015	0.019	
	LI	61.59	0.0266	266.00	0.0300	J3_CAL_LI	67	0.015	0.102	
CALLE CALVARIO - C4	LD	62.44	0.0213	213.00	0.0400	J4_CAL_LD	67	0.015	0.049	
	LI	62.44	0.0213	213.00	0.0400	J4_CAL_LI	67	0.015	0.018	
CALLE CALVARIO - C5	LD	62.70	0.0337	337.00	0.0500	J5_CAL_LD	67	0.015	0.048	0.607
	LI	62.70	0.0337	337.00	0.0500	J5_CAL_LI	67	0.015	0.017	
CALLE CALVARIO - C6	LD	121.97	0.0484	484.00	0.0700	J6_CAL_LD	67	0.015	0.007	
	LI	121.97	0.0484	484.00	0.0700	J6_CAL_LI	67	0.015	0.060	
CALLE CALVARIO - C7	LD	101.30	0.046	460.00	0.0882	J7_CAL_LD	67	0.015	0.005	
	LI	101.30	0.046	460.00	0.0882	J7_CAL_LI	67	0.015	0.011	
CALLE CALVARIO - C8	LD	93.30	0.039	390.00	0.0723	J8_CAL_LD	67	0.015	0.003	
	LI	93.30	0.039	390.00	0.0723	J8_CAL_LI	67	0.015	0.003	
CALLE CALVARIO - C9	LD	70.00	0.027	270.00	0.0418	J9_CAL_LD	67	0.015	0.001	
	LI	70.00	0.027	270.00	0.0418	J9_CAL_LI	67	0.015	0.001	
<b>CALLE SANTIAGO</b>										
CALLE SANTIAGO - C1	LD	100.00	0.039	390.00	0.0415	J1_SAN_LD	67	0.015	0.005	
	LI	100.00	0.039	390.00	0.0415	J1_SAN_LI	67	0.015	0.018	
CALLE SANTIAGO - C2	LD	92.93	0.039	390.00	0.0835	J2_SAN_LD	67	0.015	0.003	0.018
	LI	92.93	0.039	390.00	0.0835	J2_SAN_LI	67	0.015	0.006	
CALLE SANTIAGO - C3	LD	106.22	0.045	450.00	0.0306	J3_SAN_LD	67	0.015	0.002	
	LI	106.22	0.045	450.00	0.0306	J3_SAN_LI	67	0.015	0.002	
<b>CALLE 4</b>										
CALLE 4 - C1	LD	43.00	0.067	670.00	0.0187	J1_C4_LD	67	0.015	0.003	
	LI	43.00	0.067	670.00	0.0187	J1_C4_LI	67	0.015	0.003	0.006
CALLE 4 - C2	LD	50.00	0.029	290.00	0.0382	J2_C4_LD	67	0.015	0.001	
	LI	50.00	0.029	290.00	0.0382	J2_C4_LI	67	0.015	0.006	
<b>CALLE RENOVACION</b>										
CALLE RENOVACION - C1	LD	62.08	0.041	406.00	0.0200	J1_RE_LD	67	0.015	0.007	0.020
	LI	62.08	0.041	406.00	0.0200	J1_RE_LI	67	0.015	0.002	

CALLE RENOVACION - C2	LD	168.79	0.183	1827.00	0.0522	J2_RE_LD	67	0.015	0.020	
	LI	168.79	0.183	1827.00	0.0522	J2_RE_LI	67	0.015	0.007	
CALLE RENOVACION - C3	LD	130.00	0.050	500.00	0.1090	J3_RE_LD	67	0.015	0.002	
	LI	130.00	0.050	500.00	0.1090	J3_RE_LI	67	0.015	0.002	
CALLE RENOVACION - C4	LD	118.00	0.040	400.00	0.1430	J4_RE_LD	67	0.015	0.002	
	LI	118.00	0.040	400.00	0.1430	J4_RE_LI	67	0.015	0.002	
<b>CALLE JUAN ESPINOZA MEDRANO</b>										
CALLE JUAN ESPINOZA MEDRANO - C1	LD	130.00	0.095	950.00	0.0455	J1_JEM_LD	67	0.015	0.022	
	LI	130.00	0.095	950.00	0.0455	J1_JEM_LI	67	0.015	0.008	0.022
CALLE JUAN ESPINOZA MEDRANO - C2	LD	32.50	0.016	160.00	0.0329	J2_JEM_LD	67	0.015	0.001	
	LI	32.50	0.016	160.00	0.0329	J2_JEM_LI	67	0.015	0.001	
<b>CALLE 2</b>										
CALLE 2 - C1	LD	56.00	0.053	530.00	0.055	J1_C2_LD	67	0.015	0.007	
	LI	56.00	0.053	530.00	0.055	J1_C2_LI	67	0.015	0.007	
CALLE 2 - C2	LD	74.00	0.066	660.00	0.245	J2_C2_LD	67	0.015	0.005	0.007
	LI	74.00	0.066	660.00	0.245	J2_C2_LI	67	0.015	0.005	
CALLE 2 - C3	LD	61.50	0.037	370.00	0.261	J3_C2_LD	67	0.015	0.002	
	LI	61.50	0.037	370.00	0.261	J3_C2_LI	67	0.015	0.002	
<b>CALLE CENTENARIO</b>										
CALLE CENTENARIO - C1	LD	55.00	0.031	310.00	0.1946	J1_CEN_LD	67	0.015	0.014	
	LI	55.00	0.031	310.00	0.1946	J1_CEN_LI	67	0.015	0.023	
CALLE CENTENARIO - C2	LD	61.00	0.034	340.00	0.1907	J2_CEN_LD	67	0.015	0.009	
	LI	61.00	0.034	340.00	0.1907	J2_CEN_LI	67	0.015	0.009	0.023
CALLE CENTENARIO - C3	LD	49.28	0.029	290.00	0.1920	J3_CEN_LD	67	0.015	0.003	
	LI	49.28	0.029	290.00	0.1920	J3_CEN_LI	67	0.015	0.003	
CALLE CENTENARIO - C4	LD	57.10	0.034	340.00	0.1623	J4_CEN_LD	67	0.015	0.002	
	LI	57.10	0.034	340.00	0.1623	J4_CEN_LI	67	0.015	0.002	
<b>CALLE HUANCA</b>										
CALLE HUANCA - C1	LD	60.00	0.031	310.00	0.1175	J1_HUANC_LD	67	0.015	0.039	
	LI	60.00	0.031	310.00	0.1175	J1_HUANC_LI	67	0.015	0.037	
CALLE HUANCA - C2	LD	52.40	0.022	220.00	0.1147	J2_HUANC_LD	67	0.015	0.028	
	LI	52.40	0.022	220.00	0.1147	J2_HUANC_LI	67	0.015	0.026	
CALLE HUANCA - C3	LD	68.24	0.039	390.00	0.2487	J3_HUANC_LD	67	0.015	0.021	
	LI	68.24	0.039	390.00	0.2487	J3_HUANC_LI	67	0.015	0.019	0.039
CALLE HUANCA - C4	LD	44.70	0.023	230.00	0.2479	J4_HUANC_LD	67	0.015	0.010	
	LI	44.70	0.023	230.00	0.2479	J4_HUANC_LI	67	0.015	0.008	
CALLE HUANCA - C5	LD	54.30	0.026	260.00	0.1292	J5_HUANC_LD	67	0.015	0.007	
	LI	54.30	0.026	260.00	0.1292	J5_HUANC_LI	67	0.015	0.006	
CALLE HUANCA - C6	LD	55.70	0.025	250.00	0.1081	J6_HUANC_LD	67	0.015	0.003	
	LI	55.70	0.025	250.00	0.1081	J6_HUANC_LI	67	0.015	0.003	

CALLE HUANCA - C7	LD	63.61	0.033	330.00	0.0480	J7_HUANC_LD	67	0.015	0.001	
	LI	63.61	0.033	330.00	0.0480	J7_HUANC_LI	67	0.015	0.001	
<b>CALLE UTUPARA</b>										
CALLE UTUPARA - C1	LD	56.00	0.031	310.00	0.1637	J1_UTU_LD	67	0.015	0.062	
	LI	56.00	0.031	310.00	0.1637	J1_UTU_LI	67	0.015	0.157	
CALLE UTUPARA - C2	LD	55.00	0.026	260.00	0.1087	J2_UTU_LD	67	0.015	0.048	
	LI	55.00	0.026	260.00	0.1087	J2_UTU_LI	67	0.015	0.143	
CALLE UTUPARA - C3	LD	84.77	0.051	508.00	0.1839	J3_UTU_LD	67	0.015	0.047	
	LI	84.77	0.051	508.00	0.1839	J3_UTU_LI	67	0.015	0.095	
CALLE UTUPARA - C4	LD	35.34	0.016	163.00	0.1937	J4_UTU_LD	67	0.015	0.030	0.157
	LI	35.34	0.016	163.00	0.1937	J4_UTU_LI	67	0.015	0.030	
CALLE UTUPARA - C5	LD	60.59	0.030	303.00	0.1453	J5_UTU_LD	67	0.015	0.013	
	LI	60.59	0.030	303.00	0.1453	J5_UTU_LI	67	0.015	0.013	
CALLE UTUPARA - C6	LD	57.00	0.039	390.00	0.0670	J6_UTU_LD	67	0.015	0.008	
	LI	57.00	0.039	390.00	0.0670	J6_UTU_LI	67	0.015	0.028	
CALLE UTUPARA - C7	LD	107.00	0.081	810.00	0.1762	J7_UTU_LD	67	0.015	0.003	
	LI	107.00	0.081	810.00	0.1762	J7_UTU_LI	67	0.015	0.003	
<b>CALLE HIPOLITO HUNANUE</b>										
CALLE HIPOLITO HUNANUE - C1	LD	74.90	0.039	390.00	0.1162	J1_HIHU_LD	67	0.015	0.005	
	LI	74.90	0.039	390.00	0.1162	J1_HIHU_LI	67	0.015	0.007	0.007
CALLE HIPOLITO HUNANUE - C2	LD	50.13	0.025	250.00	0.1403	J2_HIHU_LD	67	0.015	0.003	
	LI	50.13	0.025	250.00	0.1403	J2_HIHU_LI	67	0.015	0.001	
<b>CALLE LEGUIA</b>										
CALLE LEGUIA - C1	LD	43.20	0.035	350.00	0.2214	J1_LEG_LD	67	0.015	0.016	
	LI	43.20	0.035	350.00	0.2214	J1_LEG_LI	67	0.015	0.496	
CALLE LEGUIA - C2	LD	36.90	0.026	260.00	0.2084	J2_LEG_LD	67	0.015	0.007	
	LI	36.90	0.026	260.00	0.2084	J2_LEG_LI	67	0.015	0.015	
CALLE LEGUIA - C3	LD	56.21	0.028	280.00	0.1268	J3_LEG_LD	67	0.015	0.012	
	LI	56.21	0.028	280.00	0.1268	J3_LEG_LI	67	0.015	0.007	0.496
CALLE LEGUIA - C4	LD	97.90	0.062	620.00	0.0522	J4_LEG_LD	67	0.015	0.010	
	LI	97.90	0.062	620.00	0.0522	J4_LEG_LI	67	0.015	0.007	
CALLE LEGUIA - C5	LD	74.60	0.072	720.00	0.0993	J5_LEG_LD	67	0.015	0.008	
	LI	74.60	0.072	720.00	0.0993	J5_LEG_LI	67	0.015	0.005	
CALLE LEGUIA - C6	LD	80.27	0.040	400.00	0.1862	J6_LEG_LD	67	0.015	0.002	
	LI	80.27	0.040	400.00	0.1862	J6_LEG_LI	67	0.015	0.002	
<b>CALLE LOS AMAUTAS</b>										
CALLE LOS AMAUTAS - C1	LD	61.00	0.034	340.00	0.2313	J1_AMAU_LD	67	0.015	0.471	
	LI	61.00	0.034	340.00	0.2313	J1_AMAU_LI	67	0.015	0.256	0.471
CALLE LOS AMAUTAS - C2	LD	53.00	0.022	220.00	0.0799	J2_AMAU_LD	67	0.015	0.018	
	LI	53.00	0.022	220.00	0.0799	J2_AMAU_LI	67	0.015	0.256	

CALLE LOS AMAUTAS - C3	LD	101.00	0.063	630.00	0.0603	J3_AMAU_LD	67	0.015	0.015	
	LI	101.00	0.063	630.00	0.0603	J3_AMAU_LI	67	0.015	0.255	
CALLE LOS AMAUTAS - C4	LD	63.00	0.043	430.00	0.1125	J4_AMAU_LD	67	0.015	0.006	
	LI	63.00	0.043	430.00	0.1125	J4_AMAU_LI	67	0.015	0.247	
<b>CALLE N°3</b>										
CALLE N°3 - C1	LD	70.00	0.032	320.00	0.2157	J1_C3_LD	67	0.015	0.496	
	LI	70.00	0.032	320.00	0.2157	J1_C3_LI	67	0.015	0.501	0.501
CALLE N°3 - C2	LD	51.33	0.029	290.00	0.2062	J2_C3_LD	67	0.015	0.001	
	LI	51.33	0.029	290.00	0.2062	J2_C3_LI	67	0.015	0.001	
<b>CALLE 1</b>										
CALLE N°1 - C1	LD	103.00	0.040	400.00	0.1215	J1_C1_LD	67	0.015	0.003	
	LI	103.00	0.040	400.00	0.1215	J1_C1_LI	67	0.015	0.756	0.756
CALLE N°1 - C2	LD	59.00	0.034	340.00	0.0675	J2_C1_LD	67	0.015	0.001	
	LI	59.00	0.034	340.00	0.0675	J2_C1_LI	67	0.015	0.001	
<b>CALLE 5</b>										
CALLE N° 5 - C1	LD	35.00	0.013	130.00	0.01	J1_C5_LD	67	0.015	0.016	
	LI	35.00	0.013	130.00	0.01	J1_C5_LI	67	0.015	0.016	0.016
CALLE N° 5 - C2	LD	40.00	0.013	130.00	0.01	J2_C5_LD	67	0.015	0.015	
	LI	40.00	0.013	130.00	0.01	J2_C5_LI	67	0.015	0.015	
<b>CALLE NUEVA</b>										
CALLE NUEVA C1	LD	60.00	0.029	290.00	0.01	J1_CN_LD	67	0.015	0.016	
	LI	60.00	0.029	290.00	0.01	J1_CN_LI	67	0.015	0.016	0.016
CALLE NUEVA C2	LD	27.00	0.010	100.00	0.01	J2_CN_LD	67	0.015	0.014	
	LI	27.00	0.010	100.00	0.01	J2_CN_LI	67	0.015	0.014	

*Nota.* La tabla muestra los valores de salida del caudal de diseño en las 21 calles de la ciudad de Antabamba usando el modelo SWMM del software RSMINERVE para Coeficiente de Strickler ( $K = 67$ ), para un periodo de retorno de 10 años.

### 5.1.2. Resultados del objetivo específico 2

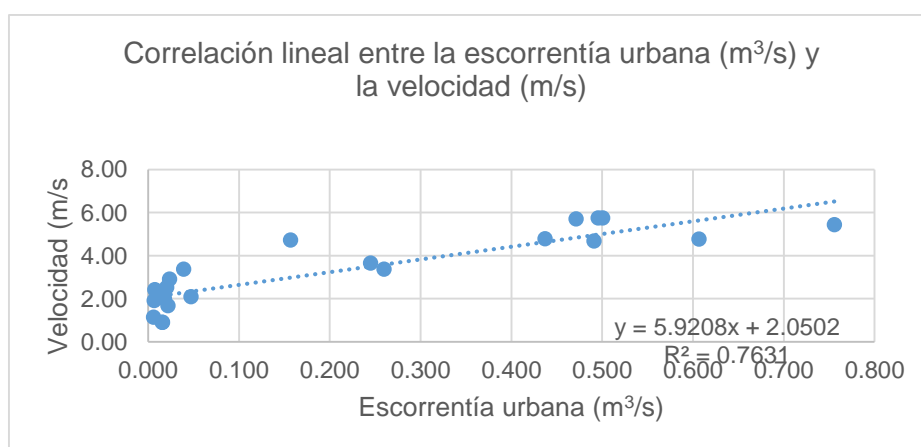
**Tabla 15**

Datos de caudal, velocidad y tirante en los canales de las calles de la ciudad de Antabamba, para un coeficiente de Strickler 67

Calles	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Tirante (m)
CALLE SUCRE	0.437	4.78	0.30
CALLE MARISCAL CASTILLA	0.260	3.38	0.35
CALLE BOLIVAR	0.491	4.69	0.35
CALLE APURIMAC	0.245	3.66	0.30
CALLE LOS ARRIEROS	0.047	2.10	0.15
CALLE CALVARIO	0.607	4.77	0.40
CALLE SANTIAGO	0.018	2.00	0.10
CALLE 4	0.006	1.14	0.10
CALLE RENOVACION	0.020	2.52	0.10
CALLE JUAN ESPINOZA MEDRANO	0.022	1.68	0.15
CALLE 2	0.007	2.42	0.10
CALLE CENTENARIO	0.023	2.92	0.10
CALLE HUANCA	0.039	3.37	0.15
CALLE UTUPARA	0.157	4.72	0.20
CALLE HIPOLITO HUNANUE	0.007	1.92	0.10
CALLE LEGUIA	0.496	5.75	0.35
CALLE LOS AMAUTAS	0.471	5.71	0.35
CALLE N°3	0.501	5.76	0.35
CALLE N°1	0.756	5.44	0.50
CALLE N° 5	0.016	0.90	0.15
CALLE NUEVA	0.016	0.90	0.15

**Figura 8**

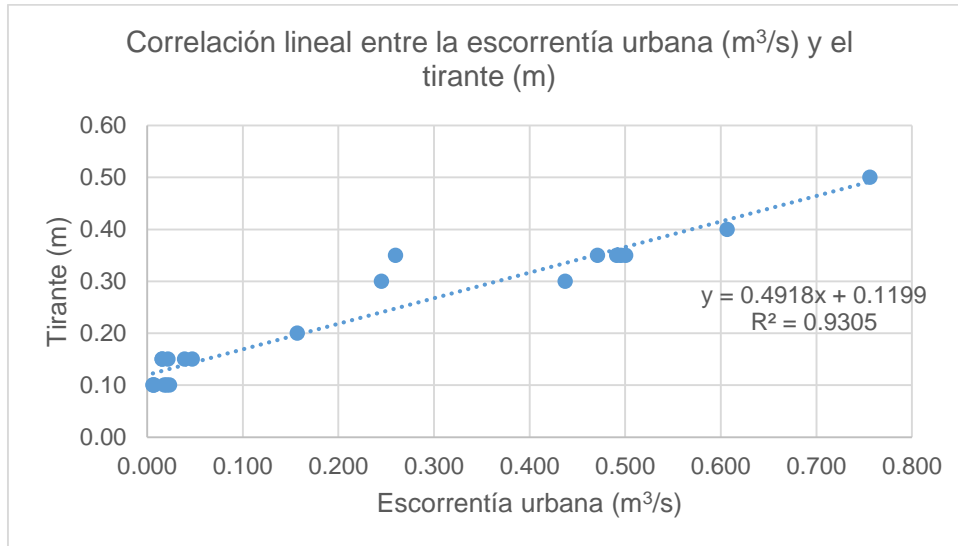
Correlación lineal entre la escorrentía urbana y la velocidad de diseño



Nota. Se muestra un valor  $r=0.8736$  siendo correlación lineal positiva considerable entre la escorrentía urbana y la velocidad.

**Figura 9**

*Correlación lineal entre la escorrentía urbana y el tirante de diseño*



*Nota.* Se muestra un valor  $r=0.9646$  siendo una correlación lineal positiva muy fuerte entre la escorrentía urbana y el tirante.

Se tiene los resultados mostrados en el procesamiento de datos, se aplicó el cálculo de coeficiente de correlación de Pearson “r” teniéndose el valor de  $r = 0.8736$  el cual muestra una correlación positiva considerable para la relación entre el caudal de la escorrentía urbana y la velocidad; y un  $r = 0.9646$  mostrando una correlación positiva muy fuerte para la relación entre el caudal de la escorrentía urbana y el tirante.

### 5.1.3. Resultados del objetivo específico 3

**Tabla 16**

*Determinación de los elementos geométricos de los canales en las 21 calles de la ciudad de Antabamba usando el FlowMaster para un coeficiente de Strickler 67*

Nombre de la Calle	Q <sub>máx</sub>	Diseño del canal			Sección del canal
		Pendiente (m/m)	Tirante (m)	Base (m) ó Ancho superior (m)	
CALLE SUCRE	0.437	0.1	0.3	0.3	Rectangular
CALLE MARISCAL CASTILLA	0.260	0.0648	0.35	0.25	Rectangular
CALLE BOLIVAR	0.491	0.1	0.35	0.3	Rectangular
CALLE APURIMAC	0.245	0.0802	0.3	0.25	Rectangular
CALLE LOS ARRIEROS - C1	0.047	0.0502	0.15	0.3	Triangular
CALLE CALVARIO - C1	0.607	0.0882	0.4	0.35	Rectangular
CALLE SANTIAGO - C1	0.018	0.0835	0.1	0.2	Triangular
CALLE 4 - C1	0.006	0.0382	0.1	0.15	Triangular
	0.020	0.143	0.1	0.2	Triangular
	0.022	0.0455	0.15	0.25	Triangular
	0.007	0.261	0.1	0.15	Triangular
CALLE RENOVACION					
CALLE JUAN ESPINOZA MEDRANO	0.023	0.1946	0.1	0.2	Triangular
CALLE 2	0.039	0.2	0.15	0.25	Triangular
CALLE CENTENARIO	0.157	0.1937	0.2	0.4	Triangular
CALLE HUANCA	0.007	0.1403	0.1	0.15	Triangular
CALLE UTUPARA	0.496	0.18	0.35	0.25	Rectangular
CALLE HIPOLITO HUNANUE	0.471	0.18	0.35	0.25	Rectangular
CALLE LEGUIA	0.501	0.2157	0.35	0.25	Rectangular
CALLE LOS AMAUTAS	0.756	0.1215	0.5	0.3	Rectangular
CALLE Nº3	0.016	0.01	0.15	0.3	Triangular

CALLE Nº1	0.016	0.01	0.15	0.3	Triangular
CALLE Nº 5	0.437	0.1	0.3	0.3	Rectangular
CALLE NUEVA	0.260	0.0648	0.35	0.25	Rectangular

*Nota.* Fuente: El autor

## 5.2. Discusión de resultados

### 5.2.1. *Discusión de Resultados del objetivo específico 1*

Destaca la importancia de gestionar de manera adecuada la escorrentía urbana para prevenir inundaciones, desbordamientos y daños en la infraestructura de drenaje pluvial. Además, se resalta la necesidad de involucrar a las autoridades locales, a la comunidad y a los expertos en la planificación urbana en la implementación de soluciones integrales y sostenibles, determinar el efecto de los parámetros hidrológicos de la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba evidencia la urgencia de tomar medidas para gestionar de manera adecuada el agua de lluvia en el entorno urbano y prevenir posibles desastres asociados a las inundaciones. Cabe resaltar que la curva IDF y los hietogramas de precipitación de diseño tiene aporte y aborda directamente al cálculo del caudal de diseño para el sistema de drenaje pluvial y de este modo se proponga soluciones concretas para mejorar la eficiencia del sistema (Castillo et al., 2022).

### 5.2.2. *Discusión de Resultados del objetivo específico 2*

En cuanto a la discusión de los resultados, es importante analizar si los parámetros de diseño hidráulico actuales son suficientes para garantizar el funcionamiento adecuado del sistema de drenaje pluvial. Al tener una relación significativa entre el caudal de la escorrentía urbana y la velocidad y el tirante del agua en los canales, será necesario revisar y ajustar los criterios de diseño para evitar inundaciones y garantizar la seguridad de la ciudad de Antabamba. Este análisis de relación entre el caudal de la escorrentía urbana y los parámetros de diseño hidráulico en los canales del sistema de drenaje pluvial de Antabamba fueron cruciales para asegurar la eficiencia y funcionalidad de este sistema frente a las crecidas causadas por las lluvias en la ciudad, cabe resaltar que el uso del

modelo SWMM contribuye a comprender y gestionar de manera efectiva la escorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial, mejorando así la gestión del agua de lluvias en la zona (Luna, 2021).

### **5.2.3. *Discusión de Resultados del objetivo específico 3***

En cuanto a la discusión de los resultados, se destaca la importancia de tener en cuenta el impacto de la escorrentía urbana en el diseño y la gestión de los sistemas de drenaje pluvial, con el fin de prevenir inundaciones, erosión y contaminación del agua. Se sugiere la implementación de estrategias de manejo sostenible del agua en entornos urbanos (Sánchez y Martí, 2020) para minimizar los efectos negativos de la escorrentía urbana en los elementos geométricos de los canales de drenaje pluvial. Además, se recomienda realizar estudios de seguimiento a largo plazo para evaluar la eficacia de las medidas implementadas.

## **5.3. Prueba de Hipótesis**

### **5.3.1. *Hipótesis específica 1 y 3***

Luego del análisis descriptivo se puede apreciar que para la hipótesis específica 1 y 3 se llega a mencionar lo siguiente:

- Los parámetros de la escorrentía urbana tienen influencia significativa en el sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba, Apurímac, 2023.
- El caudal de la escorrentía urbana tiene influencia significativa en los elementos geométricos de los canales del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba, Apurímac, 2023.

### **5.3.2. *Hipótesis específica 2***

En cuanto para la hipótesis específica 2 se procedió al análisis inferencial que consiste en contrastar si existe una relación significativa entre la escorrentía urbana y los parámetros de diseño hidráulico, específicamente la velocidad y el tirante, en los canales del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba, Apurímac, 2023. Por lo que se plantea la hipótesis nula y la hipótesis alternativa siendo las siguientes:

La hipótesis nula  $H_0: \rho = 0$  (No existe una correlación lineal).

$H_0$ : No existe una relación significativa entre la escorrentía urbana y los parámetros de diseño hidráulico, específicamente la velocidad y el tirante, en los canales del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba, Apurímac, 2023. La hipótesis alternativa  $H_1: \rho \neq 0$  (Existe una correlación lineal).

$H_1$ : Existe una relación significativa entre la escorrentía urbana y los parámetros de diseño hidráulico, específicamente la velocidad y el tirante, en los canales del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba, Apurímac, 2023.

**Tabla 17**

*Resultados del caudal de la escorrentía urbana vs velocidad y el tirante del canal*

<b>Calles</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>	<b>Tirante (m)</b>
CALLE SUCRE	0.437	4.78	0.30
CALLE MARISCAL CASTILLA	0.260	3.38	0.35
CALLE BOLIVAR	0.491	4.69	0.35
CALLE APURIMAC	0.245	3.66	0.30
CALLE LOS ARRIEROS	0.047	2.10	0.15
CALLE CALVARIO	0.607	4.77	0.40
CALLE SANTIAGO	0.018	2.00	0.10
CALLE 4	0.006	1.14	0.10
CALLE RENOVACION	0.020	2.52	0.10
CALLE JUAN ESPINOZA MEDRANO	0.022	1.68	0.15
CALLE 2	0.007	2.42	0.10
CALLE CENTENARIO	0.023	2.92	0.10
CALLE HUANCA	0.039	3.37	0.15
CALLE UTUPARA	0.157	4.72	0.20
CALLE HIPOLITO HUNANUE	0.007	1.92	0.10
CALLE LEGUIA	0.496	5.75	0.35
CALLE LOS AMAUTAS	0.471	5.71	0.35
CALLE N°3	0.501	5.76	0.35
CALLE N°1	0.756	5.44	0.50
CALLE N° 5	0.016	0.90	0.15
CALLE NUEVA	0.016	0.90	0.15

Nota. Fuente: El autor

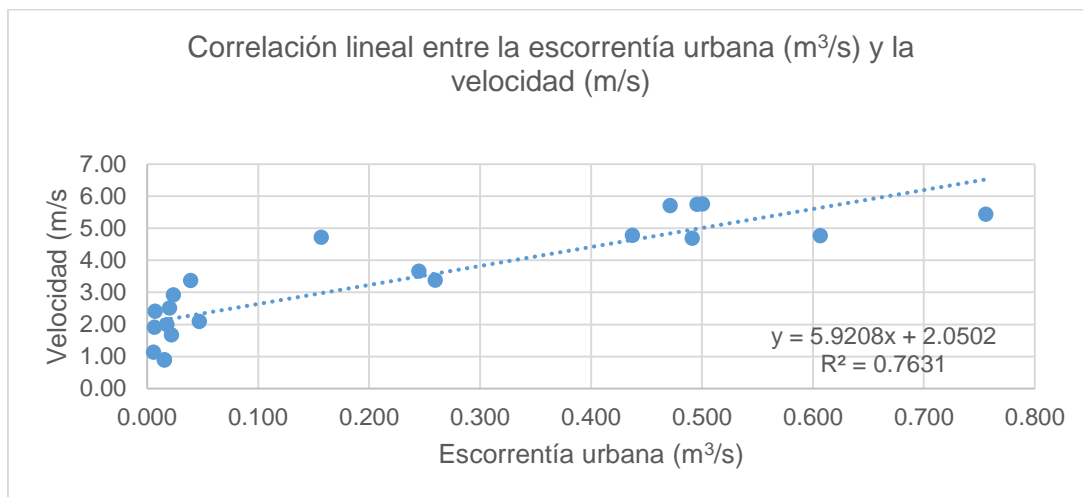
### **5.3.2.1.1. Cálculo de coeficiente de correlación de Pearson “r” para la Prueba para la hipótesis específica 2**

Aplicando el cálculo de coeficiente de correlación de Pearson “r” se tiene el valor de  $r = 0.8736$ , mostrando una correlación positiva considerable; aplicado para el caudal de la escorrentía urbana vs la velocidad del agua en el canal. Así mismo se tiene el valor de  $r =$

0.9646, mostrando una correlación positiva muy fuerte; aplicado para el caudal de la escorrentía urbana vs el tirante del agua en el canal.

**Figura 10**

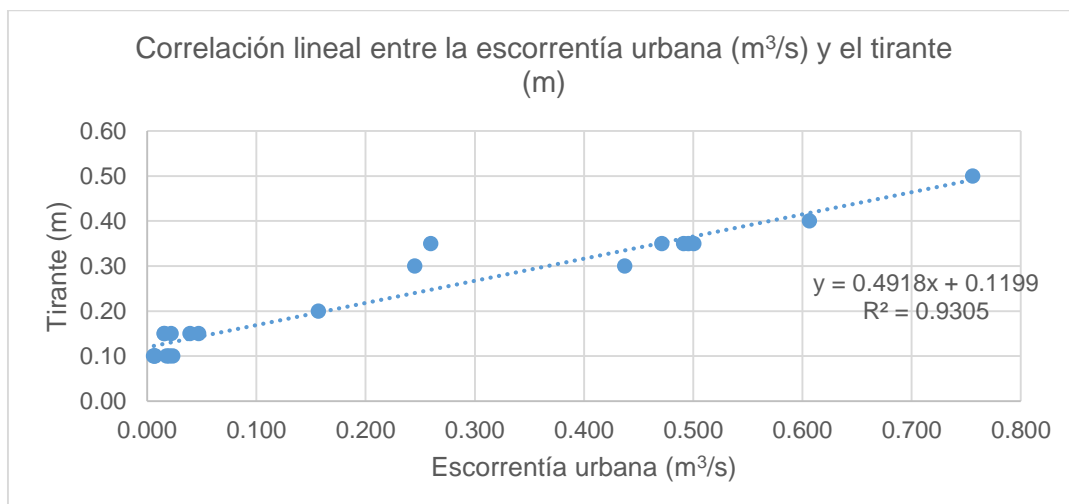
*Correlación lineal entre la escorrentía urbana y la velocidad de diseño*



*Nota.* Se muestra un valor  $r=0.8736$  siendo correlación lineal positiva considerable entre la escorrentía urbana y la velocidad.

**Figura 11**

*Correlación lineal entre la escorrentía urbana y el tirante de diseño*



*Nota.* Se muestra un valor  $r=0.9646$  siendo una correlación lineal positiva muy fuerte entre la escorrentía urbana y el tirante.

El coeficiente de correlación es diferente de cero. Por lo que, existe una relación significativa entre la esorrentía urbana y los parámetros de diseño hidráulico, específicamente la velocidad y el tirante, en los canales del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba, Apurímac, 2023.

## VI. Conclusiones

- ✓ La evaluación del efecto de la esorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba, Apurímac, utilizando el modelo SWMM ha permitido identificar áreas críticas de inundación y posibles puntos de congestión en el sistema de drenaje, se ha observado que la capacidad del sistema de drenaje pluvial es insuficiente para hacer frente a las precipitaciones intensas, lo que puede resultar en inundaciones y daños materiales en la ciudad; siendo necesario implementar medidas de mitigación y mejoras en el sistema de drenaje pluvial para reducir el impacto de la esorrentía urbana y proteger a la población de Antabamba de posibles inundaciones.
- ✓ El efecto de los parámetros hidrológicos de la esorrentía urbana en el sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba ha demostrado la importancia de tener en cuenta estos factores para el diseño y funcionamiento eficiente de las infraestructuras de drenaje pluvial en zonas urbanas. Se ha identificado que los parámetros hidrológicos como la intensidad de lluvia, la superficie impermeable y la pendiente del terreno tienen un impacto significativo en la generación de esorrentía y en la capacidad de drenaje de la red pluvial.
- ✓ Se concluye que, al establecer la relación entre el caudal de la esorrentía urbana y los parámetros de diseño hidráulico, específicamente la velocidad y el tirante, en los canales del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba; existe evidencia estadística suficiente para concluir que el coeficiente de correlación es diferente de cero. Por lo que, existe relación significativa entre el caudal de la esorrentía urbana y los parámetros de diseño hidráulico, específicamente la velocidad y el tirante, en los canales del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba, existe una correlación lineal positiva considerable y muy fuerte entre la esorrentía urbana y los parámetros de diseño hidráulico, con un aumento en la velocidad y el tirante de los canales del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba.

- ✓ Se ha encontrado que la escorrentía urbana tiene un efecto significativo en los elementos geométricos de los canales del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba. Se observó un aumento en la erosión y sedimentación de los canales, así como una disminución en su capacidad de drenaje debido a la acumulación de residuos sólidos y sedimentos.

## VII. Recomendaciones

- ✓ Realizar una revisión y actualización del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Antabamba, considerando las proyecciones de crecimiento urbano y cambios en los patrones de precipitación.
- ✓ Implementar medidas de gestión sostenible de aguas pluviales, como la construcción de sistemas de recolección y reutilización de aguas pluviales, para reducir la cantidad de escorrentía urbana que llega al sistema de drenaje.
- ✓ Establecer planes de contingencia y alerta temprana para actuar de manera oportuna en caso de eventos extremos de lluvia que puedan desencadenar inundaciones en la ciudad.
- ✓ Promover la sensibilización y educación de la población sobre la importancia de mantener limpios los sistemas de drenaje pluvial y adoptar prácticas sostenibles para reducir la generación de escorrentía urbana.
- ✓ Con base en los resultados obtenidos en la investigación, se recomienda tomar medidas para mejorar la gestión de las aguas pluviales en la ciudad de Antabamba. Es importante realizar una planificación adecuada del sistema de drenaje pluvial teniendo en cuenta los parámetros hidrológicos específicos de la zona y la implementación de medidas de control de la escorrentía urbana, como la construcción de infraestructuras verdes, la implementación de sistemas de captación y reutilización de aguas pluviales, y la promoción de prácticas de manejo sostenible del agua en los hogares y empresas. Además, se debe realizar un monitoreo continuo de los parámetros hidrológicos y del funcionamiento del sistema de drenaje pluvial para identificar posibles problemas y tomar medidas correctivas de forma oportuna.
- ✓ Se sugiere la implementación de programas de concientización y educación ambiental entre la población para reducir la generación de escorrentía urbana y mejorar la gestión del agua en la ciudad.

- ✓ Implementar medidas de control y manejo de aguas pluviales, como la construcción de trampas de sedimentación, la limpieza regular de los canales, la reforestación de áreas cercanas a los cursos de agua y la educación ambiental de la población para reducir la generación de residuos sólidos. Además, se sugiere realizar monitoreos periódicos de los canales para evaluar su estado y realizar mantenimientos preventivos y correctivo en los canales de manera oportuna para garantizar su eficiente funcionamiento.

### VIII. Referencias bibliográficas

- Academia Lab. (2024). *Escorrentía urbana*. Enciclopedia. <https://academia-lab.com/enciclopedia/escorrentia-urbana/>
- Acero Pérez, J., & Felício, C. (2021). *Aquae pluviae et caducae: Sistemas de drenaje e impermeabilización frente a la escorrentía superficial en Augusta Emerita (Mérida, España) y Mirobriga (Santiago do Cacém, Portugal)*. *Zephyrus: Revista de prehistoria y arqueología*, 88, 135-161. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8263909>
- Acuña Huamán, V. (2018). *Caudales de precipitación en el drenaje pluvia en la cuenca urbana de la ciudad de Huancavelica* [Tesis de pregrado para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Huancavelica]. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2078>
- Aguilar Fernandez, K. F. (2021). *Evaluación del drenaje pluvial de vías urbanas para establecer puntos prácticos de inundación en un distrito* [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana Los Andes]. <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/3020>
- Aguilar Quispe, R. J., & Amarillo Minchola, J. M. (2021). *Mejoramiento del sistema de drenaje de la Carretera Ramal Pacucha – distrito de Andahuaylas – Apurímac* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Ricardo Palma]. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/4708>
- Autoridad Nacional del Agua. (2010). *Manual: Criterios de diseños de obras hidráulicas para formulación de Proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico* (p. 356). [https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/manual-disenos-1\\_0\\_2.pdf](https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/manual-disenos-1_0_2.pdf)

- Barros Nieves, C. E., Castañeda del Prado, M. de J., & Jiménez Brito, R. R. (2022). *Impactos que genera la inoperatividad del sistema de alcantarillado pluvial en la calidad de vida de los habitantes en el Distrito de Riohacha* [Trabajo de grado para optar al título de especialista en Gerencia de Construcciones, Universidad de la Guajira]. <https://repositoryinst.uniguajira.edu.co/handle/uniguajira/698>
- Beé, H. (Director). (2020, abril 5). *Contaminación Hídrica | Sistema de drenaje sostenible | Escorrentía Urbana* [Video recording]. <https://www.youtube.com/watch?v=APGqY3O-CqE>
- Cajas Quiñonez, J. D. (2023). *Evaluación de los efectos de las precipitaciones en el alcantarillado pluvial de las parroquias Chigüilpe, Río Verde y Río Toachi, de la ciudad de Santo Domingo entre los años 1999 y 2019* [Trabajo de titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas]. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/36788/2/T-ESPE-058141.pdf>
- Carhuas Mallqui, J. M. (2018). *Mejoramiento del drenaje pluvial para lograr la vida útil del pavimento flexible de la Av. Leopoldo Krause—Villa Rica—2018* [Tesis de pregrado para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/39731>
- Carrasco Díaz, S. (2005). *Metodología de la Investigación científica* (A. J. Paredes Galván, Ed.; 1era ed.). San Marcos. [https://www.academia.edu/26909781/Metodologia\\_de\\_La\\_Investigacion\\_Cientifica\\_Carrasco\\_Diaz\\_1\\_](https://www.academia.edu/26909781/Metodologia_de_La_Investigacion_Cientifica_Carrasco_Diaz_1_)
- Carvajal Escobar, Y., Ocampo Gómez, C. I., & Peña, L. E. (2019). Storm Water Management Model Simulation and Evaluation of the Eastern urban drainage system of Cali in the face of climate variability scenarios. *Ingeniería y Competitividad: Revista Científica y Tecnológica*, 21(2), 7. <https://doi.org/10.25100/iyc.v21i2.8046>

- Castillo García, C. L., Díaz Pérez, T., Álvarez Gil, L., & Álvarez Gonzáles, M. (2022). Estrategias para el diseño de sistemas de drenaje urbano en la ciudad de Santa Clara. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 43(2), 44-57. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1680-03382022000200044&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1680-03382022000200044&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Cebrián Patricio, J., & García Sicha, R. C. (2022). *Propuesta del sistema de drenaje vial para mejorar la estructura del pavimento rígido en la Av. Unión, Anco Huallo – Chincheros—Apurímac, 2022* [Tesis de pregrado para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/96425>
- Cegarra Sánchez, J. (2011). *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. Díaz de Santos.
- Chow, V. T. (2004). *Hidráulica de canales abiertos* (M. E. Suárez R., Ed.; Primera). McGraw-Hill. [https://www.academia.edu/43519012/Ven\\_Te\\_Chow\\_HIDRAULICA\\_DE\\_CANALES\\_ABIERTOS](https://www.academia.edu/43519012/Ven_Te_Chow_HIDRAULICA_DE_CANALES_ABIERTOS)
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología Aplicada* (R. Edna Suárez Martha, Ed.; McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A.). McGraw-Hill.
- COEN. (2020, enero 27). *Reporte complementario N° 472—27/1/2020 / COEN - INDECI / 18:40 Horas Inundación en el distrito de Antabamba—Apurímac*. <https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2020/01/REPORTE-COMPLEMENTARIO-N%C2%BA-472-27ENE2020-INUNDACION-EN-EL-ANTABAMBA-APUR%C3%8DMAC-2.pdf>
- Dete Alarcón, A. (2013). *Diseño del sistema de drenaje pluvial urbano del centro poblado San Francisco; distrito de Awajun – Provincia Rioja – Región San Martín* [Trabajo

- de investigación asistida, Universidad].  
<http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/697>
- Fuentes Romero, K. F. (2016). *Distribución de las precipitaciones máximas diarias en la Región de los Ríos* [Tesis de Pregrado, Universidad del Bio-Bio].  
[http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/2192/1/Fuentes\\_Romero\\_Karol\\_Fernanda.pdf](http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/2192/1/Fuentes_Romero_Karol_Fernanda.pdf)
- García del Villar, C. (2019). *Escorrentía Urbana: Sistemas de recogida y drenaje* (p. 78). Universidad Politécnica de Madrid.  
[https://oa.upm.es/57970/1/TFG\\_20\\_Garcia\\_del\\_Villar\\_Cristina.pdf](https://oa.upm.es/57970/1/TFG_20_Garcia_del_Villar_Cristina.pdf)
- Hernández Jiménez, M. (2018). *Diseño del drenaje pluvial y evaluación de impacto ambiental en Urb. El Chilcal de la ciudad de Piura* [Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad de Piura]. <https://hdl.handle.net/11042/3714>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la Investigación* (M. I. Rocha Martínez, Ed.; Sexta). McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V.  
<https://www.yumpu.com/es/document/read/61872748/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicioncompressed>
- INDECI, & COEN. (2024). *Informe Situacional de Emergencia N.º 008—30/01/2024 / COEN - INDECI Correlativo (Nº 1)* (Informe Situacional de Emergencia 008; p. 7). INDECI - COEN. <https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2024/02/Informe-Situacional-de-Emergencia-N.%C2%B0-008-28012024-COEN-INDECI-APUR%C3%8DMAC.pdf>
- Isabeles Deniz, K. G., Olavarría Sánchez, Á. M., Quintanilla Montoya, A. L., & Ríos Aguilar, J. (2019). Adaptación metodológica en el diseño y desarrollo urbano de bajo impacto para el manejo de aguas pluviales en Colima, México. *Tecnura*, 23(62), 55-72. <https://doi.org/10.14483/22487638.15452>

- Luna Victoria Narro, P. D. (2021). *Diseño de un sistema de drenaje pluvial urbano en la ciudad de Otuzco, La Libertad mediante el uso del modelo matemático SWMM* [Pontificia Universidad Católica del Perú].  
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/21652>
- Macor, J. L., & Pedraza, R. A. (2006). Efectos de la discretización en la simulación de escorrentía urbana. *Ingeniería del agua*, 13(1), 35-46.  
<https://doi.org/10.4995/ia.2006.2882>
- Mandujano Salcedo, N. G. (2022). *Estudio de mejora del sistema de drenaje pluvial como solución a las inundaciones en el jirón Chanchamayo de la ciudad de Tarma* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Católica Sedes Sapientiae].  
[https://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14095/1641/Mandujano\\_Noe\\_tesis\\_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14095/1641/Mandujano_Noe_tesis_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Mays M., L. C., Medina, Y., & Dale, M. V. (2018). *Diseño de una alternativa que permita implementar un sistema urbano de drenaje sostenible mediante software de aplicación*. <https://www.ing.ucv.ve/jifi2018/documentos/ambiente/AIS064.pdf>
- Mero Arteaga, J. E. (2022). *Diseño del Alcantarillado Pluvial Para Ciudadela Chequelandia En La Ciudad Chone* [Proyecto de titulación para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad Estatal del Sur de Manabí].  
<http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/6106>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje* (p. 222) [Manual].  
[http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_2950.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2012). *Manual de Hidrología, hidráulica y drenaje*. <https://spij.minjus.gob.pe/Graficos/Peru/2011/Octubre/10/RD-20-2011-MTC-14.pdf>

- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2021). *Modificación de la Norma Técnica OS.060 Drenaje Pluvial urbano a Norma Técnica CE.040 Drenaje Pluvial del Reglamento Nacional de Edificaciones* (Resolución Ministerial N° 126-2021-Vivienda 126-2021; p. 36). Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2366728/CE.040%20DRENAJE%20PLUVIAL\\_RM%20126-2021-VIVIENDA.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2366728/CE.040%20DRENAJE%20PLUVIAL_RM%20126-2021-VIVIENDA.pdf)
- Morales Yovera, D. A., & Zavala Goicochea, D. M. (2024). *Diseño del sistema de drenaje pluvial para la urbanización los jardines de Avifap etapa I de la ciudad de Piura* [Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad de Piura]. <https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/2dc6e607-3e5e-4757-a3d0-1a0063419d7b/content>
- Nania Escobar, L. S. (1999). *Metodología numérico-experimental para el análisis del riesgo asociado a la escorrentía pluvial en una red de calles* [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=6592>
- Ortiz Hernández, J. E., Beltrán Hernández, I., Lizárraga Mendiola, L., Coronel Olivares, C., & Vázquez Rodríguez, G. (2013). Biorretención y reúso del agua de escorrentía urbana en climas áridos o semi-áridos: Una revisión. *Memorias del 2013 Simposio Iberoamericano Multidisciplinario de Ciencias e Ingeniería (SIMCI), 23-25 septiembre,* 17-22. [https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/6238/2013\\_memoria\\_simci\\_joyce.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/6238/2013_memoria_simci_joyce.pdf)
- Pantaleón, J., Pérez Batista, P. C., Cordero, R., Torres, A., García, B. A., Melibel Castillo, H., Arisleidy Feliz, J., & Rivas, G. (2013). Determinación del coeficiente de rugosidad para enchachado usado en el revestimiento de cunetas en la República

- Dominicana. *Ciencia y Sociedad*, 38(3), 551-568.  
<https://doi.org/10.22206/cys.2013.v38i3.pp551-568>
- Salazar Camacho, K. D. (2018). *Evaluación del sistema de drenaje pluvial y plan de mejora en la ciudad de Huánuco, 2018* [Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad César Vallejo].  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/35483>
- Sánchez Almodóvar, E., & Martí Talavera, J. (2020). *El problema de la escorrentía pluvial en el núcleo urbano de Aspe (Alicante)* (Universitat d'Alacant). Universidad de Alicante. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/109081>
- Sánchez Flores, F. A. (2019). Fundamentos Epistémicos de la Investigación Cualitativa y Cuantitativa: Consensos y Disensos. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria [Digital Journal of University Teaching Research]*, 13(1), Article 1.  
<https://doi.org/10.19083/ridu.2019.644>
- Sanchez Santisteban, M. P. (2024). *Diseño del sistema de drenaje pluvial y pavimentación para el área urbana del Centro Poblado Cruz del Médano, distrito de Mórrope, provincia Lambayeque, departamento de Lambayeque 2019* [Tesis para optar el título de Ingeniero Civil Ambiental, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. <http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/6993>
- Sanchez Zapata, L. T. (2022). *Revisión sistemática sobre la influencia e importancia de un sistema de drenaje pluvial en las ciudades, años 2017 a 2021* [Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. <http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/5627>
- Stohmann Aguirre, R. E. (2022). Efectos de la urbanización y el cambio climático en el rendimiento del drenaje urbano. Estudio de caso de SUDS en una zona de riesgo de la ciudad de La Paz, Bolivia. *Acta Nova*, 10(4), 461-488.  
[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1683-07892022000200461&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1683-07892022000200461&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

- Villón Bejar, M. (s. f.). *Cálculos hidrológicos e hidráulicos en Cuencas Hidrográficas*. Centro Agronomo Tropical de Investigación y Enseñanza. Recuperado 26 de marzo de 2024, de <https://ingenierosciviles.com.mx/Biblioteca/items/show/22>
- Villón Béjar, M. (2005). *HIDROESTA 2* (Versión 2) [MaxSoft]. Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica. [https://mega.nz/#!98IFHLTK!kycxloh9jbXHzh3VKIs4YeMzIOI\\_ABgAzO89B3ekYM](https://mega.nz/#!98IFHLTK!kycxloh9jbXHzh3VKIs4YeMzIOI_ABgAzO89B3ekYM)  
U
- Zafra Mejía, C. A., Temprano González, J., & Tejero Monzón, I. (2009). Evaluación de la contaminación por escorrentía urbana: Sedimentos depositados sobre la superficie de una vía. *Ingeniería e Investigación*, 29(1), 101-108. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0120-56092009000100013&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0120-56092009000100013&lng=en&nrm=iso&tlng=es)

**IX. Anexos**

- Anexo 1 : Matriz de consistencia
- Anexo 2 : Matriz de operacionalización de variables
- Anexo 3 : Instrumento N° 01: Precipitaciones máximas por año
- Anexo 4 : Instrumento N° 02: Curva Intensidad, duración y frecuencia (IDF)
- Anexo 5 : Instrumento N° 03: Hietogramas de precipitación de diseño (mm) por el método de bloque alterno – Modelo Dick Peschke
- Anexo 6 : Instrumento N° 04: Determinación del caudal de la escorrentía urbana con el modelo SWMM del Software RS MINERVE
- Anexo 7 : Solicitud de datos de precipitación máxima en 24 horas
- Anexo 8 : Respuesta del SENAMHI a la solicitud de datos de precipitación máxima en 24 horas
- Anexo 9 : Evidencias Fotográficas
- Anexo 10 : Plano clave de las 21 calles de la ciudad de Antabamba
- Anexo 11 : Diseño de los canales en las 21 calles de la ciudad de Antabamba

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