

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**“Evaluación y propuesta de un sistema de drenaje pluvial urbano sostenible  
usando SWMM 5.2 en el C. P. Santa Clemencia-Chimbote”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO CIVIL**

**Autores:**

**Bach. Torreblanca Ruiz, Eduardo Armando**

**Código ORCID: 0009-0005-4024-5007**

**Bach. Valverde Mondalgo, Luis Alessandro**

**Código ORCID: 0009-0008-0791-7969**

**Asesor:**

**Dr. Ing. López Carranza, Atilio Rubén**

**DNI: 32965940**

**Código ORCID: 0000-0002-3631-2001**

**NUEVO CHIMBOTE-PERÚ**

**2025**

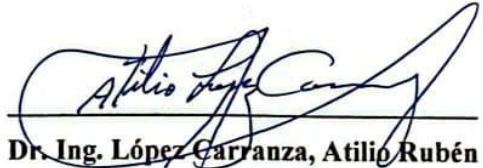
**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**“Evaluación y Propuesta de un Sistema de Drenaje Pluvial Urbano  
Sostenible usando SWMM 5.2 en el C. P. Santa Clemencia-Chimbote”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
CIVIL**

**REVISADO Y APROBADO POR:**



Dr. Ing. López Carranza, Atilio Rubén

Asesor

DNI: 32965940

Código ORCID: 0000-0002-3631-2001

**NUEVO CHIMBOTE-PERÚ**

**2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

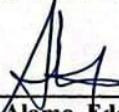


**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**"Evaluación y Propuesta de un Sistema de Drenaje Pluvial Urbano  
Sostenible usando SWMM 5.2 en el C. P. Santa Clemencia-Chimbote"**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
CIVIL**


**REVISADO Y APROBADO POR EL SIGUIENTE JURADO:**

  
Ms. Sparrow Alamo, Edgar Gustavo

Presidente

DNI: 32904375

Código ORCID: 0000-0003-4469-0288

  
Dra. Fernández Mantilla, Jenisse del Rocio  
Secretario  
DNI: 33264434  
Código ORCID: 0000-0003-3336-4786

  
Dr. López Carranza, Atilio Rubén  
Integrante  
DNI: 32965940  
Código ORCID: 0000-0002-3631-2001

**NUEVO CHIMBOTE-PERÚ**

**2025**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil  
- EPIC -

**ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS**

A los 27 días del mes de noviembre del año dos mil veinticinco, siendo las 11:00 horas, en el Laboratorio de Topografía del edificio de Ingeniería Civil, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante T. Resolución N° 677-2025-UNS-CFI, con fecha 07.11.2025, integrado por los siguientes docentes: Ms. Edgar Gustavo Sparrow Alamo (Presidente), Dra. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla (Secretaria), Dr. Atilio Rubén López Carranza (Integrante), Ms. Luz Esther Álvarez Asto (Accesitario), en base a la Resolución Decanal N° 846-2025-UNS-FI se da inicio la sustentación de la Tesis titulada: "EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO SOSTENIBLE USANDO SWMM 5.2 EN EL C.P. SANTA CLEMENCIA - CHIMBOTE", presentado por los Bachilleres TORREBLANCA RUIZ EDUARDO ARMANDO con cód. N° 0201913048 y VALVERDE MONDALGO LUIS ALESSANDRO con cód. N° 0201913027, quienes fueron asesorados por el docente Dr. Atilio Rubén López Carranza según lo establece la T. Resolución Decanal N° 569-2024-UNS-FI, de fecha 12.09.2024.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
TORREBLANCA RUIZ EDUARDO ARMANDO	17	BUENO

Siendo las 12:00 horas del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 27 de noviembre de 2025.

Ms. Edgar Gustavo Sparrow Alamo  
Presidente

Dra. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla  
Secretaria

Dr. Atilio Rubén López Carranza  
Integrante

**ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS**

A los 27 días del mes de noviembre del año dos mil veinticinco, siendo las 11:00 horas, en el Laboratorio de Topografía del edificio de Ingeniería Civil, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante T. Resolución N° 677-2025-UNS-CFI, con fecha 07.11.2025, integrado por los siguientes docentes: Ms. Edgar Gustavo Sparrow Alamo (Presidente), Dra. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla (Secretaria), Dr. Atilio Rubén López Carranza (Integrante), Ms. Luz Esther Álvarez Asto (Accesitario), en base a la Resolución Decanal N° 846-2025-UNS-FI se da inicio la sustentación de la Tesis titulada: "EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO SOSTENIBLE USANDO SWMM 5.2 EN EL C.P. SANTA CLEMENCIA - CHIMBOTE", presentado por los Bachilleres TORREBLANCA RUIZ EDUARDO ARMANDO con cód. N° 0201913048 y VALVERDE MONDALGO LUIS ALESSANDRO con cód. N° 0201913027, quienes fueron asesorados por el docente Dr. Atilio Rubén López Carranza según lo establece la T. Resolución Decanal N° 569-2024-UNS-FI, de fecha 12.09.2024.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
VALVERDE MONDALGO LUIS ALESSANDRO	17	BUENO

Siendo las 12:00 horas del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 27 de noviembre de 2025.



Ms. Edgar Gustavo Sparrow Alamo  
Presidente



Dra. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla  
Secretaria



Dr. Atilio Rubén López Carranza  
Integrante



## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Luis Alessandro Valverde Mondalgo

Título del ejercicio: TESIS

Título de la entrega: EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUV...

Nombre del archivo: EVALUACIÓN\_Y\_PROPUESTA\_DE\_UN\_SISTEMA\_DE\_DRENAJE\_PL...

Tamaño del archivo: 7.64M

Total páginas: 103

Total de palabras: 20,679

Total de caracteres: 111,437

Fecha de entrega: 10-dic-2025 12:40p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2770638587

**RESUMEN**

El objetivo general de esta investigación fue evaluar y proponer un sistema de drenaje pluvial urbano sostenible para mitigar los efectos de las precipitaciones en el centro poblado Santa Clemencia, distrito de Chimbote, provincia del Santa, departamento de Áncash, con el propósito de mejorar la gestión de las aguas pluviales de manera sustentable.

La investigación fue de tipo aplicada, con un enfoque cuantitativo, de alcance descriptivo y con un diseño no experimental.

Se tuvo como resultado el análisis de la cuenca hidrográfica asociada al río Lacramarca, donde se determinaron sus características físicas, hidrológicas e hidráulicas. La obtención de información se basó en modelos satelitales y datos de precipitación, los cuales fueron procesados mediante los programas ArcGIS y HEC-HMS. Posteriormente, se efectuó la simulación en el software SWMM 5.2, incorporando modelos de sistemas de drenaje pluvial urbano sostenible con los resultados de la cuenca. Se plantearon dos alternativas: una basada en pavimentos permeables y otra en zanjas de infiltración. Los resultados de la simulación demostraron que ambas propuestas redujeron en su totalidad la escorrentía superficial, validando la eficacia de cualquiera de las dos alternativas para la mitigación de los problemas pluviales en la zona de estudio. Mientras que económicamente es más viable el uso de zanjas de infiltración.

*"Palabras clave"* drenaje pluvial urbano, sostenibilidad

EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE UN SISTEMA DE DRENAJE  
PLUVIAL URBANO SOTENIBLE USANDO SWMM 5.2 EN EL C.  
P.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	pirhua.udep.edu.pe Fuente de Internet	1 %
3	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1 %
4	repositorio.uni.edu.pe Fuente de Internet	1 %
5	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1 %
6	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	1 %
7	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
8	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
9	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
10	baixardoc.com Fuente de Internet	<1 %
11	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %

## DEDICATORIA

*A Dios, por haberme concedido la vida, la salud y la sabiduría necesarias para continuar, incluso en los momentos más difíciles. Su presencia ha sido guía y fortaleza en los momentos de incertidumbre.*

*A mis padres, Eduardo y Armandina, por ser el corazón de todo lo que soy, por su apoyo incondicional en cada etapa, por creer en mí aun cuando yo no lo hacía, y por enseñarme que, con esfuerzo y dedicación, todo es posible. Este logro también es suyo.*

*A mí hermano Renato, con la esperanza de que este trabajo sea para él una inspiración cuando le toque enfrentar sus propios desafíos académicos y profesionales. Que vea en este logro una muestra de que, con esfuerzo y determinación, todo es posible.*

*A mis familiares y amigos, quienes, con su confianza, palabras de aliento y compañía sincera, han sido parte fundamental de este proceso y hacer de este camino algo más llevadero.*

*Eduardo Armando Torreblanca Ruiz*

## DEDICATORIA

*Agradezco en primer lugar a Dios, fuente de fortaleza y esperanza, por guiar cada paso de mi camino y sostenerme en los momentos de mayor dificultad.*

*A mi amada familia, pilar fundamental de mi vida. A mi padre Luis y a mi madre Roxana, por su amor inmenso, sus sacrificios silenciosos y por enseñarme, a través de su ejemplo, que la constancia y la humildad son la base de todo logro. A mis hermanos Diego, Thiago y Arleth, dedico con profundo cariño este esfuerzo, con la esperanza de que se convierta en una luz e inspiración para sus propios sueños y metas.*

*Extiendo también mi gratitud a todas las personas que depositaron su confianza en mí, incluso a aquellas que ya partieron de este mundo, pero cuyo recuerdo permanece vivo en mi corazón y me impulsa a seguir adelante.*

*Luis Alessandro Valverde Mondalgo*

## **AGRADECIMIENTO**

*Queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a nuestro asesor, Ing. Rubén López Carranza, por habernos acompañado con paciencia, dedicación y sabios consejos en cada etapa de esta investigación. Su apoyo y confianza fueron una guía constante que nos motivó a superar las dificultades y a culminar este trabajo con éxito.*

*Agradecemos también a nuestros docentes de la Escuela de Ingeniería Civil, quienes con sus enseñanzas nos formaron no solo como profesionales, sino también como personas.*

*De manera especial, agradecemos a nuestros compañeros y amigos, quienes nos brindaron palabras de aliento y compartieron con nosotros este camino lleno de retos y aprendizajes.*

*Más que un logro individual, esta tesis representa el esfuerzo compartido de todos aquellos que nos acompañaron en el proceso. A cada persona que estuvo a nuestro lado con un consejo, una palabra de ánimo o un gesto de apoyo, les dedicamos con gratitud este logro.*

*Los Autores*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1.1. Descripción.....	1
1.1.2. Formulación del Problema .....	2
1.1.2.1. Problema General .....	2
1.1.2.2. Problemas Específicos.....	2
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.2.1. Objetivo General .....	2
1.2.2. Objetivos Específicos .....	2
1.3. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....	3
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA .....	3
1.4.1. Justificación.....	3
1.4.1.1. Teórica.....	3
1.4.1.2. Social .....	3
1.4.1.3. Económica.....	3
1.4.1.4. Ambiental .....	4
1.4.2. Importancia.....	4
II. MARCO TEÓRICO .....	6
2.1. ANTECEDENTES .....	6
2.1.1. Internacionales .....	6
2.1.2. Nacional .....	7
2.1.3. Locales .....	8
2.2. MARCO CONCEPTUAL.....	10
2.2.1. Cuenca Hidrográfica .....	10

2.2.1.1. Características Físicas .....	10
2.2.1.1.1. Área .....	10
2.2.1.1.2. Perímetro .....	10
2.2.1.1.3. Longitud de Máximo Recorrido .....	10
2.2.1.1.4. Índice de Compacidad.....	11
2.2.1.1.5. Factor de Forma .....	12
2.2.1.1.6. Pendiente Media.....	14
2.2.1.1.7. Curva Hipsométrica.....	14
2.2.1.1.8. Pendiente Media del Cauce .....	15
2.2.1.1.9. Tiempo de Concentración .....	16
2.2.1.1.10. Suelo.....	16
2.2.1.2. Características Hidrológicas.....	18
2.2.1.2.1. Precipitación Pluvial .....	18
2.2.1.2.2. Precipitación Areal .....	19
2.2.1.2.3. Análisis Estadístico de Datos Hidrológicos .....	20
2.2.1.2.4. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF).....	25
2.2.1.2.5. Hietograma de Diseño .....	26
2.2.1.3. Características Hidráulicas .....	28
2.2.1.3.1. Precipitación Efectiva. ....	28
2.2.1.3.2. Abstracción.....	28
2.2.1.3.3. Caudal de Diseño. ....	32
2.2.1.3.4. Hidrograma Unitario. ....	33
2.2.1.3.5. Método del Hidrograma Unitario Sintético Triangular del SCS .....	33
2.2.2. Sistema de Drenaje Urbano Sostenible .....	34

2.2.2.1. Pavimento Permeable .....	35
2.2.2.1.1. Ventajas .....	36
2.2.2.1.2. Estructura. ....	36
2.2.2.2. Zanja de Infiltración .....	40
2.2.2.2.1. Ventajas .....	41
2.2.2.2.2. Estructura. ....	42
2.2.3. SWMM 5.2.....	45
2.2.3.1. Elementos Visuales .....	45
2.2.3.1.1. Elementos Hidrológicos .....	46
2.2.3.1.2. Elementos Hidráulicos .....	49
2.2.3.2. Controles LID.....	50
2.2.3.2.1. Zanja de Infiltración .....	51
2.2.3.2.2. Pavimento Permeable .....	51
2.2.3.3. Métodos Computacionales .....	51
2.2.3.3.1. Escurrimiento Superficial.....	51
2.2.3.3.2. Infiltración .....	52
2.2.3.3.3. Enrutamiento de Flujo .....	53
III. METODOLOGÍA .....	54
3.1. MÉTODO.....	54
3.1.1. Enfoque de la Investigación .....	54
3.1.2. Alcance de la Investigación.....	54
3.1.3. Diseño de la Investigación .....	54
3.2. POBLACIÓN .....	94
3.3. MUESTRA.....	55
3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	55

3.4.1. Variables.....	55
3.4.2. Definición Conceptual.....	55
3.4.3. Definición Operacional .....	56
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	56
3.5.1. Técnicas.....	56
3.5.2. Instrumentos .....	57
3.6. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	59
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>62</b>
<b>4.1. RESULTADOS.....</b>	<b>62</b>
4.1.1. OE1: Características de la Cuenca .....	62
4.1.1.1. Características Físicas .....	62
4.1.1.2. Características Hidrológicas.....	66
4.1.1.3. Características Hidráulicas .....	70
4.1.2. OE2: Alternativas de SUDS .....	71
4.1.2.1. Modelamiento y Simulación de la red de drenaje pluvial propuesta .....	71
4.1.2.2. Modelamiento y Simulación de la red de drenaje pluvial propuesta integrando los SUDS .....	76
4.1.3. OE3: Elección de la Propuesta de SUDS .....	83
4.2. DISCUSIÓN.....	91
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>94</b>
5.1. CONCLUSIONES .....	94
5.2. RECOMENDACIONES .....	95
<b>VI. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>97</b>
<b>VII. ANEXOS .....</b>	<b>102</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Intervalos de Índice de Compacidad</i> .....	11
Tabla 2 <i>Intervalos de Factores de Forma</i> .....	13
Tabla 3 <i>Grupos Hidrológicos del Suelo</i> .....	17
Tabla 4 <i>Valores Críticos <math>\alpha</math> de Smirnov-Kolmogorov para diferentes Tamaños de Muestra</i> ...	24
Tabla 5 <i>Clasificación de Clases Antecedentes de Humedad (AMC) para el Método de Abstracciones de Lluvia del SCS</i> .....	31
Tabla 6 <i>Número de Curva según Uso de Suelo y Grupo Hidrológico</i> .....	32
Tabla 7 <i>Coeficiente de rugosidad de Manning (<math>n</math>) para escurrimiento superficial</i> .....	47
Tabla 8 <i>Almacenamiento por Depresiones</i> .....	48
Tabla 9 <i>Operacionalización de Variables</i> .....	56
Tabla 10 <i>Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca del Río Lacamarca</i> .....	63
Tabla 11 <i>Precipitación Areal Máxima en al Cuenca del Río Lacamarca 1981-2025</i> .....	67
Tabla 12 <i>Pruebas de Bondad de Ajuste para la Precipitación Areal Máxima Mensual entre 1981-2024 en la Cuenca del Río Lacamarca</i> .....	69
Tabla 13 <i>Precipitación Máxima para distintos Periodos de Retorno en la Cuenca del río Lacamarca</i> .....	69
Tabla 14 <i>Caudales Máximos de Diseño en la Cuenca del Río Lacamarca</i> .....	70
Tabla 15 <i>Precipitaciones de diseño para la red de drenaje pluvial propuesta</i> .....	71
Tabla 16 <i>Parámetros de las subcuenca de la red de drenaje pluvial propuesta</i> .....	72
Tabla 17 <i>Parámetros de los nodos de la red de drenaje pluvial propuesta</i> .....	73
Tabla 18 <i>Parámetros de los conductos de la red de drenaje pluvial propuesta</i> .....	74
Tabla 19 <i>Escoorrentía Superficial de Subcuenca sin integrar SUDS</i> .....	84
Tabla 20 <i>Escoorrentía Superficial de Subcuenca integrando al Pavimento Permeable</i> .....	85
Tabla 21 <i>Escoorrentía Superficial de Subcuenca integrando a las Zanjas de Infiltración</i> .....	87

Tabla 22 Comparación del Volumen de Escorrentía Superficial Total de la red de drenaje pluvial propuesta con y sin la integración de SUDS .....	88
Tabla 23 Comparación del Volumen de Escorrentía Superficial de las subcuenca de la red de drenaje con y sin la integración de SUDS .....	89
Tabla 24 Costo de Instalación del Pavimento Permeable .....	90
Tabla 25 Costo de Instalación de la Zanja de Infiltración .....	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Curva Hipsométrica</i> .....	15
Figura 2 <i>Ciclo de Precipitación</i> .....	19
Figura 3 <i>Ejemplo de Curva IDF</i> .....	26
Figura 4 <i>Ejemplo de Hietograma de Diseño</i> .....	27
Figura 5 <i>Precipitación Efectiva</i> .....	29
Figura 6 <i>Ejemplo de Hietograma de Precipitación Efectiva</i> .....	30
Figura 7 <i>Hidrograma Unitario Triangular del SCS</i> .....	34
Figura 8 <i>Pavimento Permeable</i> .....	35
Figura 9 <i>Sección transversal de pavimento permeable estándar sin dren subterráneo</i> .....	37
Figura 10 <i>Zanja de Infiltración</i> .....	41
Figura 11 <i>Sección transversal de zanja de infiltración</i> .....	42
Figura 12 <i>Elementos visuales empleados en la modelación de sistemas de drenaje pluvial en SWMM</i> .....	45
Figura 13 <i>Vista conceptual del escurrimiento superficial</i> .....	52
Figura 14 <i>Cuenca Hidrográfica del Río Lacramarca</i> .....	62
Figura 15 <i>Curva Hipsométrica de la Cuenca del río Lacramarca</i> .....	64
Figura 16 <i>Perfil Longitudinal del Río Lacramarca</i> .....	65
Figura 17 <i>Curva Granulométrica de la Calicata C-01</i> .....	65
Figura 18 <i>Curva Granulométrica de la Calicata C-02</i> .....	66
Figura 19 <i>Distribuciones de Probabilidad de la Precipitación Areal Máxima Mensual entre 1981-2024 en la Cuenca del Río Lacramarca</i> .....	68
Figura 20 <i>Hidrograma Unitario para distintos Periodos de Retorno en la Cuenca del Río Lacramarca</i> .....	70
Figura 21 <i>Red de Drenaje Pluvial Propuesta</i> .....	75

Figura 22 Estado de Ejecución de la Simulación de la red de drenaje pluvial propuesta .....	76
Figura 23 Área de intervención del Pavimento Permeable.....	77
Figura 24 Área de intervención de las Zanjas de Infiltración.....	77
Figura 25 Diseño de Pavimento Permeable .....	78
Figura 26 Diseño de Zanja de Infiltración .....	78
Figura 27 Modelamiento de la capa superficial “Surface” de Pavimento Permeable en SWMM .....	79
Figura 28 Modelamiento de la capa pavimento “Pavement” de Pavimento Permeable en SWMM .....	79
Figura 29 Modelamiento de la capa de almacenamiento “Storage” de Pavimento Permeable en SWMM .....	80
Figura 30 Modelamiento de la capa superficial “Surface” de Zanja de Infiltración en SWMM .....	80
Figura 31 Modelamiento de la capa de almacenamiento “Storage” de Zanja de Infiltración en SWMM .....	81
Figura 32 Integración de Pavimento Permeable a la red de drenaje pluvial propuesta .....	81
Figura 33 Integración de Zanja de Infiltración a la red de drenaje pluvial propuesta .....	82
Figura 34 Estado de Ejecución de la Simulación de la red de drenaje pluvial propuesta integrando Pavimento Permeable .....	82
Figura 35 Estado de Ejecución de la Simulación de la red de drenaje pluvial propuesta integrando Zanja de Infiltración .....	83

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 <i>Matriz de Consistencia</i> .....	102
Anexo 2 <i>Matriz de Operacionalización de Variables</i> .....	103
Anexo 3 <i>Estudio de Mecánica de Suelos</i> .....	105
Anexo 4 <i>Estudio Hidrológico</i> .....	111
Anexo 5 <i>Precipitación Máxima usando SENHAMI-PISCOp</i> .....	115
Anexo 6 <i>Análisis Estadístico de Precipitaciones con Hydrognomon</i> .....	122
Anexo 7 <i>Cálculo de Curvas IDF</i> .....	126
Anexo 8 <i>Hietogramas de Precipitación</i> .....	140
Anexo 9 <i>Ánalysis Hidráulico de la Cuenca del Río Lacramarca en HEC-HMS</i> .....	147
Anexo 10 <i>Procedimiento de Simulación de SUDS en SWMM</i> .....	161
Anexo 11 <i>Procedimiento de Diseño de SUDS</i> .....	202
Anexo 12 <i>Planos</i> .....	215

## **RESUMEN**

El objetivo general de esta investigación fue evaluar y proponer un sistema de drenaje pluvial urbano sostenible para mitigar los efectos de las precipitaciones en el centro poblado Santa Clemencia, distrito de Chimbote, provincia del Santa, departamento de Áncash, con el propósito de mejorar la gestión de las aguas pluviales de manera sustentable.

La investigación fue de tipo aplicada, con un enfoque cuantitativo, de alcance descriptivo y con un diseño no experimental.

Se tuvo como resultado el análisis de la cuenca hidrográfica asociada al río Lacramarca, donde se determinaron sus características físicas, hidrológicas e hidráulicas. La obtención de información se basó en modelos satelitales y datos de precipitación, los cuales fueron procesados mediante los programas ArcGIS y HEC-HMS. Posteriormente, se efectuó la simulación en el software SWMM 5.2, incorporando modelos de sistemas de drenaje pluvial urbano sostenible con los resultados de la cuenca. Se plantearon dos alternativas: una basada en pavimentos permeables y otra en zanjas de infiltración. Los resultados de la simulación demostraron que ambas propuestas redujeron en su totalidad la escorrentía superficial, validando la eficacia de cualquiera de las dos alternativas para la mitigación de los problemas pluviales en la zona de estudio. Mientras que económico es más viable el uso de zanjas de infiltración.

**“Palabras clave”** *drenaje pluvial urbano, sostenibilidad*

## **ABSTRACT**

The general objective of this research was to evaluate and propose a sustainable urban stormwater drainage system to mitigate the effects of rainfall in the rural town of Santa Clemencia, Chimbote district, Santa province, Áncash department, with the purpose of improving stormwater management in a sustainable manner.

The research was applied in nature, with a quantitative approach, descriptive scope, and a non-experimental design.

As a result, the analysis of the watershed associated with the Lacramarca River was carried out, where its physical, hydrological, and hydraulic characteristics were determined. The information was obtained from satellite models and rainfall data, which were processed using ArcGIS and HEC-HMS software. Subsequently, the simulation was performed in SWMM 5.2, incorporating sustainable urban stormwater drainage system models with the watershed results. Two alternatives were proposed: one based on permeable pavements and another on infiltration trenches. The simulation results showed that both proposals completely reduced surface runoff, validating the effectiveness of either alternative for mitigating stormwater problems in the study area. While the use of infiltration trenches is economically more viable.

***“Keywords” urban stormwater drainage, sustainability***

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.1.1. Descripción

En el Perú, el impacto del fenómeno de El Niño es una preocupación constante, particularmente en las regiones costeras.

Tal como informa CENEPRED (2012), en relación al Escenario de Riesgos por la probabilidad de ocurrencia del Fenómeno El Niño, se estima que 734 distritos del Perú podrían verse afectados, con un impacto potencial en casi dos millones de viviendas y más de siete millones de habitantes. Gran parte de esta población se encuentra en el norte del país, incluyendo departamentos como Tumbes, Piura, Lambayeque, Cajamarca, La Libertad y Áncash. Donde se prevé que, en 150 distritos del país, alrededor de 748,473 personas estarían en peligro de ser afectadas por estos fenómenos.

Particularmente en Áncash donde se desarrolla nuestra investigación, CENEPRED, (2024) informa que el distrito de Chimbote presenta una vulnerabilidad alta ante las lluvias intensas y movimientos de tierra. En una estimación de pérdidas se llegó a la conclusión que se tendría pérdidas de S/. 51,253,405.50 representando el 41.6% de daños totales estimados de la provincia del Santa.

El Centro Poblado Santa Clemencia en Chimbote es una de las zonas afectadas por el fenómeno de El Niño. Chimbote en Línea (2017) afirma que “el desborde del río Lacramarca ha dejado 800 hectáreas de cultivo dañadas y la destrucción de algunos puentes artesanales” durante el fenómeno del Niño ocurrido en ese tiempo.

Durante este evento climático, el caudal del río Lacramarca aumenta considerablemente, generando una escorrentía excesiva que las calles y viviendas de Santa Clemencia no pueden manejar debido a la ausencia de un sistema de drenaje pluvial adecuado. Esta situación provoca inundaciones recurrentes que dañan la infraestructura local, dificultan

el acceso y movilidad, y generan un ambiente propicio para la proliferación de enfermedades

### **1.1.2. Formulación del Problema**

#### **1.1.2.1. Problema General.** Se plantea la siguiente interrogante:

- ¿Cuál es la propuesta de sistema de drenaje pluvial urbano sostenible usando el software SWMM 5.2 en el C.P. Santa Clemencia-Chimbote?

#### **1.1.2.2. Problemas Específicos.** Del problema general se desprende los siguientes problemas específicos:

- ¿Cuáles son las características físicas, hidrológicas e hidráulicas de la cuenca donde se encuentra al C.P. Santa Clemencia-Chimbote?
- ¿Cuáles son las dos alternativas de propuesta de sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) elaborado con SWMM 5.2 en el C.P. Santa Clemencia-Chimbote?
- ¿Cuál es la alternativa de propuesta de sistema de drenaje sostenible más adecuada a utilizar en el C.P. Santa Clemencia-Chimbote?

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo General**

- Evaluar la propuesta de sistema de drenaje pluvial urbano sostenible usando el software SWMM 5.2 en el C.P. Santa Clemencia-Chimbote

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Determinar las características físicas, hidrológicas e hidráulicas de la cuenca donde se encuentra el C.P. Santa Clemencia-Chimbote.
- Formular dos alternativas de propuestas de sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) elaborado con el software SWMM 5.2.
- Escoger la mejor propuesta de sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) considerando aspectos técnicos y económicos.

### **1.3. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

La propuesta de un sistema de drenaje pluvial urbano sostenible diseñada mediante el software SWMM 5.2 reducirá la escorrentía superficial en el Centro Poblado Santa Clemencia – Chimbote en comparación con las condiciones actuales.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

#### ***1.4.1. Justificación***

**1.4.1.1. Teórica.** El diseño de un sistema de drenaje pluvial urbano sostenible utilizando el software SWMM 5.2 en el C.P. Santa Clemencia-Chimbote ofrece una solución moderna y eficiente para enfrentar los problemas de inundaciones que afectan a la zona. Este estudio permitirá aplicar herramientas de simulación hidráulica e hidrológica avanzadas, optimizando la infraestructura pluvial mediante el uso de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Además, se evaluará la eficacia de este tipo de sistema de drenaje, garantizando que el sistema propuesto sea viable y adecuado a las características de la localidad, contribuyendo a la mejora del diseño técnico de sistemas de drenaje.

**1.4.1.2. Social.** Las inundaciones producidas por precipitaciones pluviales en Santa Clemencia han generado problemas de seguridad y bienestar para los habitantes, afectando su calidad de vida y la infraestructura local. El desarrollo de un sistema de drenaje sostenible ayudará a reducir los riesgos de inundaciones, proporcionando mayor seguridad a la población. Asimismo, la implementación de SUDS no solo mitigará los problemas relacionados con el exceso de agua pluvial, sino que también fomentará la conciencia sobre la sostenibilidad, mejorando la percepción y participación de la comunidad en la conservación de su entorno.

**1.4.1.3. Económica.** Las soluciones convencionales de drenaje urbano suelen ser costosas tanto en su instalación como en su mantenimiento. El uso de tecnologías sostenibles como los SUDS ofrece una alternativa más rentable, ya que promueven la infiltración natural del agua, reduciendo la necesidad de grandes infraestructuras de canalización y bombeo.

Además, al prevenir daños por inundaciones, se minimizan las pérdidas económicas asociadas a la reparación de infraestructuras y propiedades.

**1.4.1.4. Ambiental.** La implementación de un sistema de drenaje sostenible tiene un impacto positivo en el medio ambiente, ya que se promueve la infiltración natural del agua en el suelo, reduciendo la escorrentía superficial y disminuyendo la carga sobre los sistemas de drenaje convencionales. Además, los SUDS contribuyen a la recarga de acuíferos y a la mejora de la calidad del agua, al permitir la filtración de contaminantes a través de suelos vegetados y sistemas de biofiltración. De esta manera, se fomenta una gestión hídrica más respetuosa con el entorno natural, protegiendo la biodiversidad local y reduciendo la contaminación de los cuerpos de agua cercanos, como el río Lacramarca.

#### **1.4.2. Importancia**

Desde el aspecto técnico-ingenieril, este estudio es fundamental ya que permitirá evaluar las condiciones actuales del sistema de drenaje en el Centro Poblado Santa Clemencia y proponer soluciones sostenibles que se adapten a las características específicas de la zona. La implementación de Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS) representa un avance significativo respecto a los sistemas convencionales, pues integra aspectos ambientales y sociales en su diseño.

Desde la perspectiva ambiental, la investigación cobra relevancia al buscar soluciones que minimicen el impacto sobre los recursos hídricos locales y promuevan la gestión sostenible del agua pluvial. Los SUDS pueden contribuir a la recarga de acuíferos, reducción de la contaminación y mejora de la calidad del agua.

En el ámbito social, el estudio es importante porque contribuirá a mejorar la calidad de vida de los habitantes de Santa Clemencia. Un sistema de drenaje eficiente reduce los riesgos de inundaciones, problemas de salubridad y daños a la infraestructura urbana, aspectos que afectan directamente a la población.

Desde el punto de vista económico, la propuesta de un sistema sostenible puede representar una alternativa costo-efectiva a largo plazo, considerando los beneficios en términos de mantenimiento, durabilidad y servicios ecosistémicos que estos sistemas proveen.

Adicionalmente, esta investigación servirá como referente para otros centros poblados de la costa peruana con características similares, contribuyendo así al desarrollo de conocimiento en el campo de la ingeniería civil y la gestión sostenible del agua urbana en el contexto peruano.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. ANTECEDENTES**

#### ***2.1.1. Internacionales***

Bernal (2022) en su investigación titulada “Diseño de un SUDS para la Avenida Circunvalar de Oriente entre la calle 50 Sur a la calle 42C Sur” propuso evaluar y diseñar un sistema urbano de drenaje que fuera sostenible en el tramo antes mencionado. Tuvo como resultado las áreas disponibles para la realización de los SUDS donde se aplicó dos tipos de SUDS los cuales son los arcos inundables y cunetas verdes que son característicos por poseer mucha vegetación. Todo esto en concordancia con la norma EAAB NS-166. Llegó a la conclusión que estos SUDS son efectivos eliminando la escorrentía superficial en su totalidad.

Castro (2022) en su investigación titulada “Sistema Urbano de Drenaje Sustentable (SUDS) para la Lotización Pájaro Azul ubicado en km 10.5 Vía a Data del Cantón Playas Villamil” planteó diseñar un SUDS que se adecue a las condiciones del entorno. Llegó a la conclusión que se presentaron fallas en el sistema tradicional de drenaje, como el encarecimiento del proceso por la protección necesaria para las tuberías debido a su poca profundidad. También se recomendó el uso del subdren francés, que se adapta al tipo de suelo (arenoso con finos) ya que este sistema evitó que el agua recorra grandes distancias y sirve como filtro, donde se mejoró la calidad del agua que se infiltra. Comparó los costos entre el sistema tradicional y el SUDS, donde el subdren francés es un 36% más económico y representa una mejor opción para la lotización.

Suárez (2023) en su investigación titulada “Modelación y Diseño de Pozos de Infiltración como Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)” tuvo como objetivo proponer un método de cálculo y diseño de sistemas de infiltración que puedan integrarse en los sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS), específicamente mediante el uso de pozos de infiltración. Se desarrolló una herramienta hidro-informática para facilitar el análisis y

diseño de estos sistemas, la cual calcula hidrogramas de salida en situaciones de saturación del suelo. Esta herramienta incluyó tres módulos que abordan los métodos de cálculo, las condiciones iniciales y la presentación de los resultados. Como conclusión, la propuesta de método permitió determinar el número de pozos necesarios y su comportamiento frente a diferentes escenarios de escurrimiento, lo que proporciona información valiosa para la implementación de SUDS en redes de drenaje pluvial.

### **2.1.2. Nacional**

Chuquimango (2022) en su trabajo de investigación titulada “Evaluación del Sistema de Drenaje Pluvial del Sector la Molina distrito de Baños del Inca – Cajamarca” analizó el sistema de drenaje en esta zona afectada por inundaciones y sedimentación durante los meses de invierno. El objetivo principal fue evaluar la infraestructura de drenaje existente a través de inspecciones en campo, levantamientos topográficos y evaluaciones hidráulicas, utilizando las metodologías de Manning y el Método Racional en un área de 27.87 hectáreas. Concluyó que el 78% de las cunetas principales tienen una capacidad insuficiente, lo que genera desbordes e inundaciones. Además, se identificó problemas de acumulación de sedimentos debido a la falta de pendiente y velocidad del flujo, y destacó que el mantenimiento de la infraestructura es deficiente, lo que agrava la situación.

Albines (2023) en su tesis titulada “Propuesta de Mejoramiento del Sistema de Drenaje Pluvial Urbano de la Cuenca Alameda - Ayacucho utilizando SUDS” tuvo como propósito mejorar el sistema de drenaje actual de la cuenca urbana del río Alameda en Ayacucho, utilizando soluciones sostenibles (SUDS). Primero evaluó el sistema de drenaje existente mediante un modelo hidráulico e hidrológico en SWMM, complementado con un análisis hidrológico en HEC-HMS para las cuencas cercanas. Posteriormente evaluó 7 escenarios. En el primer escenario se revisó el drenaje actual, identificando calles y alcantarillas con riesgo de deslizamiento y colapso. En el segundo, se analizó preliminarmente el riesgo de inundación en

quebradas. Los siguientes dos escenarios ( $3^{\circ}$  y  $4^{\circ}$ ) evaluaron mejoras con sistemas convencionales, como alcantarillas y estructuras de encauzamiento. Para áreas urbanas con limitaciones propuso una única alternativa basada en pavimento permeable y zanjas de infiltración (escenario 5). En zonas donde es posible, presentó dos opciones sostenibles: pavimento permeable (Alternativa 1) y zanjas de infiltración (Alternativa 2), evaluadas en los escenarios  $6^{\circ}$  y  $7^{\circ}$ . Al final concluyó que estas propuestas de mejora reducen el riesgo en calles, alcantarillas y quebradas, pero tras evaluar las opciones con criterios técnicos, económicos y ambientales, se determinó que la Alternativa 1 (pavimento permeable) fue la mejor opción.

Vasquez & Valdivia (2024) en su trabajo de investigación titulada “Diseño de un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible en el distrito de Huancayo-Región de Junín con Adaptación a Escenarios Climáticos y Modificación de la Norma Técnica Peruana CE.040” tuvieron como objetivo identificar los puntos críticos de la red de alcantarillado en la zona monumental del distrito de Huancayo y proponer soluciones sostenibles para la gestión de aguas pluviales, considerando precipitaciones de 25 años de período de retorno. Identificaron ocho puntos saturados en la red de alcantarillado, evidenciando la falta de preparación para eventos de lluvia intensa y los impactos en la infraestructura urbana. Realizaron un análisis de técnicas de gestión de aguas pluviales, y concluyeron que las cubiertas verdes y los pavimentos permeables son soluciones viables que permiten la infiltración y retención del agua, reduciendo el escurrimiento y mejorando la eficiencia del sistema de drenaje. Además, estas técnicas aportan beneficios ambientales y estéticos, fomentando la sostenibilidad y la resiliencia del distrito de Huancayo ante eventos climáticos extremos.

### **2.1.3. Locales**

Floriano (2019) en su trabajo de investigación titulado “Propuesta de Drenaje Pluvial en la Urbanización Praderas III Etapa, del Distrito de Nuevo Chimbote – Santa – Áncash” cuyo objetivo fue realizar un diseño de sistema de drenaje en esta zona. Tuvo como resultados que

la intensidad de diseño en esta locación fue de 2.86 mm/hr y como solución se planteó una cuneta con dimensiones de espejo de agua 1.25 m, tirante de 16 cm y un flujo supercrítico.

Julca (2019) en su trabajo de investigación titulado “Propuesta del Dren de Evacuación de Aguas Pluviales en el Jr. Leoncio Prado tramo Av. Aviación – Jr. Amazonas y su Efecto en la Transitabilidad, Chimbote – Ancash – 2019” tuvo como fin proponer una solución que evacúe las aguas de lluvia que se generan en el Jr. Leoncio Prado para lo cual planteó una propuesta de dren de evacuación. Su estudio concluyó que la instalación de un drenaje urbano de 2280.13 metros en ambos lados del pavimento en el jirón Leoncio Prado fue esencial para mejorar la circulación durante lluvias intensas, garantizando mayor seguridad para vehículos y peatones. Se utilizó el método racional para calcular el caudal máximo en un área de menos de 13 km<sup>2</sup>, siguiendo la norma OS-060 del RNE, y realizó cálculos topográficos para determinar la pendiente y asegurar una evacuación rápida del agua. El diseño del dren incluye rejillas y tapas de acero, con dimensiones óptimas para manejar las precipitaciones. Se observó que la pendiente del terreno favorece el flujo de agua superficial, lo que mejora la eficiencia del drenaje. En cuanto al tráfico vehicular, detectó una circulación diaria de 3303 vehículos, con una alta proporción de automóviles (65.65%). Las encuestas que realizó a 67 conductores mostraron que más del 60% percibe una influencia negativa en la transitabilidad durante lluvias, lo que refuerza la necesidad de implementar este sistema de drenaje.

Lavado & Machado (2023) en su trabajo de investigación titulado “La Influencia de las Precipitaciones Pluviales en las Principales Avenidas del Distrito de Nuevo Chimbote, Ancash 2023” verificaron cómo afectan las precipitaciones pluviales a las avenidas principales de Nuevo Chimbote, evaluando la susceptibilidad de la mezcla asfáltica y sus fallas superficiales. Ellos propusieron sistemas de drenaje sostenible (SUDS) para mitigar estos efectos. El estudio evaluó briquetas de mezcla asfáltica, con y sin aditivos, en estados secos y saturados. Los resultados muestran que las lluvias afectan negativamente los pavimentos flexibles, y

concluyeron que es necesario mejorar el manejo de la mezcla asfáltica durante su producción, considerando el ensayo Lottman.

## **2.2. MARCO CONCEPTUAL**

### ***2.2.1. Cuenca Hidrográfica***

Una cuenca hidrográfica es un área delimitada por elevaciones naturales donde el agua de la lluvia y otras fuentes de escorrentía se acumulan y fluyen hacia un único punto de descarga, como un río, lago o el océano. Este territorio actúa como un sistema de drenaje natural, canalizando tanto aguas superficiales como subterráneas hacia un mismo destino. (Te Chow et al., 1994, p. 66)

#### **2.2.1.1. Características Físicas**

**2.2.1.1.1. Área.** Es la superficie comprendida dentro de la divisoria de aguas que drena hacia un punto de salida común. Su determinación se realiza mediante métodos cartográficos y sistemas de información geográfica, utilizando mapas topográficos o modelos digitales de elevación. Este parámetro controla la cantidad de escorrentía generada y se expresa en unidades de superficie, generalmente kilómetros cuadrados o hectáreas. (Mejía, 2006, p. 47)

**2.2.1.1.2. Perímetro.** Es la longitud total de la línea divisoria de aguas que delimita su contorno. Se obtiene mediante el trazado de la divisoria en mapas topográficos o mediante sistemas de información geográfica. Este parámetro se expresa en unidades de longitud, como kilómetros o metros, y se utiliza en el cálculo de índices morfométricos que caracterizan la forma y el grado de compactación de la cuenca. Generalmente se expresa en km. (Mejía, 2006, p. 45)

**2.2.1.1.3. Longitud de Máximo Recorrido.** Es la distancia medida a lo largo del cauce principal desde el punto más alejado de la cuenca hasta la salida. Este parámetro se determina mediante el trazado del cauce en mapas topográficos o con herramientas de sistemas de información geográfica. Su valor se expresa en unidades de longitud, generalmente en

kilómetros o metros, y se emplea en el cálculo del tiempo de concentración y en el análisis hidrológico de la respuesta de la cuenca frente a un evento de precipitación. (Ordoñez, 2011, p. 19)

**2.2.1.1.4. Índice de Compacidad.** El índice de compacidad, también conocido como índice de Gravelius, es un parámetro morfométrico que relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo de igual área (Lux, s.f., p. 4). Se expresa mediante la ecuación:

$$K_c = \frac{fP_c}{2\sqrt{\pi A_c}}$$

Donde  $P$  es el perímetro de la cuenca y  $A$  su área. El valor mínimo posible corresponde a la unidad, que representa la condición de máxima compacidad al compararse con un círculo. A medida que el índice aumenta, la cuenca presenta una forma más alargada o irregular. Este parámetro se utiliza para analizar la influencia de la geometría de la cuenca en la concentración de escorrentía y en la respuesta hidrológica (Lux, s.f., p. 4).

**Tabla 1**

*Intervalos de Índice de Compacidad*

<b>Índice de Compacidad (<math>K_c</math>)</b>	<b>Forma de la Cuenca</b>	<b>Posibilidad de Crecida</b>
1.00 - 1.25	Circular	Alta
1.25 - 1.50	Oval redonda a oval oblonga	Media
1.50 - 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga	Baja
< 1.75	Rectangular oblonga a alargada	Muy baja

*Nota.* Elaboración propia, adaptado de *Análisis Morfológico de Microcuencas Afectadas por Flujos de Detritos bajo Precipitación Intensa en la Quebrada de Camiña, Norte Grande de Chile* por Meza et al., 2014.

**2.2.1.1.5. Factor de Forma.** El factor de forma es un índice morfométrico que relaciona el área de la cuenca con el cuadrado de la longitud de su cauce principal. Se expresa mediante la ecuación:

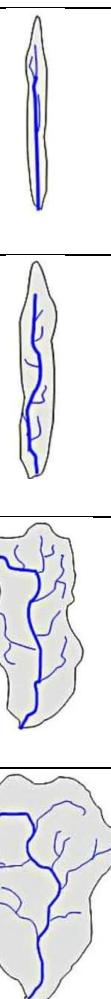
$$F = \frac{A}{L^2}$$

Donde  $A$  es el área de la cuenca y  $L$  la longitud del cauce principal. Este factor permite describir la tendencia de la cuenca hacia formas alargadas o compactas. Valores cercanos a la unidad indican una forma casi circular, mientras que valores bajos representan cuencas alargadas. El factor de forma se utiliza en hidrología para evaluar la influencia de la geometría en la concentración de caudales y en la forma del hidrograma de salida. (Lux, s.f., p. 3)

**Tabla 2**

*Intervalos de Factores de Forma*

<b>Factor de Forma (F)</b>	<b>Forma de la Cuenca</b>
0.10 – 0.25	Estrecha
0.25 – 0.50	Alargada
0.50 – 0.75	Amplia
0.75 – 1.00	Ancha



*Nota.* Elaboración propia, adaptado de *Análisis Morfológico de Microcuencas Afectadas por Flujos de Detritos bajo Precipitación Intensa en la Quebrada de Camiña, Norte Grande de Chile* por Meza et al., 2014.

**2.2.1.1.6. Pendiente Media.** La pendiente media de la cuenca es un parámetro morfométrico que representa la inclinación promedio del terreno comprendido dentro de la divisoria de aguas. Su determinación se realiza a partir de técnicas estadísticas que integran la variación de pendientes en diferentes sectores de la cuenca. Uno de los métodos más utilizados es el promedio ponderado, en el cual la pendiente de cada unidad o intervalo se multiplica por el área que representa, para luego dividir entre el área total de la cuenca. (Villón, s.f.)

Matemáticamente, se expresa como:

$$S_m = \frac{\sum(S_i * A_i)}{\sum A_i}$$

Donde  $S_i$  es la pendiente de cada sector y  $A_i$  el área correspondiente. Este procedimiento permite obtener un valor representativo de la inclinación general de la cuenca, reduciendo la influencia de irregularidades locales del relieve.

**2.2.1.1.7. Curva Hipsométrica.** La curva hipsométrica es la representación gráfica de la relación entre las áreas acumuladas de una cuenca y sus respectivas altitudes. Se construye a partir de la distribución de superficies comprendidas entre curvas de nivel sucesivas, expresando en el eje de abscisas el porcentaje de área acumulada y en el eje de ordenadas la altitud relativa (Ordoñez, 2011, p. 22).

Este análisis permite caracterizar el relieve y el grado de disección de la cuenca. Las cuencas con curvas hipsométricas convexas suelen asociarse a estados juveniles del relieve, mientras que las curvas cóncavas reflejan cuencas maduras con mayor estabilidad geomorfológica.

La interpretación de la curva hipsométrica permite identificar el estado evolutivo de la cuenca hidrográfica en función de la forma de la curva obtenida. De acuerdo con la teoría de Strahler (1952), se distinguen tres tipos principales:

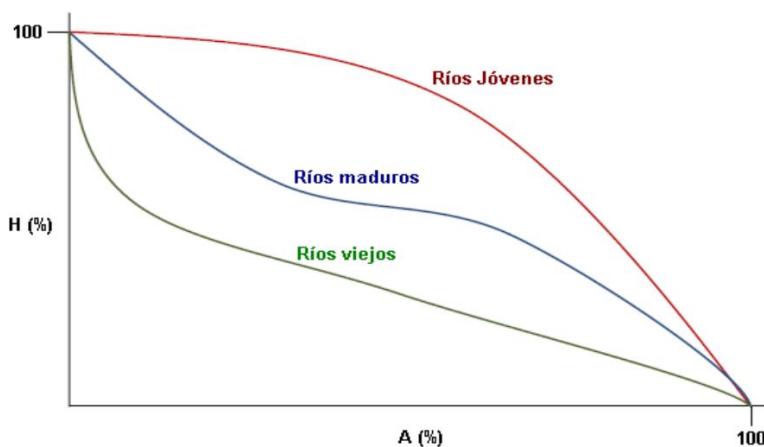
- Juvenil: la curva presenta una forma convexa, lo que indica que la mayor parte del área de la cuenca se encuentra a elevaciones altas. Este comportamiento refleja un relieve poco

erosionado y con pendientes pronunciadas.

- Maduro: la curva muestra una forma intermedia entre convexa y cóncava, representando una cuenca en equilibrio entre los procesos de erosión y estabilidad.
- Senil o viejo: la curva es predominantemente cóncava, indicando que gran parte del área se localiza a bajas altitudes. Este estado corresponde a un relieve más erosionado y con pendientes suaves.

### **Figura 1**

*Curva Hipsométrica*



*Nota.* Extraído de *¿Qué es una Cuenca Hidrológica?* por Ordoñez, 2011, p. 22.

**2.2.1.1.8. Pendiente Media del Cauce.** La pendiente media del cauce es un parámetro hidráulico que expresa la inclinación promedio del cauce principal de una cuenca. Se determina considerando los diferentes tramos en que puede dividirse el cauce, cada uno con su longitud y pendiente parcial. Para obtener un valor representativo, se aplica el método del promedio ponderado, en el cual cada pendiente parcial se multiplica por la longitud del tramo correspondiente y se divide entre la longitud total del cauce (Mejía, 2006, p. 49). Se expresa como:

$$S_m = \frac{\sum(S_i * L_i)}{\sum L_i}$$

Donde  $S_i$  es la pendiente del tramo  $i$ ,  $L_i$  es la longitud de dicho tramo, y  $\sum L_i$

corresponde a la longitud total del cauce principal.

El valor obtenido se expresa en porcentaje o en metros por metro, y se utiliza en hidrología aplicada para estimar el tiempo de concentración.

**2.2.1.1.9. Tiempo de Concentración.** El tiempo de concentración es el intervalo requerido para que una gota de agua precipitada en el punto más alejado de la cuenca llegue a la salida de la misma. Este parámetro representa el tiempo característico de respuesta hidrológica de la cuenca frente a un evento de precipitación y determina la duración mínima de la lluvia efectiva capaz de producir el caudal máximo de escorrentía. (Te Chow, Maidment & Mays, 1994, p. 120)

Su estimación se realiza mediante expresiones empíricas o semiempíricas que consideran las características físicas de la cuenca, tales como área, longitud de recorrido, pendiente y coeficiente de rugosidad. Entre los métodos más empleados se encuentran Kirpich, Giandotti, Témez, Ven Te Chow, entre otros. Cada uno de ellos se aplica en función de las condiciones geomorfológicas, climáticas y de escala de la cuenca en estudio.

El método más aceptado es el de Kirpich (1940) desarrollada a partir de observaciones en cuencas naturales de pequeña extensión y pendiente pronunciada. La ecuación se expresa de la siguiente forma:

$$t_c = 3.98 \left( \frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77}$$

Donde  $t_c$  es el tiempo de concentración en minutos,  $L$  es la longitud del cauce principal en metros, y  $S$  es la pendiente del cauce principal en m/m.

**2.2.1.1.10. Suelo.** El suelo es un componente fundamental en el comportamiento hidrológico de una cuenca, debido a que regula los procesos de infiltración, almacenamiento y generación de escorrentía superficial. La capacidad de infiltración se define como la máxima velocidad con la que el agua puede ingresar en el perfil del suelo bajo condiciones determinadas y depende de factores como textura, estructura, porosidad, compactación y humedad

antedecedente. Cuando la intensidad de la lluvia excede dicha capacidad, el exceso de agua se transforma en escorrentía superficial, modificando la respuesta hidrológica de la cuenca. (Viji, Rajesh, Prasanna, & Ilangovan, 2015)

Con el fin de incorporar este efecto en los cálculos de escorrentía, el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) clasifica los suelos en grupos hidrológicos (A, B, C y D) en función de su capacidad de infiltración. Los suelos del grupo A corresponden a los de mayor infiltración y, por lo tanto, menor escorrentía; los del grupo D representan las condiciones opuestas, con muy baja infiltración y alta generación de escorrentía, mientras que los grupos intermedios (B y C) presentan comportamientos progresivamente más restrictivos.

**Tabla 3**

*Grupos Hidrológicos del Suelo*

<b>Grupo Hidrológico del Suelo</b>	<b>Infiltración</b>	<b>Características</b>	<b>Textura</b>
A	Rápida	Alta capacidad de infiltración>79mm/h	Arenosa Arenosa Limosa
B	Moderada	Capacidad de infiltración 76-38mm/h	Franco Franco-arcillosa-arenosa Franco-lomisa
C	Lenta	Capacidad de infiltración 36-13mm/h	Franco-arcilloso Franco-arcillosa-limosa Arcillo-arenosa
D	Muy lenta	Capacidad de infiltración<13mm/h	Arcillosa

*Nota.* Elaboración propia, adaptado de *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje* por Ministerios de Transportes y Comunicaciones, s.f.

### **2.2.1.2. Características Hidrológicas**

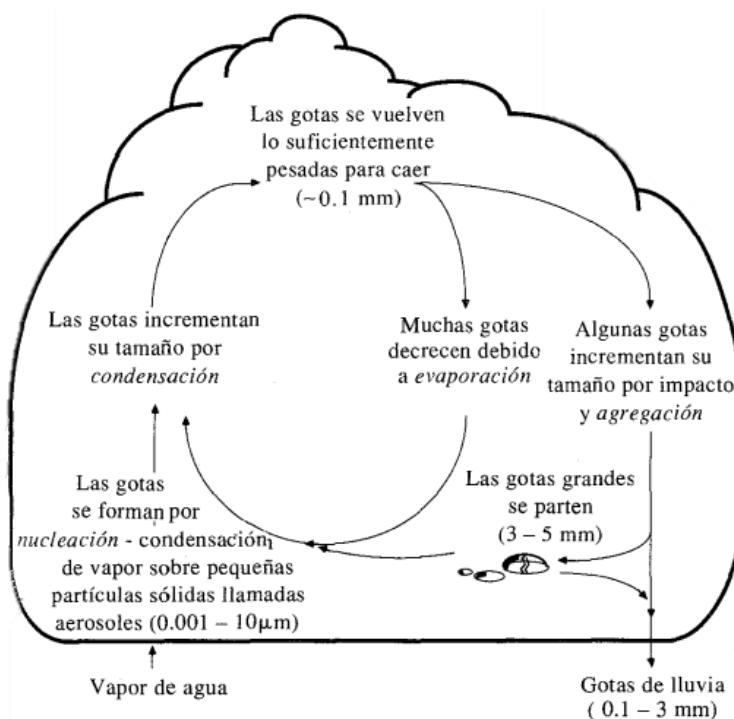
**2.2.1.2.1. Precipitación Pluvial.** La precipitación abarca la lluvia, la nieve y otros tipos de agua que caen a la superficie terrestre, como el granizo y la nevisca. Para que se forme precipitación, una masa de agua en la atmósfera debe elevarse, enfriarse y condensarse. Los tres principales mecanismos de elevación son: la elevación frontal, donde el aire caliente se eleva sobre aire frío en una frontera frontal; la elevación orográfica, en la que el aire asciende al superar una cadena montañosa; y la elevación convectiva, donde el aire asciende por el calor en el centro de una tormenta eléctrica. (Te Chow et al., 1994, p. 66)

Durante la formación de precipitación en las nubes, el aire ascendente se enfriá y el vapor de agua se condensa en gotas líquidas. Las gotas de agua crecen al condensarse y colisionar con otras gotas mientras se mueven por la turbulencia del aire, hasta que son lo suficientemente grandes como para caer por la fuerza de gravedad. Durante su descenso, las gotas pueden evaporarse y reducir su tamaño antes de continuar cayendo. Un flujo ascendente de 0.5 cm/s puede mantener gotas pequeñas en la nube, mientras que los cristales de hielo, debido a su forma y tamaño, pueden ser arrastrados por velocidades menores. (Te Chow et al., 1994, p. 66)

Este ciclo de condensación, caída, evaporación y elevación puede repetirse varias veces hasta que las gotas alcancen un tamaño crítico de aproximadamente 0.1 mm, lo suficiente para caer a través de la base de la nube. Las gotas de lluvia suelen tener un diámetro de entre 0.1 y 3 mm. (Te Chow et al., 1994, p. 66)

**Figura 2**

*Ciclo de Precipitación*



Nota. Tomado de *Hidrología Aplicada* por Te Chow et al., 1994, p. 67

**2.2.1.2.2. Precipitación Areal.** La precipitación areal corresponde al promedio espacial de la precipitación sobre la cuenca y constituye una entrada fundamental para los modelos hidrológicos y el cálculo de escorrentía. En el presente estudio, esta variable se estima mediante el producto PISCOp del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), que integra datos de estaciones pluviométricas, observaciones satelitales y climatologías en un conjunto de datos grillado de alta resolución. El producto PISCOp (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations) se genera a partir del control de calidad de series pluviométricas, del análisis de información satelital (CHIRPS ajustado mediante CHIRPM) y de técnicas de interpolación geoespacial como kriging con deriva externa en escala diaria y métodos determinísticos con corrección de sesgo en la escala diaria. (Alvarez & Huaman, 2025)

La resolución espacial de PISCOp alcanza aproximadamente  $0.1^\circ$  ( $\sim 10$  km), abarcando

desde el 1 de enero de 1981 hasta periodos recientes. Su construcción considera múltiples fuentes de información para cubrir zonas no instrumentadas y mejorar la precisión espacial de los datos, especialmente en áreas montañosas. (Alvarez & Huaman, 2025)

La precipitación areal se calcula extrayendo los valores diarios de PISCOp correspondientes a la extensión límite de la cuenca y promediándolos en función del área. Este promedio representa la precipitación efectiva sobre la cuenca y se emplea como variable de entrada para estimar la escorrentía y generar hidrogramas de diseño. (Alvarez & Huaman, 2025)

**2.2.1.2.3. Análisis Estadístico de Datos Hidrológicos.** El análisis estadístico de los datos hidrológicos tiene como fin identificar la distribución de probabilidad que representa de manera más adecuada el comportamiento de las series históricas de precipitación.

Los modelos de distribución de probabilidad constituyen herramientas estadísticas que permiten representar matemáticamente el comportamiento de fenómenos aleatorios como la precipitación máxima. Estas distribuciones facilitan la estimación de eventos extremos y el cálculo de períodos de retorno con un nivel de confianza definido. Entre las distribuciones comúnmente empleadas en hidrología, y consideradas en el Manual de Hidrología del MTC (2018) tenemos:

- Distribución Normal o Gaussiana, la cual describe variables continuas que presentan una tendencia simétrica respecto a su media. Su función de densidad de probabilidad está dada por:

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{S}\right)^2}$$

Donde  $f(x)$  es la función densidad normal de la variable  $x$ ,  $x$  es la variable independiente,  $\mu$  es el parámetro de localización, igual a la media aritmética de  $x$ , y  $S$  es el parámetro de escala igual a la desviación estándar de  $x$ . (Villón, 2016, p. 210)

- Distribución Log Normal de dos parámetros, describe variables continuas cuyo logaritmo natural se ajusta a una distribución normal. Esta distribución es adecuada para

modelar variables positivas con asimetría a la derecha y su función de densidad está dada por:

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{S}\right)^2}$$

Donde  $f(x)$  es la función densidad normal de la variable  $x$ ,  $x$  es la variable independiente,  $\mu$  es el parámetro de localización, igual a la media aritmética de  $x$ , y  $S$  es el parámetro de escala igual a la desviación estándar de  $x$ . (Villón, 2016, p. 210)

$$P(x \leq x_i) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x_i} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{(x-\bar{X})^2}{S^2}\right)} dx$$

Donde  $\bar{X}$  y  $S$  son los parámetros de sitio.

- Distribución Log Normal de tres parámetros, la cual es una extensión de la log-normal de dos parámetros, que introduce un parámetro de localización para desplazar la distribución a lo largo del eje de abscisas. Su función de densidad se define como:

$$f(x) = \frac{1}{(x - x_o)\sqrt{(2\pi)Sy}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-x_o)-\mu_y}{Sy}\right)}$$

Para  $x > x_o$ . Donde  $x_o$  es parámetro de posición,  $\mu_y$  es parámetro de escala o media, y  $S_y$  es parámetro de forma o de varianza.

- Distribución Gamma de dos parámetros, se utiliza cuando los datos son positivos y presentan una asimetría a la derecha (cola larga). Su función de densidad se define como:

$$f(x) = \frac{x^{\gamma-1}e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)}$$

Válido para  $0 \leq x < \infty$ ,  $0 < \gamma < \infty$  &  $0 < \beta < \infty$ . Donde  $\gamma$  es el parámetro de forma y  $\beta$  es el parámetro de escala. (Villón, 2016, p. 218)

- Distribución Gamma de tres parámetros, la cual es una extensión de la distribución gamma de dos parámetros, pero con un parámetro de localización. Su función de densidad se define como:

$$f(x) = \frac{(x - x_o)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_o)}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)}$$

Válido para  $x_o \leq x < \infty$ ,  $-\infty < x_o < \infty$ ,  $0 < \beta < \infty$  &  $0 < \gamma < \infty$ . Donde  $x_o$  es el parámetro de posición originado de la variable  $x$ ,  $\gamma$  es el parámetro de forma y  $\beta$  es el parámetro de escala. (Villón, 2016, p. 226)

- Distribución Log Pearson Tipo III, la cual es una transformación logarítmica de la distribución Log Pearson Tipo III, la cual a su vez es un caso particular de la distribución Gamma. Su función de densidad está determinada por:

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_o)^{\gamma-1} e^{\frac{(\ln x - x_o)}{\beta}}}{x \beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)}$$

Válido para  $x_o \leq x < \infty$ ,  $-\infty < x_o < \infty$ ,  $0 < \beta < \infty$  &  $0 < \gamma < \infty$ . Donde  $x_o$  es el parámetro de posición originado de la variable  $x$ ,  $\gamma$  es el parámetro de forma y  $\beta$  es el parámetro de escala. (Villón, 2016, p. 234)

- Distribución de Gumbel, el cual es un modelo estadístico que pertenece a la teoría de valores extremos, usado para describir el comportamiento de los máximos o mínimos de una muestra. Su función de densidad está dada por:

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

Del cual se cumple las relaciones  $\alpha = \frac{1.2825}{\sigma}$  y  $\beta = \mu - 0.45\sigma$ . Donde  $\alpha$  es el parámetro de concentración y  $\beta$  es el parámetro de localización. (Villón, 2016, p. 250)

- Distribución Log Gumbel, la cual corresponde a la aplicación de un logaritmo a la variable aleatoria que sigue una distribución Gumbel. Con ello se obtiene un modelo probabilístico que mantiene la naturaleza de valores extremos, pero con un comportamiento más adecuado cuando los datos presentan fuerte asimetría positiva. (Villón, 2016, p. 257)

$$y = \frac{\ln x - \mu}{\alpha}$$

Y la función acumulada reducida es:  $G(y) = e^{-e^{-y}}$ .

Las pruebas de bondad de ajuste constituyen herramientas estadísticas que permiten evaluar qué tan bien una distribución teórica representa un conjunto de datos observados. Estas pruebas comparan los valores empíricos con los esperados bajo un modelo probabilístico, determinando si existen diferencias estadísticamente significativas (Villón, 2016, p. 171). Entre las más utilizadas se encuentran:

- Prueba de Chi-Cuadrado ( $\chi^2$ ), la cual mide la discrepancia entre las frecuencias observadas en un conjunto de clases y las frecuencias teóricas esperadas según una distribución determinada. Solo se aplica para distribuciones normales y log normal. (Villón, 2016, p. 174)

El procedimiento para realizar esta prueba de bondad de ajuste es dividir los datos en  $k$  intervalos de datos.

$$D = \sum_{i=1}^k \frac{(\theta_i - \varepsilon_i)^2}{\varepsilon_i}$$

Donde  $\theta_i$  es el número observado de eventos en el intervalo  $i$  y  $\varepsilon_i$  es el número esperado de eventos en el mismo intervalo y  $\varepsilon_i = n[F(S_i) - F(I_i)]$  para todo  $i = 1, 2, \dots, k$  donde  $F(S_i)$  es la función de distribución de probabilidad en el límite superior del intervalo  $i$ ,  $F(I_i)$  es la misma función en el límite inferior y  $n$  es el número de eventos.

Para validar la prueba de bondad de ajuste por Chi Cuadrado ( $\chi^2$ ) se debe cumplir que:

$$D \leq \chi^2_{1-\alpha, k-1-m}$$

Donde  $\chi^2_{1-\alpha, k-1-m}$  es el valor de una variable aleatoria con distribución  $\chi^2$  para  $v = k - 1 - m$  grados de libertad y un nivel de significancia  $\alpha$  entre el 5 y 10% donde  $m$  es el número de parámetros estimados a partir de los datos.

- Prueba de Kolmogorov-Smirnov, la cual se utiliza para medir la máxima discrepancia entre la distribución empírica de los datos y la distribución teórica propuesta, con el fin de comprobar si el ajuste es adecuado o cual de los ajustes es el más apropiado. (Villón, 2016, p.

181)

El procedimiento para realizar esta prueba de bondad es de comparar el máximo valor absoluto de la diferencia  $D$  entre la función de distribución empírica  $F_e(X_i)$  y la función de distribución teórica  $F_i(X_i)$

$$D = \max |F_e(X_i) - F_i(X_i)|$$

Con un valor crítico  $d$  que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionado según la Tabla 4. Si  $D < d$  se acepta la hipótesis nula. La función de distribución de probabilidad observadas se calcula como:

$$F_e(X_i) = \frac{1 - m}{n + 1}$$

Donde  $m$  es el número de orden del dato  $X_i$  en orden de mayor a menor y  $n$  es el número total de datos.

**Tabla 4**

*Valores Críticos  $\alpha$  de Smirnov-Kolmogorov para diferentes Tamaños de Muestra*

Tamaño de Muestra	$\alpha=0.10$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.3	0.34	0.4
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.22	0.24	0.29
35	0.2	0.22	0.27
40	0.19	0.21	0.25

*Nota.* Elaboración propia, adaptado de *Hidrología Estadística* por Villón, J., p. 185

**2.2.1.2.4. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF).** Las curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) representan gráficamente la relación entre la intensidad de una precipitación, la duración del evento y su frecuencia de ocurrencia o período de retorno. Matemáticamente, permiten expresar la intensidad de lluvia como una función dependiente de la duración y la probabilidad de excedencia.

La razón de ser de estas curvas es proporcionar una herramienta que describe cómo varían las precipitaciones extremas en el tiempo y su probabilidad de repetición. Esto resulta esencial porque las lluvias no solo difieren en magnitud, sino también en el tiempo durante el cual se presentan; por ello, es necesario contar con un modelo que relacione ambas variables bajo un marco probabilístico. (Aparicio, 1992, p. 165)

Para su construcción se parte de los valores de precipitaciones máximas probables que han sido previamente determinados mediante el análisis estadístico de series históricas. A partir de estas precipitaciones extremas, se procede a transformarlas en intensidades dividiendo la altura de lluvia entre la duración considerada, lo que permite expresar el comportamiento de la tormenta en términos de intensidad media. De esta forma, se obtiene un conjunto de intensidades asociadas a distintas duraciones y periodos de retorno, observándose que para intervalos de tiempo más cortos las intensidades son mayores, mientras que para duraciones más largas estas disminuyen, reflejando el patrón natural de las lluvias. (Ministerios de Transportes y Comunicaciones, s.f., p. 34)

$$i = \frac{P}{T_d}$$

Donde  $i$  es la intensidad máxima,  $P$  es la precipitación máxima probable y  $T_d$  es la duración de la tormenta.

Con estos valores se representan gráficamente las intensidades en función de la duración para cada periodo de retorno y se ajusta una función matemática que describe de manera continua esta relación. Generalmente, las expresiones adoptan la forma de una función

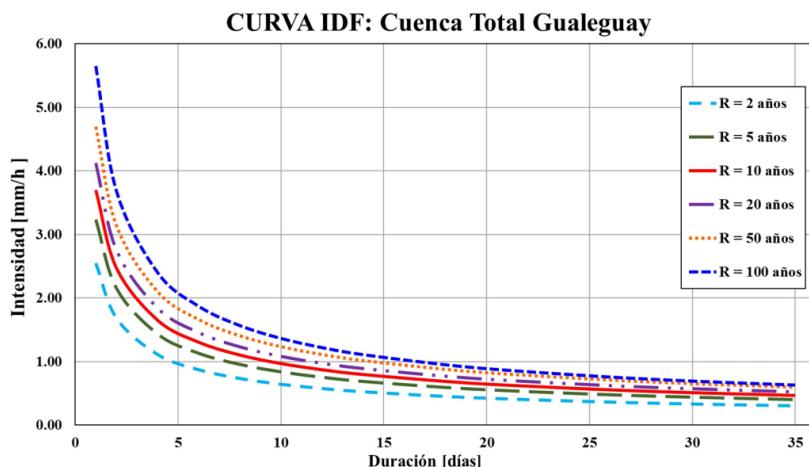
decreciente, en la que los parámetros varían de acuerdo con el periodo de retorno y las características climáticas locales (MTC, s.f., p. 36). Esta función puede estar representada por:

$$I = \frac{a}{(D + b)^m}$$

Donde  $I$  es la intensidad de lluvia de diseño,  $D$  es la duración y  $a$ ,  $b$  y  $m$  son coeficientes que varían con el lugar y el periodo de retorno. Para la construcción de esta función es necesario realizar una linealización previa de la ecuación para hallar los parámetros  $a$ ,  $b$  y  $m$  por medio de regresión lineal.

**Figura 3**

*Ejemplo de Curva IDF*



*Nota.* Tomado de *Estimación de curvas IDF para tormentas de larga duración en la cuenca del río Gualeguay en la provincia de Entre Ríos* por Margasin et al., 2020, p. 27

**2.2.1.2.5. Hietograma de Diseño.** El hietograma de diseño constituye una representación temporal de la distribución de la lluvia de un evento extremo, indispensable para los procesos de modelación lluvia–escorrentía. A diferencia de las curvas IDF, que resumen la relación entre intensidad, duración y frecuencia, el hietograma permite disponer la precipitación total de un evento en intervalos de tiempo menores, de modo que pueda ser utilizado directamente como insumo en la simulación hidrológica. (Monsalve, 1999, p. 115)

La manera más común de construir los hietogramas de diseño es mediante el método

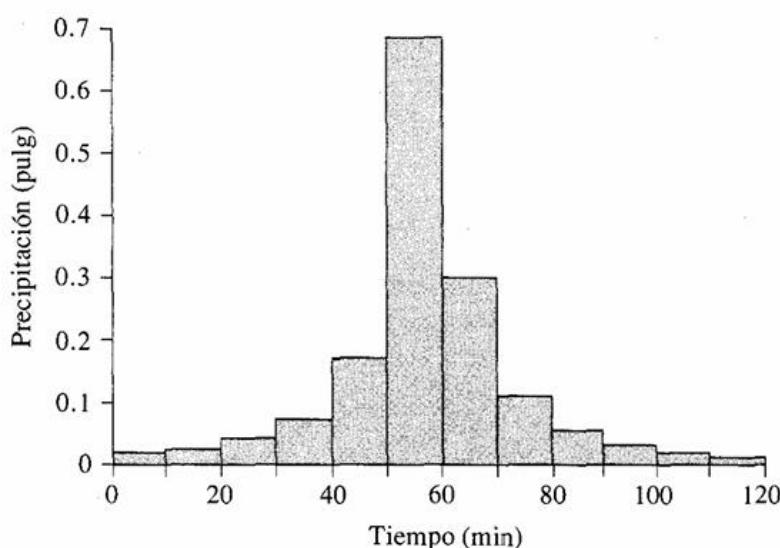
del bloque alterno ya que parte de las curvas intensidad-duración-frecuencia.

Este procedimiento consiste en descomponer la lluvia total de diseño en bloques de intensidades correspondientes a intervalos de tiempo iguales. La característica fundamental del método es que la intensidad máxima se ubica en el centro de la serie temporal, mientras que los valores restantes se distribuyen de manera alternada hacia la derecha e izquierda en orden decreciente. Con esta disposición se busca simular una tormenta sintética más realista, en la que la máxima concentración de precipitación se presenta en la parte central del evento y las intensidades disminuyen progresivamente hacia los extremos. (MTC, s.f., p. 41)

El resultado final es un hietograma que refleja la distribución temporal de la lluvia de diseño, manteniendo la coherencia con la intensidad total calculada previamente y respetando el periodo de retorno adoptado. Este hietograma constituye la base para la generación del hidrograma de avenida mediante el modelo de transformación lluvia–escorrentía, permitiendo así estimar el caudal de diseño necesario para el dimensionamiento de las estructuras de drenaje en la cuenca de estudio. (MTC, s.f., p. 41)

#### **Figura 4**

*Ejemplo de Hietograma de Diseño*



*Nota.* Tomado de *Hidrología Aplicada* por Te Chow et al., 1994, p. 479

### **2.2.1.3. Características Hidráulicas**

La hidráulica es una rama de la física que estudia las propiedades mecánicas de los líquidos, especialmente su comportamiento en movimiento o en reposo. También abarca las técnicas industriales relacionadas con el uso de líquidos a presión, como el aceite, para transmitir energía o realizar un trabajo mecánico. (Fattorelli & Fernández, 2011)

**2.2.1.3.1. Precipitación Efectiva.** Se denomina precipitación efectiva a la porción de la lluvia total que, una vez descontadas las pérdidas iniciales y continuas, logra convertirse en escorrentía directa. Este concepto resulta fundamental en la hidrología aplicada, ya que constituye el insumo básico para la generación de hidrogramas de escorrentía. El método del SCS establece una relación matemática entre la precipitación bruta, las abstracciones iniciales y la capacidad de retención del suelo, expresada en función del número de curva (CN). De esta manera, la precipitación efectiva no solo depende de la magnitud de la lluvia, sino también de las características de la cuenca, como el tipo de suelo, el uso del terreno y la cobertura vegetal. (MTC, s.f., p. 42)

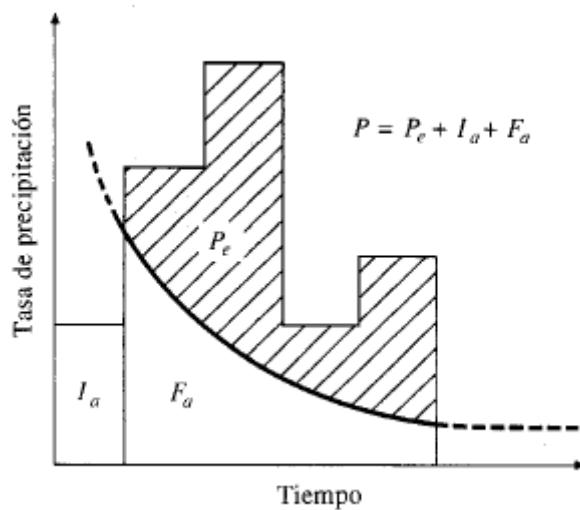
**2.2.1.3.2. Abstracción.** En un evento de lluvia, no toda la precipitación que alcanza la superficie terrestre se convierte en escorrentía directa. Una parte se pierde en procesos que se conocen como abstracciones iniciales, los cuales incluyen la intercepción de la vegetación, el almacenamiento en depresiones naturales y la infiltración que ocurre en los primeros momentos de la tormenta. Estos procesos representan la primera barrera para que el agua llegue a los cauces y, en consecuencia, reducen de manera significativa el volumen de lluvia que puede generar escorrentía superficial. (Te Chow et al., 1994, p. 143). En el método del SCS, las abstracciones iniciales se cuantifican generalmente como un valor fijo proporcional a la capacidad máxima de retención del suelo, lo que permite estimar de forma práctica la cantidad de lluvia disponible para transformarse en escorrentía.

El Soil Conservation Service (1972) propuso un procedimiento para estimar las pérdidas

de precipitación durante una tormenta. Según este enfoque, la precipitación efectiva ( $P_e$ ), es decir, la escorrentía directa, nunca supera a la precipitación total ( $P$ ). Una vez que se inicia la escorrentía, el agua retenida adicional en la cuenca ( $F_a$ ) no puede ser mayor que la retención máxima potencial ( $S$ ). Además, se considera una abstracción inicial ( $I_a$ ), que corresponde a las pérdidas ocurridas antes de que se produzca encharcamiento; por lo tanto, la escorrentía potencial se expresa como la diferencia entre la precipitación total y estas abstracciones iniciales ( $P - I_a$ ). (MTC, s.f., p. 42)

**Figura 5**

*Precipitación Efectiva*



*Nota.* Tomado de *Hidrología Aplicada* por Te Chow et al., 1994, p. 141

El método del Soil Conservation Service (SCS) se fundamentó en la hipótesis de que la relación entre las cantidades reales de la tormenta y las potenciales es equivalente. El método del SCS se fundamenta en la idea de que la proporción entre la precipitación efectiva y la precipitación potencial es igual a la relación entre la escorrentía real y la capacidad de retención del suelo. Así, el balance hídrico se expresa como  $P = P_e + I_a + F_a$ , donde  $P$  es la lluvia total,  $P_e$  la escorrentía directa,  $I_a$  la abstracción inicial,  $F_a$  el escurrimiento superficial, y  $S$  la retención potencial máxima. (Te Chow et al., 1994, p. 141). Al combinar estas relaciones, se obtiene la

fórmula general:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

Que también se puede expresar en términos de escorrentía directa ( $P_e$ ):

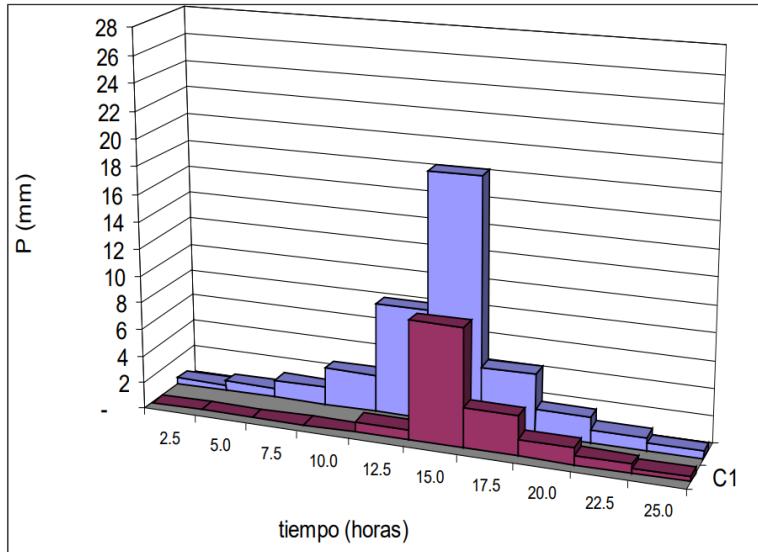
$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Donde  $S$  representa la retención máxima del suelo. Con base en observaciones experimentales, el SCS simplificó el cálculo de la abstracción inicial estableciendo que  $I_a = 0.2S$ . Al reemplazar este valor en la ecuación, se llega a la forma más utilizada del método:

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

**Figura 6**

*Ejemplo de Hietograma de Precipitación Efectiva*



Nota. Tomado de *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje* por MTC, s.f., p. 44

El método exige definir el número de curva (CN), parámetro adimensional que refleja las características de la cuenca y que se ajusta mediante calibración con datos de precipitación y caudal observados. Este proceso, realizado por prueba y error, busca que el hidrograma simulado se aproxime al real. En cuencas con distintas coberturas o tipos de suelo se emplea el

número de curva ponderado, calculado en función de las áreas parciales y sus respectivos CN, lo que permite representar de manera más realista el comportamiento hidrológico del área de estudio. (Te Chow et al., 1994, p. 150)

El número de curva (*CN*) es un parámetro adimensional que varía entre 0 y 100, usado para estimar la escorrentía directa. Para superficies impermeables o cuerpos de agua, el valor es *CN* = 100, mientras que en superficies naturales es menor.

La relación entre el *CN* y la capacidad de almacenamiento potencial del suelo (*S*) se expresa como:

$$S = \frac{100}{CN} - 10$$

Para *S* en pulgadas.

El valor estándar del *CN* se determina bajo condiciones de humedad antecedente normal (*AMC II*). Para escenarios de suelos secos (*AMC I*) o húmedos (*AMC III*), se emplean ajustes mediante expresiones empíricas que permiten calcular el *CN* equivalente a partir del *CN-II*. (Te Chow et al., 1994, p. 152)

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)}, \quad CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)}$$

### **Tabla 5**

*Clasificación de Clases Antecedentes de Humedad (AMC) para el Método de Abstracciones de Lluvia del SCS*

Grupo AMC Lluvia Antecedente Total de 5 días (pulg)		
	Estación inactiva	Estación
I	Menor que 0.5	Menor que 1.4
II	0.5 a 1.1	1.4 a 2.1
III	Sobre 1.1	Sobre 2.1

*Nota.* Tomado de *Hidrología Aplicada* por Te Chow et al., 1994, p. 153

**Tabla 6**

Número de Curva según Uso de Suelo y Grupo Hidrológico

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
Tierra cultivada <sup>1</sup> : sin tratamientos de conservación con tratamiento de conservación	72 62	81 71	88 78	91 81
Pastizales: condiciones pobres condiciones óptimas	68 39	79 61	86 74	89 80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas, cubierta buena <sup>2</sup>	45 25	66 55	77 70	83 77
Área abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75%	39 49	61 69	74 79	80 84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos Industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial <sup>3</sup> :				
Tamaño promedio del lote      Porcentaje promedio impermeable <sup>4</sup>				
1/8 acre o menos                    65	77	85	90	92
1/4 acre                            38	61	75	83	87
1/3 acre                            30	57	72	81	86
1/2 acre                            25	54	70	80	85
1 acre                             20	51	68	79	84
Parqueadores pavimentados, techos, accesos, etc. <sup>5</sup>	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados <sup>5</sup>	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

Nota. Tomado de *Hidrología Aplicada* por Te Chow et al., 1994, p. 154

**2.2.1.3.3. Caudal de Diseño.** “El caudal de diseño es el flujo máximo de agua que un sistema de drenaje está diseñado para manejar durante un evento de lluvia o una tormenta, considerando un período de retorno específico”. (Linsley, Ray, Kohler, Paulus & Joseph, 1977, p. 281)

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones (2021) en su norma CE.040 Drenaje Pluvial el caudal de diseño puede calcularse a través de diversos métodos hidrológicos, como el método racional, el hidrograma unitario o mediante modelos de simulación hidrológica que permiten tanto la simulación de eventos específicos como la simulación continua. Mientras que

el método racional es ideal para áreas pequeñas de drenaje, el hidrograma unitario, ya sea deducido o sintético (como el hidrograma adimensional del SCS o el hidrograma de Snyder), es más adecuado para áreas de drenaje mayores a 0,5 km<sup>2</sup>. Estos enfoques permiten adaptar el cálculo del caudal según la extensión de la zona a estudiar.

**2.2.1.3.4. Hidrograma Unitario.** El hidrograma representa la variación temporal del caudal generado en la cuenca como respuesta a un evento de precipitación extrema. Constituye la herramienta fundamental para vincular el análisis estadístico de lluvias con el comportamiento hidráulico de los cauces y estructuras de drenaje. A partir del hietograma de diseño, obtenido mediante el método de bloque alterno, se procede a la transformación lluvia–escorrentía, la cual permite estimar los caudales que se generan en función de la intensidad, duración y distribución temporal de la tormenta. (Hydrologic Engineering Center - U.S. Army, s.f.)

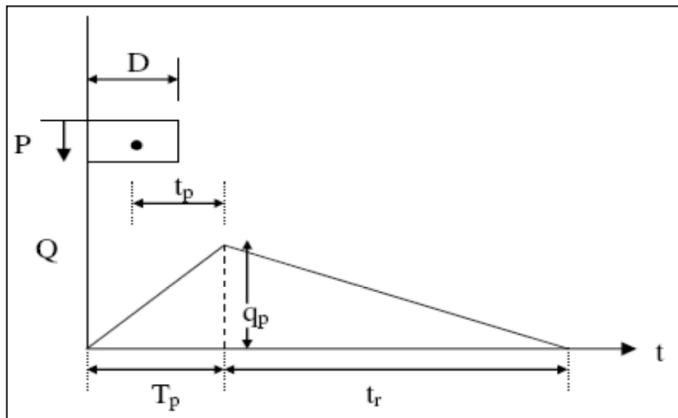
#### **2.2.1.3.5. Método del Hidrograma Unitario Sintético Triangular del SCS**

El hidrograma unitario sintético triangular del SCS constituye una simplificación del modelo curvilíneo propuesto originalmente por el Soil Conservation Service (SCS).

Este método conserva los principios básicos del hidrograma unitario: el área bajo la curva equivale al volumen total de escorrentía, mientras que el ascenso y descenso del triángulo representan las fases de concentración y recesión del flujo. La forma triangular se define por tres parámetros esenciales: el tiempo de ascenso (o tiempo al pico,  $T_p$ ), el caudal máximo ( $Q_p$ ) y el tiempo de recesión ( $T_r$ ). (HEC, s.f.)

**Figura 7**

*Hidrograma Unitario Triangular del SCS*



*Nota.* Tomado de *Hidrología Aplicada* por Te Chow et al., 1994, p. 237

La expresión matemática para determinar el caudal máximo ( $Q_p$ ) es:

$$Q_p = \frac{2.08A}{T_p}$$

Donde  $A$  es el área de drenaje en  $\text{km}^2$ ,  $T_p$  es el tiempo de ocurrencia del pico en horas que comúnmente se calcula como  $T_p = 0.6t_c$  donde  $t_c$  es el tiempo de concentración de la cuenca aunque también se puede expresar como:

$$T_p = \frac{D}{2} + t_p$$

Donde  $D$  es la duración de la lluvia en horas y  $t_p$  es la diferencia de tiempo entre el centro de masa de la escorrentía superficial y el pico del diagrama unitario.

### **2.2.2. Sistema de Drenaje Urbano Sostenible**

Los sistemas de drenaje de aguas superficiales, cuando se alinean con los principios del desarrollo sostenible, se denominan colectivamente como sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS, por sus siglas en inglés). En la actualidad, estos sistemas no solo buscan manejar los riesgos ambientales asociados con la escorrentía urbana, sino también contribuir de manera significativa a la mejora del entorno natural. La implementación de SUDS en sitios específicos

tiene como objetivo principal mitigar los impactos negativos del desarrollo sobre la cantidad y calidad del agua de escorrentía, al tiempo que se maximiza el potencial de amenidad y biodiversidad en el área. (Woods-Ballard et al., 2007, p. 1)

Uno de los pilares fundamentales de los SUDS es su capacidad para equilibrar tres objetivos esenciales: la gestión cuantitativa del agua, la mejora cualitativa de la misma y la promoción de oportunidades para la biodiversidad y el disfrute humano. Este enfoque tridimensional busca asegurar que cada uno de estos objetivos reciba una consideración equitativa. La solución ideal en el marco de los SUDS es aquella que logra beneficios tangibles en las tres áreas, aunque la viabilidad de esto puede variar dependiendo de las características intrínsecas y limitaciones específicas de cada sitio. (Woods-Ballard et al., 2007, p. 1)

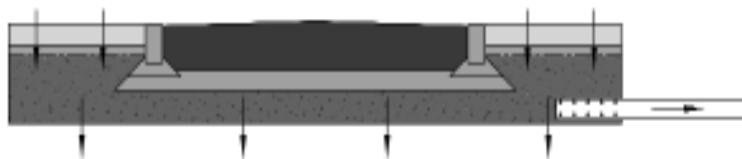
#### **2.2.2.1. Pavimento Permeable**

Los pavimentos permeables constituyen una tipología clave dentro de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SuDS), al permitir que el agua de lluvia penetre a través de la superficie pavimentada y se almacene temporalmente en las capas inferiores, antes de ser infiltrada al subsuelo, reutilizada, o eventualmente liberada hacia cursos de agua o redes de drenaje. (Woods-Ballard et al., 2007, p. 12-2)

En particular, el Tipo A (sin dren subterráneo) representa el esquema más sostenible desde el punto de vista hidrológico, ya que todo el volumen de precipitación es absorbido por el terreno, sin generar descarga superficial. (Woods-Ballard et al., 2007, p. 12-2)

#### **Figura 8**

*Pavimento Permeable*



*Nota. Tomado de The SuDS manual por Woods-Ballard et al., 2007, pág. 12-1*

**2.2.2.1.1. Ventajas.** Son altamente efectivos en la remoción de contaminantes presentes en el escurrimiento pluvial, contribuyendo así a mejorar la calidad del agua descargada. En situaciones donde la infiltración no es viable —ya sea por limitaciones del suelo o riesgos geotécnicos—, pueden emplearse versiones revestidas que garantizan el confinamiento del flujo. (Woods-Ballard et al., 2007, p. 12-1)

Además, permiten una disminución significativa del caudal y volumen del escurrimiento superficial, reduciendo así el riesgo de inundaciones y aliviando la carga sobre las redes convencionales. Su diseño compacto y versátil los hace especialmente adecuados para entornos urbanos de alta densidad, donde el espacio disponible es limitado. (Woods-Ballard et al., 2007, p. 12-1)

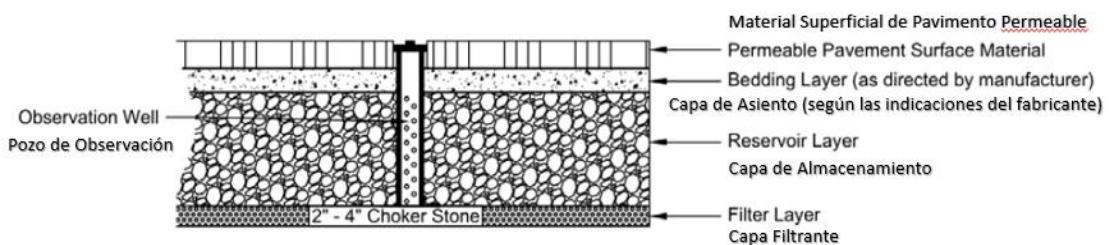
Estos sistemas también ofrecen una gran capacidad de adaptación para ser incorporados en proyectos de rehabilitación urbana, sin requerir adquisición de suelo adicional, ya que pueden integrarse a áreas ya urbanizadas (uso dual del espacio). Su mantenimiento es mínimo, lo que se traduce en menores costos operativos a largo plazo. (Woods-Ballard et al., 2007, p. 12-1)

Finalmente, al evitar encharcamientos superficiales y formación de hielo, estos sistemas también mejoran la seguridad vial y peatonal, y suelen tener alta aceptación por parte de la comunidad. (Woods-Ballard et al., 2007, p. 12-1)

**2.2.2.1.2. Estructura.** El pavimento permeable sin dren subterráneo se visualiza de la siguiente manera:

## Figura 9

*Sección transversal de pavimento permeable estándar sin dren subterráneo*



*Nota.* Tomado de *Stormwater Management Guidebook* por DOEE, 2020, pág. 83

- Capa Superficial: Para garantizar un funcionamiento adecuado del sistema, la pendiente longitudinal o transversal de un pavimento permeable no debe superar el 5 %. (DOEE, 2020, p. 84)

Ya sea concreto permeable, el material de la superficie del pavimento permeable, considerar: un contenido de vacíos entre el 15 y 20 %, lo que permite cierta porosidad para el paso del agua o el almacenamiento temporal. Su espesor habitual oscila entre 10 y 20 centímetros, adecuado para equilibrar la capacidad hidráulica y la resistencia estructural. La resistencia a compresión varía desde 2.8 hasta 28 MPa, suficiente para soportar cargas típicas según el uso previsto. Además, esta capa no requiere material de relleno en los vacíos abiertos, lo que facilita la infiltración y el almacenamiento de agua. (DOEE, 2020, p. 90)

En algunos casos, no es imprescindible contar con una capa de almacenamiento para resistir la carga estructural, aunque sí puede incluirse una capa adicional con el fin de aumentar la capacidad de almacenamiento o mejorar la infiltración del sistema. (DOEE, 2020, p. 90)

- Capa de Asiento: La capa de asiento es el estrato granular que se coloca directamente debajo del pavimento superficial (como adoquines, bloques o losas) y encima de la capa de almacenamiento o sub-base. Su función principal es proporcionar una superficie uniforme, estable y nivelada sobre la cual asentar los elementos del pavimento, asegurando una distribución adecuada de cargas y manteniendo el alineamiento estructural.

Ya sea un pavimento permeable de concreto, se considera: una capa de 3 a 4 pulgadas (7.5 a 10 cm) de piedra número 57 cuando la capa de almacenamiento está conformada por piedra número 2. Esta configuración permite una adecuada transición y soporte estructural entre las diferentes granulometrías, asegurando la estabilidad del sistema y facilitando la infiltración del agua. (DOEE, 2020, p. 90)

La piedra clasificada como No. 57 bajo la norma ASTM D448 tiene un rango de tamaño entre 12.5 mm y 38 mm (1/2" a 1 1/2"). Este material debe estar libre de finos y partículas menores, lo que implica un contenido máximo permitido de finos del 2 % pasando el tamiz No. 200 (0.075 mm). Además, debe estar previamente lavada, lo que asegura una estructura limpia y permeable. (DOEE, 2020, p. 90)

- Capa de Almacenamiento: La capa almacenamiento en un sistema de pavimento permeable está constituida por una base de piedra angular que se ubica entre la superficie y la capa filtrante o el terreno natural, e incluye, si se requiere, un sumidero de infiltración para aumentar la capacidad de drenaje vertical. Su espesor debe ser diseñado cuidadosamente considerando la cantidad de agua pluvial que debe almacenarse temporalmente, la permeabilidad del suelo existente y las necesidades estructurales del pavimento. (DOEE, 2020, p. 87)

Ya sea un pavimento permeable de concreto, la capa está conformada por piedra número 2, la cual bajo la norma ASTM D448, tiene un rango de tamaño entre 19 mm y 75 mm (3/4 a 3 pulgadas). La profundidad de la capa se determina en función de los requerimientos estructurales e hidráulicos del pavimento. El material debe estar lavado, limpio y libre de finos. (DOEE, 2020, p. 90)

Según DOEE (2020) la profundidad máxima de la capa de almacenamiento se determina mediante:

$$d_{max} = \frac{K_d \times T_{max}}{e}$$

Donde:

$K_d$  : Permeabilidad de diseño del terreno (cm/s)

$T_{max}$  : Tiempo de drenado máximo (48 h)

$e$  : Relación de vacíos del material de la capa de almacenamiento (0.4)

Así mismo, la profundidad mínima de la capa de almacenamiento se determina mediante:

$$d_{min} = \frac{V_{wq}}{A_{pavperm} \times e}$$

Donde:

$V_{wq}$  : Volumen de escurrimiento de diseño ( $m^3$ )

$A_{pavperm}$  : Área de la superficie del pavimento permeable ( $m^2$ )

$e$  : Relación de vacíos del material de la capa de almacenamiento (0.4)

Además, por criterios constructivos se considera un borde libre de 0.10 m y que la profundidad mínima de la capa de almacenamiento debe ser mínimo 0.60 m. (DOEE, 2020, p. 94)

- Capa Filtrante: Con el fin de evitar la migración de partículas finas del suelo natural hacia la capa de almacenamiento de piedra —lo que podría reducir su porosidad y capacidad de infiltración—, se recomienda incluir una capa filtrante intermedia. Esta capa, típicamente compuesta por piedra No. 8 (material granular más fino), debe tener un espesor de 5 a 10 cm (2 a 4 pulgadas) y actúa como una barrera física que estabiliza la interfaz entre el suelo subyacente y el material granular grueso del reservorio. (DOEE, 2020, p. 89)

- Pozo de Observación: La instalación de un pozo de observación es obligatoria en todos los sistemas de pavimento permeable, ya que cumple una función esencial en el seguimiento del desempeño hidráulico del sistema. Además, permite evaluar la velocidad de drenaje del agua retenida en la capa de almacenamiento después de eventos de lluvia, además de facilitar las tareas de inspección preventiva y mantenimiento correctivo. (DOEE, 2020, p. 88)

El pozo debe estar construido con tubería de PVC de alta durabilidad, con un diámetro de entre 4 y 6 pulgadas, y debe estar firmemente anclado al sistema. Las perforaciones deben limitarse a la zona correspondiente a la capa de almacenamiento, para evitar la entrada de sedimentos superficiales. (DOEE, 2020, p. 90)

El pozo debe instalarse de forma que llegue hasta la base del sistema de almacenamiento y se eleve hasta quedar al ras de la superficie terminada, finalizando con una tapa de cierre hermético y con seguro, que impida accesos no autorizados. Asimismo, para asegurar una adecuada representatividad y control del sistema, se recomienda instalar al menos un pozo de observación por cada 15 metros de longitud total del pavimento permeable. (DOEE, 2020, p. 88)

#### **2.2.2.2. Zanja de Infiltración**

Las zanjas de infiltración son soluciones sustentables de gestión de aguas pluviales que consisten en excavaciones someras llenas con materiales granulares o estructurados capaces de generar espacios vacíos. Estos sistemas proporcionan un almacenamiento temporal del escurrimiento superficial, permitiendo que el agua sea infiltrada en el subsuelo o filtrada y conducida aguas abajo. (Woods-Ballard et al., 2007, p. 9-2)

Cuando las condiciones del terreno son adecuadas, las zanjas de infiltración actúan como sistemas de recarga hídrica, contribuyendo a la reducción de caudales pico y volúmenes de escorrentía, a la vez que mejoran la calidad del agua a través de procesos naturales de filtración y biodegradación. (Woods-Ballard et al., 2007, p. 9-2)

Por otro lado, en zonas con suelos impermeables o alta vulnerabilidad del acuífero, las zanjas de filtración cumplen un papel clave en la retención de sedimentos finos y la remoción de contaminantes, sin permitir infiltración directa, lo que protege el agua subterránea. (Woods-Ballard et al., 2007, p. 9-2)

## **Figura 10**

*Zanja de Infiltración*



*Nota.* Tomado de *The SuDS manual* por DOEE, 2020, pág. 83

**2.2.2.2.1. Ventajas.** El uso de las zanjas de filtración, representa una estrategia efectiva dentro del manejo sostenible de aguas pluviales. Estos sistemas permiten una disminución considerable del caudal pico y del volumen total de escorrentía, lo que contribuye a mitigar riesgos de inundación y erosión. (Woods-Ballard et al., 2007, p. 9-1)

Desde el punto de vista ambiental, la infiltración también ofrece ventajas notables, ya que reduce de forma significativa la cantidad de contaminantes transportados por el escurrimiento, mejorando así la calidad del agua descargada en cuerpos receptores. (Woods-Ballard et al., 2007, p. 9-1)

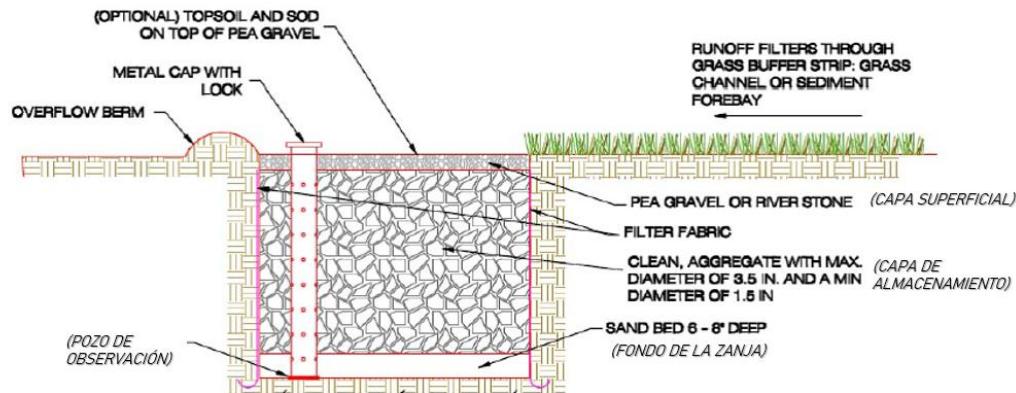
Además, las zanjas de infiltración son sistemas versátiles y de fácil integración al diseño del sitio, ya que pueden incorporarse dentro del paisajismo urbano o periurbano, y su configuración las hace particularmente adecuadas para instalarse a lo largo de bordes de caminos, calles o avenidas. (Woods-Ballard et al., 2007, p. 9-1)

Desde el punto de vista del diseño hidráulico, la localización óptima de las zanjas de infiltración o filtración es junto a superficies impermeables, tales como vías pavimentadas, calles, estacionamientos o autopistas. Esta disposición permite captar de manera eficiente el escurrimiento superficial generado en estas áreas, maximizando la eficiencia del sistema en la recolección, tratamiento e infiltración del agua de lluvia. (Woods-Ballard et al., 2007, p. 9-3)

**2.2.2.2.2. Estructura.** La zanja de infiltración se visualiza de la siguiente manera:

**Figura 11**

*Sección transversal de zanja de infiltración*



*Nota.* Tomado de *Stormwater Management Guidebook* por DOEE, 2020, pág. 159

- Capa Superficial: Las zanjas de infiltración no deben instalarse en terrenos con pendientes superiores al 6%, ya que las pendientes pronunciadas comprometen la eficiencia del sistema e incrementan el riesgo de erosión superficial, inestabilidad del suelo y escurrimiento no controlado. (DOEE, 2020, p. 162)

Se considera un espesor de aproximadamente 3 pulgadas (7,5 cm). Esta capa puede estar compuesta por piedra de río (Cantos rodados) menor a 6" o por material clasificado según ASTM D448 como No. 8 o No. 89, seleccionados por su adecuada permeabilidad y capacidad de transición entre capas. (DOEE, 2020, p. 165)

Es fundamental que el agregado utilizado haya sido previamente lavado, de manera que se asegure una limpieza libre de partículas finas, ya que una presencia excesiva de finos (mayor al 2% pasando el tamiz No. 200) podría obstruir los vacíos del sistema, reduciendo la infiltración y afectando negativamente la eficiencia del sistema de drenaje. (DOEE, 2020, p. 165)

Además, esta capa cumple un rol estético y funcional, ya que ofrece una superficie visualmente agradable que, al mismo tiempo, actúa como barrera física contra el crecimiento

indeseado de vegetación espontánea. (DOEE, 2020, p. 166)

- Capa de Almacenamiento: Se especifica el uso de agregado grueso con una granulometría controlada, cuyos tamaños estén comprendidos entre 1.5 y 3.5 pulgadas. Esta fracción permite una alta porosidad interna, facilitando tanto el almacenamiento temporal del escurrimiento como su infiltración progresiva hacia las capas inferiores. (DOEE, 2020, p. 166)

Es indispensable que este agregado se encuentre totalmente limpio y libre de materiales finos, ya que la presencia de partículas pequeñas (limos o arcillas) puede reducir la permeabilidad efectiva del sistema, obstruir los vacíos intergranulares, y comprometer su funcionamiento a largo plazo. Por ello, el agregado debe ser lavado y cumplir con estándares de limpieza, como los límites máximos de finos establecidos por las normas ASTM (p. ej., menos del 2% pasando el tamiz No. 200). (DOEE, 2020, p. 166)

Según DOEE (2020) la profundidad máxima de la capa de almacenamiento se determina mediante:

$$d_{max} = \frac{K_d \times T_{max}}{e}$$

Donde:

K<sub>d</sub> : Permeabilidad de diseño del terreno (cm/s)

T<sub>max</sub> : Tiempo de drenado máximo (72 h)

e : Relación de vacíos del material de la capa de almacenamiento (0.4)

Así mismo, el área mínima de la superficie de la zanja de infiltración se determina mediante:

$$A_{min} = \frac{V_{wq}}{d_{max} \times e}$$

Donde:

V<sub>wq</sub> : Volumen de escurrimiento de diseño (m<sup>3</sup>)

d<sub>max</sub> : Profundidad máxima de la capa de reservorio (m)

e : Relación de vacíos del material de la capa de almacenamiento (0.4)

Además, por criterios constructivos se considera un borde libre de 0.10 m.

- Fondo de la Zanja: Con el fin de prevenir la migración de partículas finas desde los suelos naturales hacia la estructura granular de una zanja de infiltración —lo cual podría generar obstrucciones y pérdida de capacidad infiltrante—, es recomendable incorporar una capa intermedia de arena gruesa entre el suelo existente y el agregado pétreo estructural. (DOEE, 2020, p. 166)

Esta capa de filtración debe tener un espesor de entre 15 y 20 cm (6 a 8 pulgadas) y estar compuesta por arena lavada y clasificada conforme a la especificación ASTM C-33, que establece una granulometría controlada con diámetros de partícula entre 0.5 y 1 mm (0.02 a 0.04 pulgadas). (DOEE, 2020, p. 166)

- Pozo de Observación: En cualquier sistema de infiltración, es fundamental la instalación de al menos un pozo de observación para evaluar el comportamiento hidráulico del sistema, específicamente para medir el tiempo de descenso del agua acumulada después de lluvias intensas. Esto permite detectar posibles problemas de infiltración y planificar inspecciones y mantenimiento de manera eficiente. (DOEE, 2020, p. 165)

El pozo debe construirse con un tubo de PVC perforado, de diámetro entre 4 y 6 pulgadas, asegurado firmemente para evitar desplazamientos. Para prevenir contaminación superficial o entrada directa de agua, no debe haber perforaciones en el tramo más cercano a la superficie (aproximadamente 30 cm). El pozo debe cubrir desde el fondo de la capa de piedra, que actúa como almacenamiento, hasta el nivel máximo esperado de acumulación, facilitando una lectura precisa del comportamiento del sistema. (DOEE, 2020, p. 165)

Asimismo, para asegurar una adecuada representatividad y control del sistema, se recomienda instalar al menos un pozo de observación por cada 15 metros (50 pies) de longitud total de la práctica de infiltración, garantizando así una adecuada supervisión a lo largo de toda

su extensión. (DOEE, 2020, p. 166)

### 2.2.3. SWMM 5.2

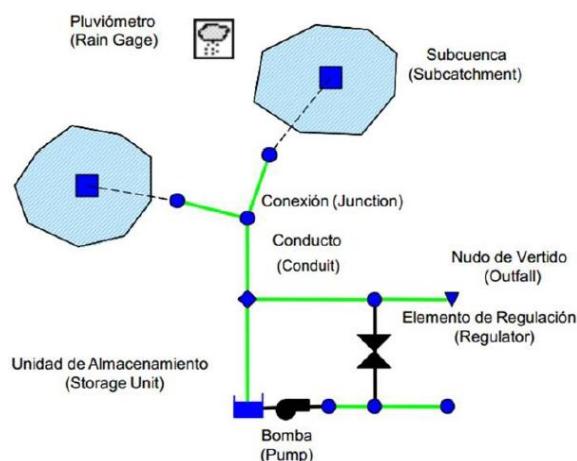
El Storm Water Management Model (SWMM) versión 5.2 es un programa computacional desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) para la simulación dinámica de la cantidad y calidad del agua en sistemas de drenaje urbano. Este software es capaz de modelar el flujo de agua superficial, la generación de escorrentía y el transporte de contaminantes en sistemas de alcantarillado combinados y separados. SWMM 5.2 permite a los ingenieros y urbanistas evaluar el rendimiento de diferentes estrategias de manejo de aguas pluviales, optimizando el diseño de infraestructuras de drenaje para minimizar los riesgos de inundación y mejorar la calidad del agua en entornos urbanos. (Rossman, 2010)

#### 2.2.3.1. Elementos Visuales

Es posible estructurar un conjunto de elementos visuales en SWMM de manera que representen de forma gráfica y funcional un sistema de drenaje pluvial. Estos elementos se pueden ubicar y visualizar directamente sobre un mapa dentro del entorno de trabajo del software. (Rossman, 2010, pág. 33)

**Figura 12**

*Elementos visuales empleados en la modelación de sistemas de drenaje pluvial en SWMM*



*Nota. Tomado de Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0. por Rossman,*

2010, pág. 34

#### **2.2.3.1.1. Elementos Hidrológicos**

- Pluviómetros: Los pluviómetros son utilizados para obtener datos de precipitación correspondientes a una o varias subcuenas dentro del área analizada. Estos datos pueden ingresarse manualmente como una serie temporal definida por el usuario, o bien importarse desde archivos externos. (Rossman, 2010, pág. 34)

Las principales variables que deben definirse al configurar un pluviómetro son: la forma de representar la precipitación, ya sea como intensidad, volumen puntual o acumulado; el intervalo temporal de registro de datos, como cada hora o cada 15 minutos; el origen de la información pluviométrica, que puede provenir de una serie temporal definida por el usuario o de un archivo externo; y, finalmente, la identificación o nombre asignado a la fuente de datos de precipitación. (Rossman, 2010, pág. 34)

- Subcuenas: Las subcuenas representan áreas hidrológicas definidas por sus características topográficas y por los componentes del sistema de drenaje que canalizan la escorrentía superficial hacia un único punto de salida. (Rossman, 2010, pág. 34)

Cada subcuenca se subdivide en zonas con diferentes características de permeabilidad: una parte permeable, donde el agua puede infiltrarse en las capas superficiales del suelo, y otra impermeable, donde no ocurre infiltración. (Rossman, 2010, pág. 34)

La infiltración del agua de lluvia en la zona no saturada del suelo superficial, proveniente de las áreas permeables dentro de una subcuenca, puede cuantificarse mediante diferentes modelos matemáticos, entre los cuales destacan el modelo clásico de Horton y su versión modificada, el modelo de Green-Ampt junto con su variante ajustada, así como el modelo basado en el Número de Curva, el cual ofrece una aproximación empírica eficiente para diferentes tipos de suelo y condiciones de cobertura superficial. (Rossman, 2010, pág. 35)

Entre los parámetros fundamentales para la definición de subcuenas se consideran: el

pluviómetro asignado para la medición de precipitaciones, el nodo de descarga, el área tributaria que genera escurrimiento, el porcentaje de superficies impermeables, la pendiente del terreno, el ancho característico para el flujo superficial, así como el coeficiente de rugosidad de Manning (n) para zonas permeables e impermeables y el almacenamiento por depresión asociado a ambas superficies. (Rossman, 2010, pág. 35)

**Tabla 7**

*Coeficiente de rugosidad de Manning (n) para escurrimiento superficial*

Superficie	n
Asfalto liso	0.011
Hormigón liso	0.012
Revestimiento de hormigón basto	0.013
Madera pulida	0.014
Ladrillo con mortero de cemento	0.014
Arcilla vitrificada	0.015
Fundición de hierro	0.015
Tuberías de metal corrugado	0.024
Superficie de escombrera	0.024
Terreno improductivo (libre de residuos)	0.05
Terreno cultivado	
Cubierta de residuos < 20%	0.06
Cubierta de residuos > 20%	0.17

Pasto natural	0.13
Hierba	
Corta, pradera	0.15
Densa	0.24
Hierba Bermuda	0.41
Bosque	
Con cubierta ligera de arbustos	0.4
Con cubierta densa de arbustos	0.8

*Nota.* Tomado de *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0* por Rossman, 2010, pág. 163

### **Tabla 8**

#### *Almacenamiento por Depresiones*

Superficie impermeable	1.25 – 2.5 mm
Césped y Hierba	2.5 – 5 mm
Pastos y prados	≈5 mm
Lecho forestal	≈7.5 mm

*Nota.* Tomado de *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0* por Rossman, 2010, pág. 163

#### **2.2.3.1.2. Elementos Hidráulicos**

- Nodos: Las uniones o nodos en un sistema de drenaje son puntos donde convergen diferentes conductos o enlaces. Estas pueden corresponder a la confluencia de canales naturales, pozos de inspección en redes de alcantarillado o conexiones entre tuberías. Cuando el volumen de agua excede la capacidad del nodo, puede generarse presión parcial debido a la sobrecarga en los conductos conectados, lo que puede provocar pérdidas del sistema o la formación de acumulaciones superficiales (estanques) que eventualmente retornan al nodo. (Rossman, 2010, pág. 35)

Los parámetros clave para definir una intersección en un sistema de drenaje incluyen la elevación de la invertida, que corresponde al fondo del canal o del pozo, y la distancia vertical hasta la superficie del terreno. (Rossman, 2010, pág. 35)

- Nodos de descarga: Los nodos de descarga representan los puntos terminales dentro de un sistema de drenaje y se utilizan para establecer los límites finales aguas abajo cuando se emplea el método de enrutamiento por onda dinámica. Entre los parámetros esenciales para la configuración de un nodo de salida se encuentran la elevación de la invertida o cota. (Rossman, 2010, pág. 36)

- Conductos: Los conductos constituyen elementos hidráulicos, como tuberías o canales, encargados de trasladar el flujo de agua entre distintos nodos del sistema de transporte. Sus secciones transversales pueden adoptar diversas geometrías predeterminadas, ya sean cerradas o correspondientes a canales abiertos. En el diseño de sistemas modernos de drenaje y alcantarillado, las secciones transversales más utilizadas corresponden a geometrías circulares, elípticas y de tipo arco, debido a su eficiencia hidráulica y facilidad constructiva. (Rossman, 2010, pág. 37)

En todos los conductos, SWMM aplica la fórmula de Manning para modelar cómo se relacionan el caudal (Q), el área de flujo (A), el radio hidráulico (R) y la pendiente del conducto

(S). La formulación en unidades del Sistema Internacional se representa de la siguiente manera:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2}$$

Donde n representa el coeficiente de rugosidad de Manning, el cual caracteriza la resistencia al flujo dentro del conducto. Por su parte, la pendiente S puede referirse ya sea a la inclinación geométrica del conducto o a la pendiente de energía (fricción), entendida como la pérdida de carga por unidad de longitud, según el esquema de modelación hidráulica empleado para el transporte del flujo. (Rossman, 2010, pág. 39)

Los parámetros requeridos para definir un conducto en un modelo hidráulico incluyen: la identificación de los nodos donde inicia y termina el conducto, la longitud total del tramo, el valor del coeficiente de rugosidad de Manning, y la forma geométrica de su sección transversal. (Rossman, 2010, pág. 39)

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones (2021) en su norma CE.040 Drenaje Pluvial en sistemas de drenaje pluvial con tuberías de sección circular, se establece un diámetro mínimo de 0.45 m y una velocidad mínima de flujo de 0.9 m/s bajo condiciones de flujo a tubo lleno, a fin de prevenir la sedimentación de materiales sólidos transportados por el agua de escorrentía, como arenas y gravas. En cuanto a la instalación, se requiere una profundidad mínima de 1 metro desde la rasante de la calzada hasta la clave de la tubería, garantizando así una cobertura adecuada tanto para protección estructural como para facilitar el mantenimiento.

### **2.2.3.2. Controles LID**

Las prácticas de Desarrollo de Bajo Impacto (LID) están orientadas a manejar el escurrimiento superficial mediante mecanismos que incluyen la retención temporal, la infiltración al suelo y la evapotranspiración. Estas técnicas se incorporan en los modelos hidráulicos como atributos inherentes a cada subcuenca, análogos a la representación de acuíferos o capas de nieve. (Rossman, 2010, pág. 53)

El software SWMM cuenta con la capacidad de simular de forma explícita categorías

genéricas de controles LID, tales como:

**2.2.3.2.1. Zanja de Infiltración.** Constituyen dispositivos lineales estrechos, usualmente rellenos con material granular (grava), cuya función principal es captar el escurrimiento superficial generado en superficies impermeables situadas en cotas superiores. Estas estructuras actúan como sistemas de retención temporal, facilitando la infiltración del agua al suelo nativo y contribuyendo a la recarga de acuíferos y la reducción del volumen de escorrentía. (Rossman, 2010, pág. 54)

**2.2.3.2.2. Pavimento Permeable.** Son soluciones de desarrollo urbano sostenible que combinan una superficie permeable de concreto o asfalto con una base de grava que actúa como reservorio temporal. Estos sistemas permiten que el agua pluvial percole directamente a través del firme, facilitando su almacenamiento subterráneo e infiltración progresiva en el terreno natural. (Rossman, 2010, pág. 54)

### **2.2.3.3. Métodos Computacionales**

El modelo SWMM se fundamenta en una formulación física y opera bajo un esquema de simulación en pasos de tiempo discretos. Aplica, según corresponda, las leyes de conservación de la masa, la energía y el momento lineal para representar los distintos fenómenos involucrados. (Rossman, 2010, pág. 55)

**2.2.3.3.1. Escurrimiento Superficial.** SWMM representa el escurrimiento superficial mediante un enfoque conceptual en el que cada subcuenca se modela como un reservorio no lineal dinámico. El agua que ingresa a este sistema proviene tanto de la precipitación directa como de flujos generados en subcuencas vecinas ubicadas aguas arriba. El reservorio presenta múltiples mecanismos de pérdida, como infiltración al suelo, evaporación desde la superficie y escurrimiento superficial hacia el sistema de drenaje. (Rossman, 2010, pág. 55)

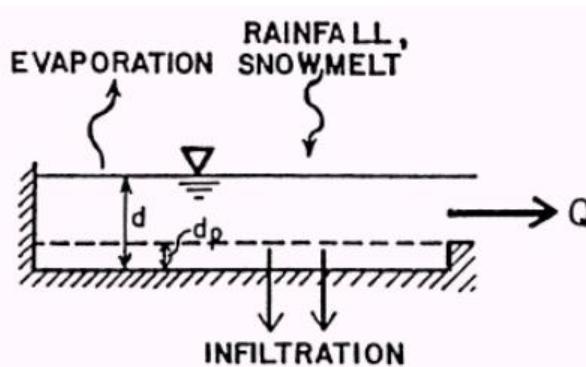
El escurrimiento superficial unitario ( $Q$ ) se genera solo cuando la altura del agua acumulada en la superficie de la subcuenca excede la capacidad de almacenamiento por

depresiones ( $d_p$ ), es decir, el volumen que puede ser retenido por microrelieves del terreno. Una vez superado este umbral, el flujo superficial comienza y se cuantifica aplicando la ecuación de Manning, que considera factores como la pendiente, rugosidad y profundidad del flujo. (Rossman, 2010, pág. 55)

La evolución temporal de la profundidad del agua sobre la subcuenca ( $d$ , expresada en pies) se determina mediante la resolución numérica del balance hídrico, el cual se actualiza continuamente en función del tiempo ( $t$ , en segundos), permitiendo simular con precisión la dinámica del escurrimiento superficial durante eventos de precipitación. (Rossman, 2010, pág. 55)

**Figura 13**

*Vista conceptual del escurrimiento superficial*



Nota. Tomado de *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0.* por Rossman, 2010, pág. 56

**2.2.3.3.2. Infiltración.** La infiltración se define como el mecanismo a través del cual el agua de precipitación se introduce en el suelo a través de su superficie, ingresando a la zona no saturada en las áreas permeables de una subcuenca. En el modelo SWMM, este fenómeno puede representarse utilizando:

- Método del Número de Curva: Este modelo de infiltración, derivado del método del Número de Curva desarrollado por el NRCS (anteriormente SCS), permite estimar el escurrimiento superficial considerando la capacidad de almacenamiento de humedad en el

suelo. El método parte del supuesto de que esta capacidad puede cuantificarse a partir del valor tabulado del número de curva, el cual integra factores como el tipo de suelo, el uso del suelo y la cobertura vegetal. (Rossman, 2010, pág. 56)

**2.2.3.3.3. Enrutamiento de Flujo.** La simulación del flujo a través de un conducto en el modelo SWMM se basa en la aplicación de las ecuaciones de Saint Venant, las cuales representan la conservación de la masa y del momento lineal en condiciones de flujo no permanente y gradualmente variado. Estas ecuaciones permiten capturar con precisión los procesos dinámicos del flujo en redes de drenaje urbano. (Rossman, 2010, pág. 58)

- Onda Dinámica: El ruteo por onda dinámica en SWMM representa el enfoque más riguroso y preciso para modelar el flujo en sistemas de drenaje, ya que aplica las ecuaciones completas de Saint Venant en una dimensión, integrando tanto la conservación de masa como de momento. Estas ecuaciones se aplican a los conductos (tuberías o canales) y a los nodos, donde se evalúa el balance de volumen.

Este método permite simular con precisión condiciones de flujo presurizado, especialmente cuando un conducto cerrado alcanza su capacidad máxima y se genera una sobrepresión que produce caudales superiores al flujo normal. También contempla situaciones de inundación local, cuando el nivel del agua en un nodo supera la capacidad hidráulica del sistema; en esos casos, el exceso puede salir del sistema o acumularse superficialmente para luego reincorporarse. (Rossman, 2010, pág. 59)

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. MÉTODO**

##### ***3.1.1. Enfoque de la Investigación***

El enfoque de esta investigación es cuantitativo. Según Narváez & Villegas (2014) “la investigación cuantitativa se basa en la obtención de datos para corroborar una hipótesis con base en datos numéricos y estadísticos”. En esta investigación se utilizará datos numéricos en la precipitación y con ella diseñar el sistema de drenaje pluvial urbano sostenible. Para evaluar la efectividad de este sistema de drenaje pluvial urbano sostenible se utilizará la estadística inferencial con las probabilidades al predecir futuros eventos tales como un escenario de precipitación intensa.

##### ***3.1.2. Alcance de la Investigación***

El alcance de esta investigación es explicativo. Según Hernandez et al. (2014) “se refiere a un tipo de investigación que tiene como objetivo principal entender las causas y efectos de los fenómenos estudiados, estableciendo relaciones de causalidad entre las variables” (p. 95). La investigación explicativa busca responder a las preguntas de “por qué” y “cómo” ocurren ciertos fenómenos, proporcionando una comprensión más profunda y detallada. Este enfoque va más allá de la simple descripción o correlación de variables, al intentar explicar los factores que inciden directamente en el fenómeno, así como sus posibles consecuencias.

##### ***3.1.3. Diseño de la Investigación***

El diseño de la investigación es no experimental. Según Hernandez et al. (2014) “la investigación no experimental se refiere a estudios en los que no se manipulan intencionalmente las variables” (p. 152). En lugar de alterar las variables independientes para ver su efecto en otras, simplemente se observan los fenómenos tal como ocurren en su entorno natural. En esta investigación no se va a manipular intencionadamente las precipitaciones pluviales (variable independiente) para observar cómo impactan en el sistema de drenaje sostenible (variable

dependiente). En cambio, se observará y analizará datos históricos y actuales sobre las precipitaciones pluviales en Santa Clemencia, tal como han ocurrido en la realidad, sin intervención.

### **3.2. MUESTRA**

La muestra es censal, por lo que la muestra es igual a la población. Es decir, el C.P. Santa Clemencia, distrito de Chimbote, provincia del Santa, departamento de Ancash.

### **3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

#### **3.3.1. *Variables***

- *Variable Independiente:* Precipitación Pluvial
- *Variable Dependiente:* C.P. Santa Clemencia

#### **3.3.2. *Definición Conceptual***

- Precipitación Pluvial: Cantidad de agua que cae desde la atmósfera en forma de lluvia sobre una superficie durante un intervalo de tiempo.
- C.P. Santa Clemencia: Delimitación de la zona de estudio.

### 3.3.3. Definición Operacional

**Tabla 9**

#### Operacionalización de Variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Técnica	Instrumento
Variable Independiente : Precipitación Pluvial	Cantidad de agua que cae desde la atmósfera en forma de lluvia sobre una superficie durante un intervalo de tiempo.	Obtención y procesamiento de datos pluviométricos históricos para definir la lluvia de diseño utilizada en la modelación hidrológica.	Precipitación máxima	mm/h	Análisis documental	Base de datos de PISCO-SENHAMI
Variable Dependiente: C.P. Santa Clemencia	Evaluación cuantitativa de la capacidad, niveles de agua, caudales y saturación del sistema mediante simulaciones hidráulicas en SWMM 5.2.	Suelo Topografía	Uso Textura Área Perímetro	Análisis documental Análisis documental Simulación en programa	Modelos digitales de elevación del satélite Sentinel-2 10 m Land Use/Land Cover Time Series y SoilGrids ArcGIS Modelos digitales de elevación del satélite ALEOS-PASAR ArcGIS	
		Capacidad de infiltración	Permeabilidad	Análisis documental	Ensayo mecánica suelos	de de

## 3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

### 3.4.1. Técnicas

Para la recolección de datos se utilizarán las siguientes técnicas:

- *Análisis documental*: Consiste en la revisión de documentos y registros existentes para recopilar información relevante para el estudio. Se recopiló mapas satelitales tanto de geomorfología, uso y tipo de suelo; y también datos pluviométricos mediante la herramienta PISCO-SENHAMI.

- *Simulación en programa:* uso de software especializado para modelar y analizar fenómenos complejos, permitiendo prever resultados en un entorno virtual.

- *Ensayo de laboratorio:* Técnica experimental en un entorno controlado para obtener datos precisos sobre las propiedades de materiales o fenómenos específicos. En este estudio se usaron ensayos para determinar las características del suelo.

### **3.4.2. Instrumentos**

Se emplearon los siguientes instrumentos:

- *Modelos Digitales de Elevación (DEMs):* Se emplearon los Modelos Digitales de Elevación (DEM) ALOS PALSAR con resolución espacial de 12.5 m, descargados desde el portal Vertex de la Alaska Satellite Facility (ASF). Este producto satelital se obtiene a partir de imágenes de radar de apertura sintética (SAR) del satélite ALOS del cual mediante técnicas de interferometría radar (InSAR) se calcula la diferencia de fase entre pares de imágenes, lo que permite reconstruir con alta precisión la elevación del terreno en forma de un modelo digital continuo. Esto con el fin de obtener una representación precisa del relieve de la zona de estudio.

- *Modelos Digitales de Textura de Suelo:* Se utilizó la plataforma SoilGrids desarrollada por ISRIC – World Soil Information, la cual provee mapas digitales de propiedades del suelo a nivel global. Este sistema se basa en la compilación de perfiles edáficos contenidos en la base de datos WoSIS y en la aplicación de modelos estadísticos de predicción (quantile random forest) sobre covariables ambientales. Con una resolución espacial de 250 m, SoilGrids permitió obtener la información de textura del suelo (contenido de arena, limo y arcilla) en distintos horizontes de profundidad, la cual fue empleada para caracterizar las condiciones edáficas de la cuenca y complementar la modelación hidrológica.

- *Modelos Digitales de Uso y Cobertura de Suelo:* Para la caracterización de la cobertura y uso del suelo se empleó la capa “Sentinel-2 10 m Land Use/Land Cover Time Series”, disponible en ArcGIS. Este recurso, desarrollado por Esri en colaboración con Impact

Observatory, proporciona información anual de cobertura y uso del suelo a escala global con una resolución espacial de 10 metros, lo que permitió identificar con precisión áreas de vegetación, superficies agrícolas, zonas urbanas, cuerpos de agua y suelos descubiertos en la zona de estudio. El dataset fue accedido mediante la plataforma ArcGIS Pro, desde donde se descargaron y procesaron las coberturas correspondientes al área de la cuenca en análisis

- *Datos pluviométricos del PISCOp-SENHAMI:* Se uso la base pluviométrica PISCOp del SENAMHI (Peruvian Interpolated data of SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations) el cual consiste en un conjunto de datos grillados de precipitación diaria y mensual, elaborado a partir de observaciones de estaciones pluviométricas combinadas con información satelital y climatológica, procesadas mediante control de calidad e interpolación geoestadística.

PISCOp cubrió el periodo 1981–2016 con una resolución espacial aproximada de 0.05° (5 km), lo que permitió disponer de información continua y homogénea a nivel nacional. De esta base se extrajeron las series de precipitación máxima mensual (mm/día) correspondientes a la cuenca en estudio.

- *Software ArcGIS:* Se empleó el software ArcGIS, desarrollado por Esri, como herramienta principal para el manejo y análisis de información geoespacial. Este programa permitió la delimitación de la cuenca hidrográfica mediante el uso de modelos de elevación digital (DEM) y la extracción de parámetros morfométricos como área, pendiente media, perímetro y red de drenaje.

ArcGIS se utilizó también para la integración y procesamiento de capas temáticas, tales como textura, cobertura y uso del suelo. De esta manera, se garantizó una representación espacial precisa de las variables que intervienen en el comportamiento hidrológico de la cuenca.

- *Software HEC-HMS:* Otro instrumento fundamental fue el software HEC-HMS (Hydrologic Modeling System), desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers –

Hydrologic Engineering Center. Este programa permitió la simulación del proceso lluvia–escorrentía en la cuenca de estudio, integrando parámetros físicos (pendiente, área, cobertura de suelo, número de curva CN) y series temporales de precipitación.

HEC-HMS se utilizó para procesar y organizar la información hidrológica recolectada, generando como resultados hidrogramas de escorrentía, caudales máximos de diseño y volúmenes de escorrentía directa.

- *Software SWMM (Storm Water Management Model) 5.2.4:* Desarrollado por la U.S. Environmental Protection Agency (EPA), como instrumento especializado para el modelamiento hidrológico e hidráulico de la red de drenaje pluvial en el área de estudio. Este programa permitió la simulación del escurrimiento superficial a partir de datos pluviométricos, topográficos e hidrológicos, así como el cálculo de caudales de diseño y la capacidad de conducción de las conducciones propuestas. Asimismo, posibilitó la incorporación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), tales como pavimentos permeables y zanjas de infiltración, integrándolos en la red modelada para analizar su impacto en la reducción de picos de caudal y en la mejora de la infiltración. De esta manera, el software generó escenarios comparativos que respaldaron técnicamente el diseño eficiente y sostenible del sistema de drenaje pluvial propuesto.

### **3.5. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RESULTADOS**

- *Características físicas de la cuenca:* Las características físicas se procesaron a partir del Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR (12.5 m) el cual se reproyectó a coordenadas UTM, se procesó usando el software ArcGIS obteniendo la delimitación de la cuenca, pendiente, orientación, dirección y acumulación de flujo. Con estos insumos se delimitó la cuenca y la red de drenaje y se calcularon los parámetros morfométricos.

De la misma forma se procesó con el software ArcGIS la textura del suelo de la base de datos SoilGrids (ISRIC), descargando las fracciones de arena, limo y arcilla; y la base de datos

del uso y cobertura del suelo.

También se analizó el resultado de los ensayos de mecánica de suelo calculando la capacidad de infiltración y permeabilidad del suelo de la zona de estudio mediante la granulometría.

- **Parámetros hidrológicos de la cuenca:** Con los datos obtenidos de precipitación areal mediante la herramienta PISCOp-SENHAMI se determinaron las precipitaciones máximas anuales para diferentes períodos de retorno, utilizando el ajuste de distribuciones Normal, Gamma, Pearson y Gumbel mediante las pruebas Chi Cuadrado y de Kolmogorov-Smirnov mediante el programa Hydrognomon usando la distribución que presente menor varianza.

Con estos datos, se construirá la curva IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) para diferentes períodos de retorno. A partir de las curvas IDF mediante el método de bloque alterno se obtendrán los histogramas de diseño.

- **Parámetros hidráulicos:** Con los histogramas de diseño y la cuenca delimitada se desarrollará un modelo hidrológico en HEC-HMS. Para el modelamiento, se empleará el método del Hidrograma Unitario Sintético Triangular del SCS usando el número de curva ponderado calculado mediante el software ArcGIS. Con esto se obtendrán los hidrogramas para cada período de retorno donde se visualizará los caudales máximos de diseño.

- **Alternativas de SUDS:** Se empleó el modelamiento hidrológico e hidráulico de la cuenca del C. P. Santa Clemencia, utilizando como base los datos obtenidos de los estudios de suelos, análisis físico e hidrológico. La propuesta de red de drenaje pluvial se desarrolló aplicando el modelo de infiltración de Curva Número (CN) y el enfoque de Onda Dinámica para la simulación del escurrimiento y el transporte en la red. Una vez diseñado el sistema, se integraron Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), específicamente pavimentos permeables y zonas de infiltración, cuyo dimensionamiento se realizó conforme a los criterios del Stormwater Management Guidebook de la DOEE. Posteriormente, dichos SUDS fueron

modelados en SWMM e incorporados a la red de drenaje propuesta, permitiendo obtener resultados hidrológicos e hidráulicos comparativos entre el escenario convencional y el escenario con SUDS, con el fin de evaluar su impacto en la reducción de escorrentía superficial y la mejora de la infiltración.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

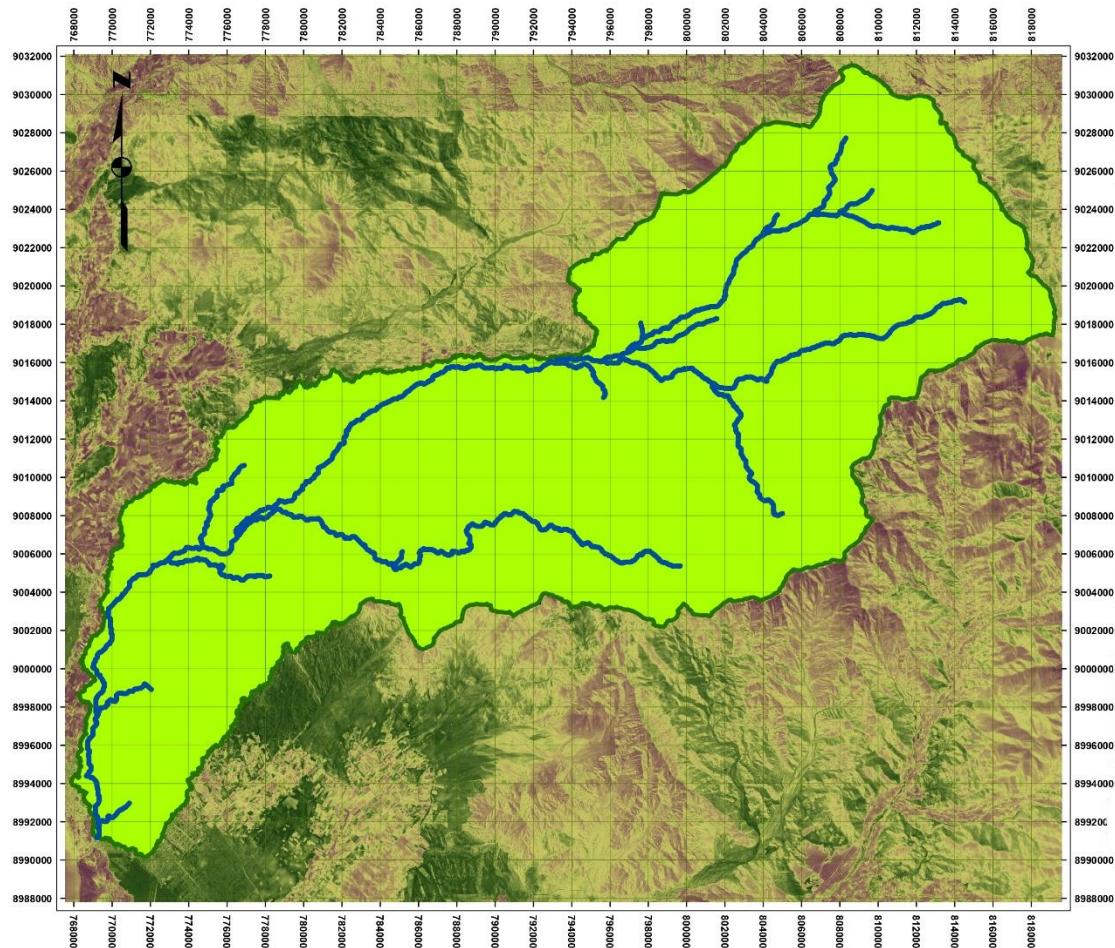
### 4.1. RESULTADOS

#### 4.1.1. OE1: Características de la Cuenca

**4.1.1.1. Características Físicas.** La cuenca se delimitó para el río Lacramarca como se observa en la Figura 14.

**Figura 14**

*Cuenca Hidrográfica del Río Lacramarca*



En la tabla 10 se presentan los parámetros geomorfológicos de la cuenca:

**Tabla 10**

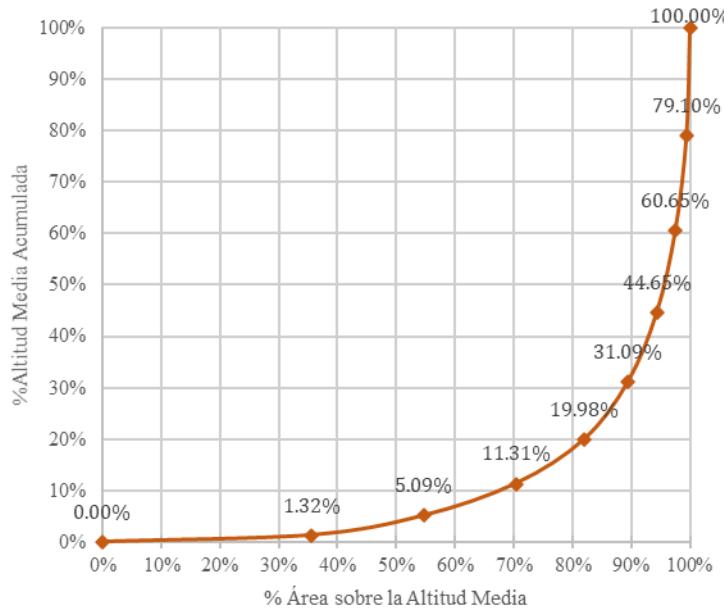
*Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca del Río Lacamarca*

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>	<b>Interpretación</b>
Área (km)	806.28	Cuenca de tamaño mediana-grande
Perímetro (km)	186.2	
Centroide (Coordenadas UTM)	17L 794025.34 E 9011922.85 S	
Longitud de Máximo Recorrido (km)	80.77	Cauce principal relativamente grande
Ancho Promedio de la Cuenca (km)	9.98	Cuenca alargada
Cota Máxima (m.s.n.m.)	4619	La cuenca se origina en zonas altoandinas
Cota Mínima (m.s.n.m.)	21	La cuenca desemboca en zona costera
Desnivel Altitudinal (m)	4598	
Factor de Forma	0.12	Baja tendencia a crecidas súbitas
Índice de Compacidad	1.85	
Rectángulo Equivalente (km)	L1=84.22, L2=9.57	
Pendiente Media (m/m)	0.37	
Altitud Media (m.s.n.m.)	2314.54	
Coeficiente de Masividad	1.46	La cuenca es llana
Densidad de Drenaje	0.22	Capacidad baja para evacuar agua
Tiempo de Concentración (min)	244.57	

En la Figura 15 se presentan la curva hipsométrica de la cuenca:

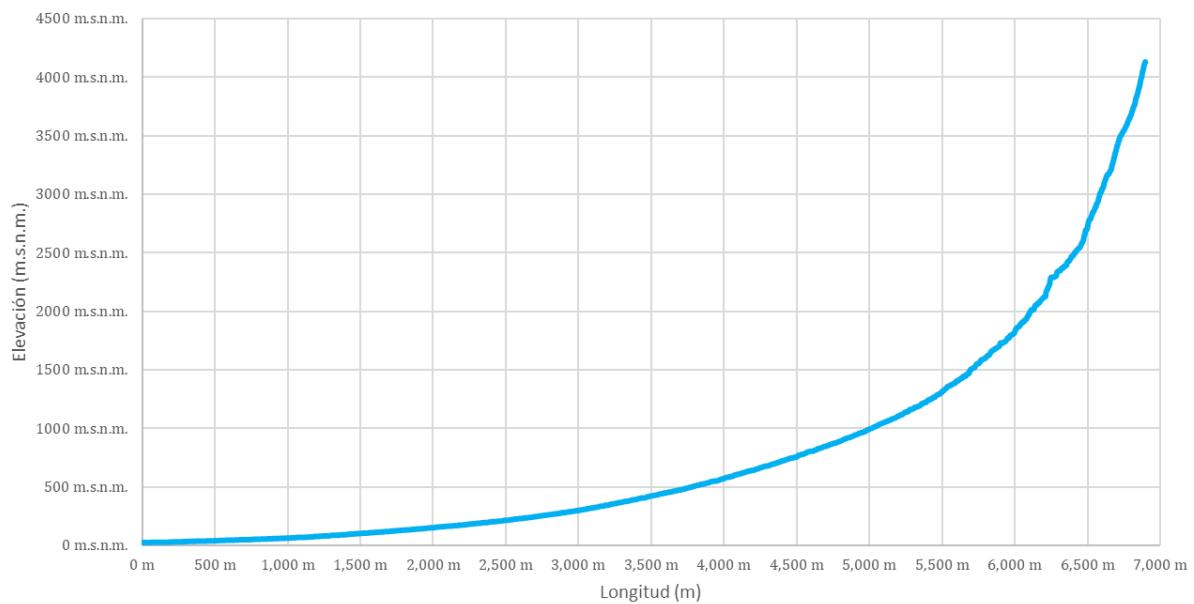
**Figura 15**

*Curva Hipsométrica de la Cuenca del río Lacramarca*



**Figura 16**

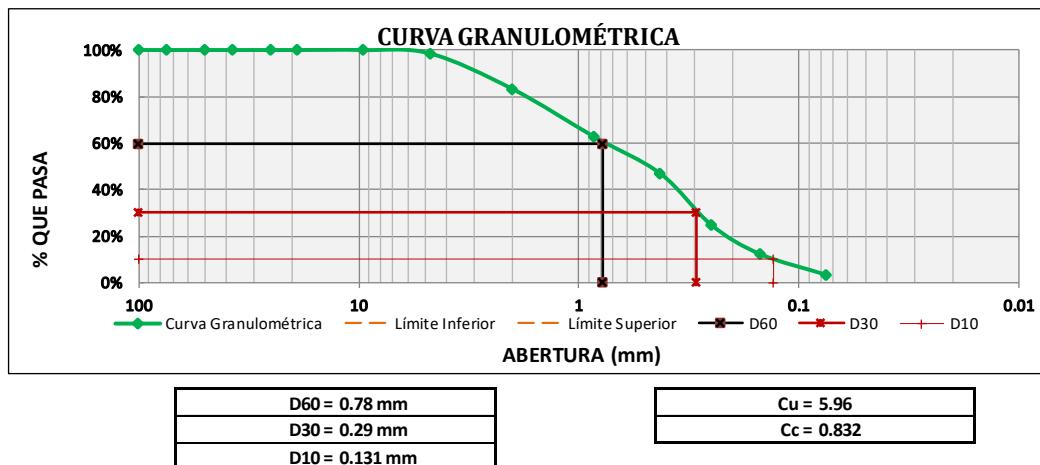
*Perfil Longitudinal del Río Lacramarca*



En cuanto a las características del suelo, se identificó el suelo como Arena Mal Graduada SP sin presencia de limos.

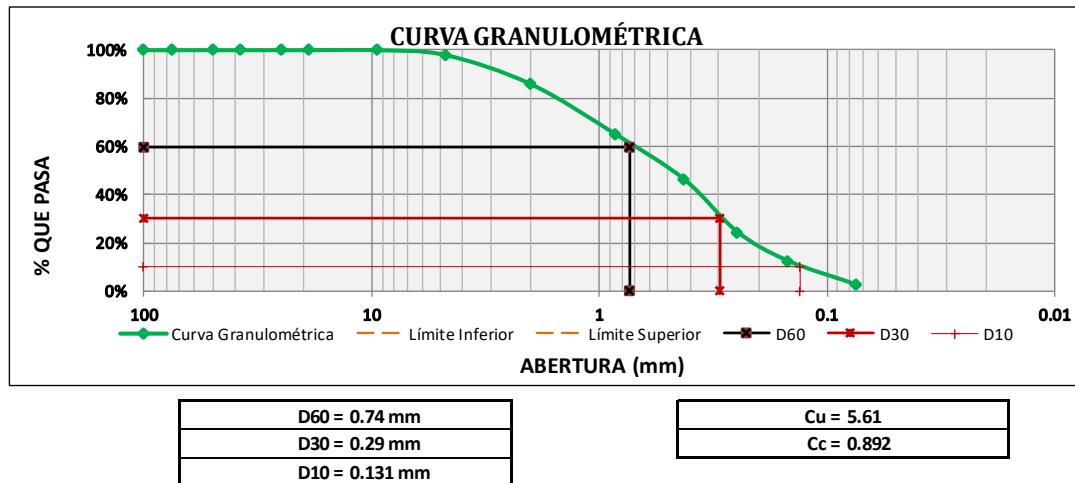
**Figura 17**

*Curva Granulométrica de la Calicata C-01*



**Figura 18**

*Curva Granulométrica de la Calicata C-02*



La capacidad de infiltración del suelo estimada es de 02.03 cm/h, equivalente a 0.000564 cm/s y 20.30 mm/h. Debido a que Minnesota Stormwater Manual (2021), establece ese valor para suelos SP (Arena Mal Graduado). Este valor indica una permeabilidad rápida por parte del suelo.

**4.1.1.2. Características Hidrológicas.** La precipitación máxima mensual fue obtenida mediante la interpolación de la base de datos PISCOp-SENHAMI delimitada dentro de la cuenca del periodo 1981 a 2024.

**Tabla 11**

*Precipitación Areal Máxima en al Cuenca del Río Lacramarca 1981-2025*

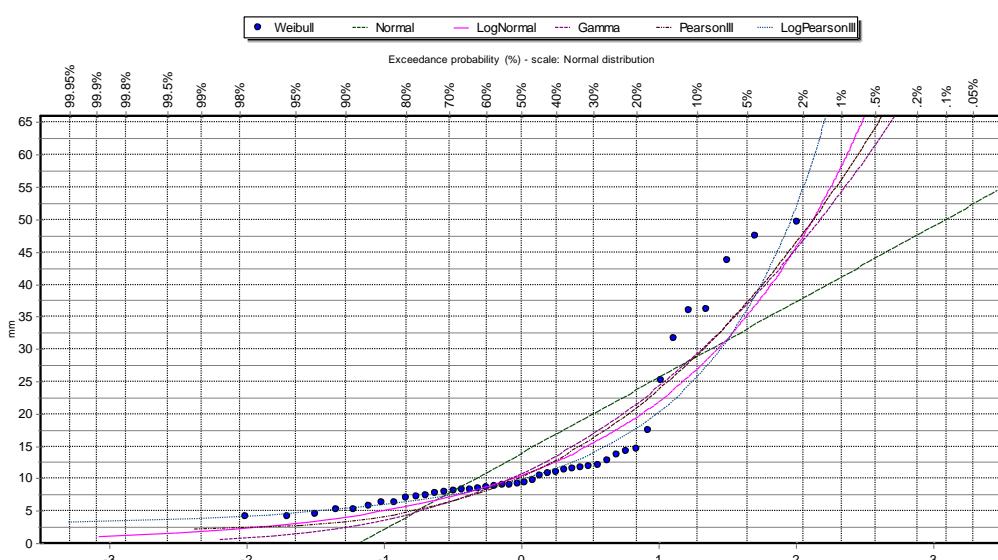
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	P <sub>máx</sub>
<b>1981</b>	8.82	5.28	7.27	1.34	0.35	0.13	0.07	1.33	0.03	2.63	1.18	1.87	8.82
<b>1982</b>	2.71	3.01	4.09	1.91	0.35	0.10	0.47	0.12	0.13	3.11	1.26	2.40	4.09
<b>1983</b>	4.94	2.34	36.00	13.28	1.81	0.52	0.39	0.43	0.10	2.62	0.92	2.80	36.00
<b>1984</b>	3.44	8.47	7.54	1.75	2.35	0.44	0.19	0.36	0.12	2.52	1.14	1.54	8.47
<b>1985</b>	2.40	2.06	4.19	1.43	1.22	0.05	0.38	0.65	0.15	1.45	0.62	2.33	4.19
<b>1986</b>	11.26	2.48	8.63	2.42	0.97	0.07	0.13	0.93	0.06	1.83	1.02	2.39	11.26
<b>1987</b>	11.99	3.08	6.48	2.13	0.57	0.12	0.27	0.78	0.22	1.72	1.19	2.00	11.99
<b>1988</b>	8.04	3.29	3.37	2.28	0.91	0.49	0.06	0.27	0.14	2.09	0.95	1.84	8.04
<b>1989</b>	6.91	4.76	7.99	3.76	0.78	0.52	0.18	1.01	0.59	4.55	0.97	0.73	7.99
<b>1990</b>	6.27	1.94	4.14	1.58	1.40	0.34	0.16	0.33	0.15	3.62	2.46	2.38	6.27
<b>1991</b>	3.85	3.20	9.31	1.66	0.45	0.10	0.06	0.07	0.07	2.38	1.46	3.10	9.31
<b>1992</b>	2.23	2.41	4.57	1.99	0.61	0.68	0.08	0.95	0.14	2.13	0.55	1.09	4.57
<b>1993</b>	4.42	8.34	17.40	4.30	0.89	0.06	0.28	0.97	0.18	2.43	1.67	4.69	17.40
<b>1994</b>	5.98	6.02	10.47	4.34	1.30	0.24	0.04	0.07	0.07	1.67	1.01	3.64	10.47
<b>1995</b>	3.42	2.83	5.16	1.32	1.55	0.18	0.43	0.29	0.08	2.25	1.13	1.73	5.16
<b>1996</b>	5.95	4.45	7.33	1.89	0.76	0.06	0.06	0.91	0.09	3.52	0.77	1.35	7.33
<b>1997</b>	5.78	2.92	4.26	1.79	0.83	0.57	0.08	0.66	0.42	3.57	2.20	8.93	8.93
<b>1998</b>	17.50	26.75	47.49	2.51	1.06	0.19	0.05	0.31	0.10	3.12	1.06	3.66	47.49
<b>1999</b>	7.56	36.07	5.68	2.29	1.53	0.49	0.24	0.44	0.56	1.59	1.31	2.93	36.07
<b>2000</b>	4.35	3.59	8.59	2.45	1.86	0.42	0.10	1.04	0.18	0.68	1.06	4.46	8.59
<b>2001</b>	14.52	2.80	12.62	1.60	0.70	0.41	0.11	0.13	0.45	2.13	1.50	2.06	14.52
<b>2002</b>	2.10	7.96	9.08	2.71	0.60	0.08	0.13	0.04	0.02	7.04	4.95	1.81	9.08
<b>2003</b>	4.59	5.19	5.73	1.78	0.51	0.20	0.14	0.12	0.09	2.21	0.69	4.05	5.73
<b>2004</b>	3.06	2.84	5.53	1.00	1.38	0.10	0.50	0.14	0.45	6.25	1.13	2.25	6.25
<b>2005</b>	3.94	2.03	9.66	1.43	0.17	0.01	0.03	0.38	0.00	1.90	0.34	2.26	9.66
<b>2006</b>	5.96	7.78	11.83	1.84	0.31	0.30	0.03	0.48	0.09	3.25	1.26	3.43	11.83
<b>2007</b>	5.33	1.73	13.72	2.83	1.41	0.02	0.20	0.34	0.00	2.65	1.26	2.15	13.72
<b>2008</b>	8.35	4.10	7.82	1.52	1.46	0.50	0.04	0.75	0.11	2.55	3.20	1.17	8.35
<b>2009</b>	43.68	4.64	13.07	2.74	1.39	0.21	0.23	0.59	0.00	5.26	1.22	2.61	43.68
<b>2010</b>	3.96	11.50	10.59	2.21	0.94	0.14	0.10	0.26	1.04	2.32	1.40	3.16	11.50
<b>2011</b>	8.98	6.24	8.18	2.14	0.17	0.02	0.26	0.14	0.13	1.54	0.89	3.96	8.98
<b>2012</b>	7.09	6.84	8.30	3.74	0.58	0.17	0.01	0.21	0.03	3.27	1.17	3.36	8.30
<b>2013</b>	4.02	18.52	49.61	1.10	1.21	0.33	0.33	1.72	0.07	2.90	0.54	3.28	49.61
<b>2014</b>	3.78	4.36	12.71	2.21	1.30	0.19	0.21	0.51	0.16	2.39	1.28	2.95	12.71

<b>2015</b>	10.91	3.77	8.20	2.35	1.17	0.45	0.29	0.48	0.06	1.72	1.35	2.52	10.91
<b>2016</b>	2.69	6.18	7.78	1.43	0.39	0.27	0.10	0.17	0.10	2.05	0.33	2.06	7.78
<b>2017</b>	4.22	2.12	7.19	1.54	5.17	0.98	0.27	3.21	0.58	2.38	0.92	4.21	7.19
<b>2018</b>	6.41	4.02	6.93	2.02	3.17	0.67	0.34	2.82	0.63	2.42	1.82	1.56	6.93
<b>2019</b>	4.01	5.22	4.90	1.09	2.64	0.95	0.66	1.82	2.01	2.22	1.05	2.14	5.22
<b>2020</b>	3.06	1.73	4.21	1.00	2.71	0.85	0.58	14.24	1.42	3.68	2.89	5.80	14.24
<b>2021</b>	5.95	3.68	31.68	1.82	1.20	1.30	1.18	2.98	0.45	3.12	1.72	2.07	31.68
<b>2022</b>	3.49	4.51	10.81	2.99	1.04	0.89	1.15	1.05	0.28	1.42	0.19	0.94	10.81
<b>2023</b>	9.97	8.49	25.09	12.97	4.65	3.14	1.10	1.18	0.97	5.78	2.90	4.19	25.09
<b>2024</b>	11.71	3.98	8.22	2.64	2.05	0.92	1.92	0.74	0.91	2.89	1.04	3.17	11.71

Se hizo la validación estadística aplicando los modelos de distribución probabilísticas recomendados:

**Figura 19**

*Distribuciones de Probabilidad de la Precipitación Areal Máxima Mensual entre 1981-2024 en la Cuenca del Río Lacramarca*



Se realizó las pruebas de bondad de ajuste para determinar el mejor modelo de distribución estadística

**Tabla 12**

*Pruebas de Bondad de Ajuste para la Precipitación Areal Máxima Mensual entre 1981-2024  
 en la Cuenca del Río Lacramarca*

	Kolmogorov-Smirnov				$\delta$	Chi Cuadrado				n
	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$	$\alpha = 10\%$	p-valor		$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$	$\alpha = 10\%$	p-valor	
Normal	x	x	x	0%	0.28	x	x	x	-	41.36
LogNormal	✓	✓	✓	33%	0.14	x	x	x	1%	12.45
Gamma	✓	✓	✓	17%	0.17	x	x	x	0%	25.27
Pearson III	✓	✓	✓	29%	0.15	x	x	x	0%	22.82
Log Pearson III	✓	✓	✓	84%	0.09	✓	x	x	3%	7.27
Gumbel	✓	x	x	4%	0.21	x	x	x	-	37.27

La distribución que más se ajustó fue Log Pearson III. Con esta distribución se proyectó las precipitaciones máximas probables para diferentes períodos de retorno. Según la Organización Meteorológica Mundial en su Guía de Prácticas Hidrológicas recomienda que para datos pluviométricos para un solo intervalo fijo de observaciones de 1 a 24 horas se debe aplicar un ajuste multiplicando las precipitaciones por un factor de 1.13 para producir valores que se aproximan a un análisis real. Para hallar estas precipitaciones se usó el software Hydrognomon y se corrigió multiplicando por el factor 1.13.

**Tabla 13**

*Precipitación Máxima para distintos Periodos de Retorno en la Cuenca del río Lacramarca*

Periodo de Retorno (años)	$P_{\max}$ según Hydrognomon $P_{\max}$ (mm)	$P_{\max}$ corregido (mm)	Probabilidad de no Excedencia (P)
2	9.85	11.13	0.5
5	17.75	20.06	0.8
10	25.70	29.04	0.9
25	40.09	45.30	0.96
50	54.94	62.08	0.98
100	74.36	84.03	0.99
200	99.71	112.68	0.995
500	145.31	164.20	0.998
1000	191.90	216.84	0.999
10000	468.87	529.83	0.9999

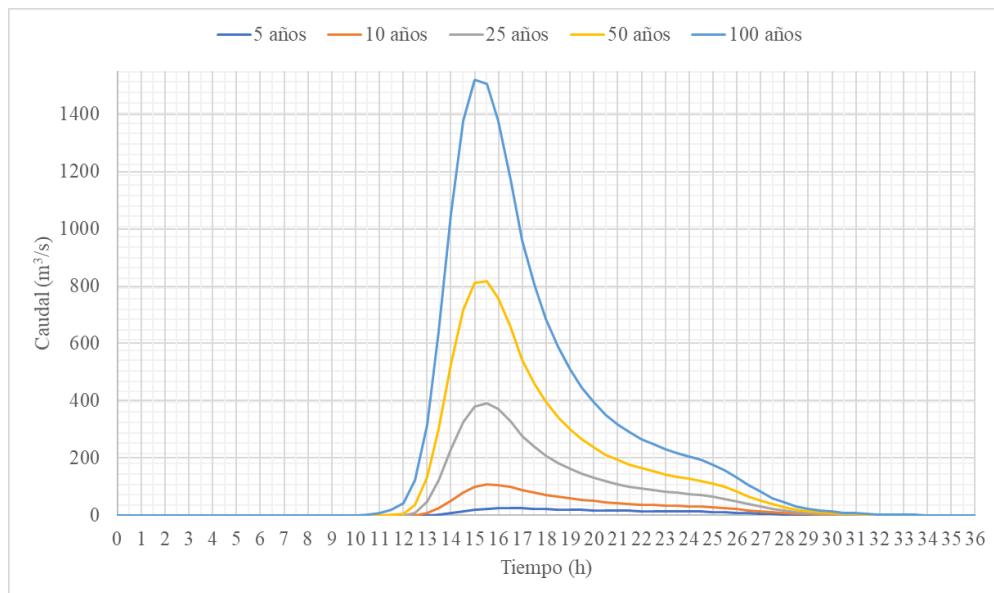
**4.1.1.3. Características Hidráulicas.** Se realizó el modelamiento hidrológico en el software HEC-HMS usando el método del hidrograma unitario sintético triangular del SCS.

El número de curva ponderado es de 81.44 para la cuenca delimitada.

A continuación, se muestran los hidrogramas para distintos períodos de retorno:

**Figura 20**

*Hidrograma Unitario para distintos Periodos de Retorno en la Cuenca del Río Lacramarca*



A continuación, se muestran los caudales máximos para cada periodo de retorno:

**Tabla 14**

*Caudales Máximos de Diseño en la Cuenca del Río Lacramarca*

Periodo de Retorno (Años)	Caudal Máximo (m <sup>3</sup> /s)
5	24.9
10	107.5
25	392.5
50	817.9
100	1521.7

Para el diseño de estructuras de drenaje pluvial se usó el periodo de retorno de 25 años equivalente a un caudal de 392.5 m<sup>3</sup>/s.

#### **4.1.2. OE2: Alternativas de SUDS**

**4.1.2.1. Modelamiento y Simulación de la red de drenaje pluvial propuesta.** Ya que el C.P. Santa Clemencia no presenta red de drenaje pluvial, se propone una, en base a los planos y estudios realizados.

Se presenta los valores de precipitaciones de diseño ingresados al SWMM 5.2.

**Tabla 15**

*Precipitaciones de diseño para la red de drenaje pluvial propuesta*

<b>Tiempo (h)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>
1	2.50
2	2.67
3	2.87
4	3.12
5	3.41
6	3.79
7	4.27
8	4.93
9	5.89
10	7.44
11	10.47
12	20.18
13	106.67
14	13.53
15	8.65
16	6.56
17	5.36

18	4.57
19	4.01
20	3.59
21	3.26
22	2.99
23	2.77
24	2.58

Se presenta los parámetros de las subcuencas ingresados al SWMM 5.2.

**Tabla 16**

*Parámetros de las subcuencas de la red de drenaje pluvial propuesta*

Subcuencia / Manzana	Área (ha)	Ancho (m)	Pendiente (%)	Impermeabilidad (%)		N-imperc	N-perv	D-store imperv (mm)	D-store perv (mm)
				N-imperv	N-perv				
<b>A</b>	0.38	144.8	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25	
<b>B</b>	0.57	143	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25	
<b>C</b>	0.41	117.7	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25	
<b>D</b>	0.19	27	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25	
<b>E</b>	0.23	63	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25	
<b>F</b>	0.21	58.4	0.15	30	0.012	0.13	2.5	2.5	
<b>G</b>	0.23	40	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25	
<b>H</b>	0.28	40	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25	
<b>I</b>	0.42	107.7	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25	

<b>J</b>	0.36	84.3	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25
<b>K</b>	0.46	60.65	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25
<b>L</b>	0.26	58.55	0.15	20	0.012	0.13	2.5	2.5
<b>M</b>	0.23	120.75	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25
<b>N</b>	0.34	59.6	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25
<b>Ñ</b>	0.10	40.6	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25
<b>O</b>	0.35	133.35	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25
<b>P</b>	0.40	59	0.15	30	0.012	0.13	2.5	2.5
<b>Q</b>	0.21	26.65	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25

Se presenta los parámetros de los nodos ingresados al SWMM 5.2.

**Tabla 17**

*Parámetros de los nodos de la red de drenaje pluvial propuesta*

<b>Nodo</b>	<b>Cota de Fondo</b>	<b>Profundidad</b>
	(m.s.n.m)	(m)
<b>N1</b>	79.2	1.8
<b>N2</b>	78.2	1.8
<b>N3</b>	77.2	1.8
<b>N4</b>	77	2
<b>N5</b>	76.6	2.4
<b>N6</b>	76.5	2.5
<b>N7</b>	77	2
<b>N8</b>	78.4	1.6
<b>N9</b>	77.4	1.6
<b>N10</b>	77.2	1.8
<b>N11</b>	78	2

<b>N12</b>	78.2	1.8
<b>N13</b>	79.2	1.8
<b>N14</b>	79.4	1.6
<b>N15</b>	80.4	1.6

El nodo de descarga (V) se encuentra en el río Lacramarca, con una elevación de la invertida o cota de 70 m.s.n.m.

Se presenta los parámetros de los conductos ingresados al SWMM 5.2. El material del conducto o tubería es Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (GRP).

**Tabla 18**

*Parámetros de los conductos de la red de drenaje pluvial propuesta*

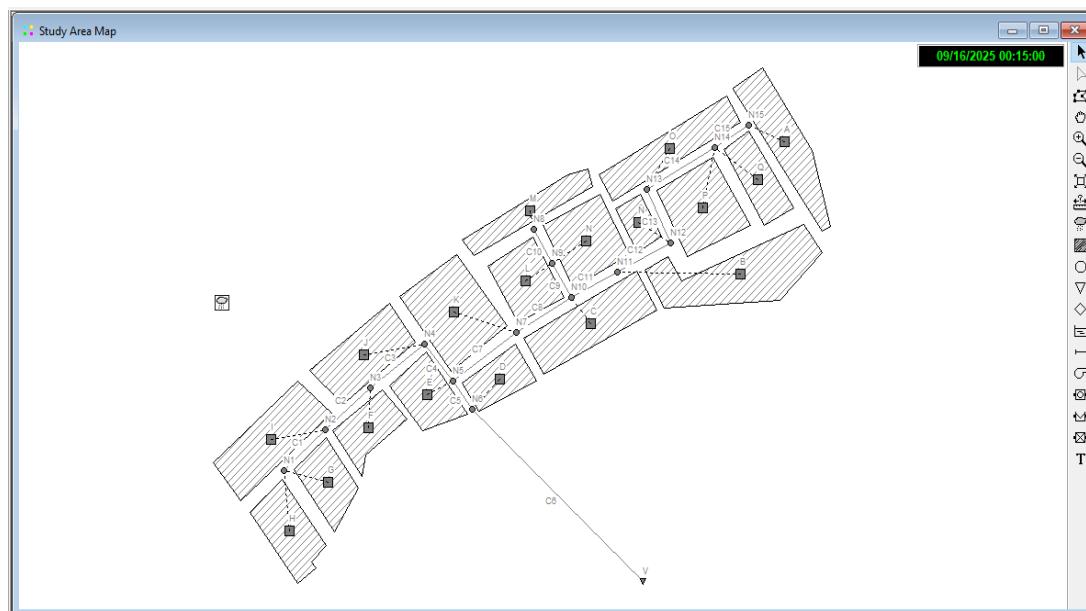
Conductos	Nodo inicial	Nodo final	Longitud (m)	Coeficiente de rugosidad "n"	Diámetro (m)
<b>C1</b>	N1	N2	50	0.01	0.8
<b>C2</b>	N2	N3	55	0.01	0.8
<b>C3</b>	N3	N4	60	0.01	0.8
<b>C4</b>	N4	N5	40	0.01	1
<b>C5</b>	N5	N6	35	0.01	1
<b>C6</b>	N6	V	270	0.01	1.5
<b>C7</b>	N7	N5	70	0.01	1
<b>C8</b>	N10	N7	55	0.01	0.8
<b>C9</b>	N9	N10	30	0.01	0.6
<b>C10</b>	N8	N9	40	0.01	0.6
<b>C11</b>	N11	N10	50	0.01	0.8
<b>C12</b>	N12	N11	50	0.01	0.8

<b>C13</b>	N13	N12	50	0.01	0.8
<b>C14</b>	N14	N13	70	0.01	0.6
<b>C15</b>	N15	N14	35	0.01	0.6

Luego de trazar e ingresar los parámetros, se obtiene la red de drenaje pluvial propuesta

**Figura 21**

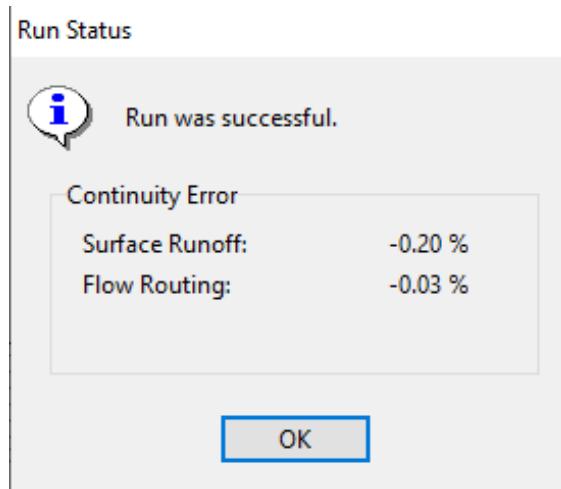
*Red de Drenaje Pluvial Propuesta*



Finalmente, se realiza la simulación, obteniendo el cuadro Estado de Ejecución (Run Status), el cual indica que la simulación fue exitosa. Se observa que el error de continuidad es inferior al  $\pm 10\%$  por lo cual la simulación es válida.

## **Figura 22**

*Estado de Ejecución de la Simulación de la red de drenaje pluvial propuesta*



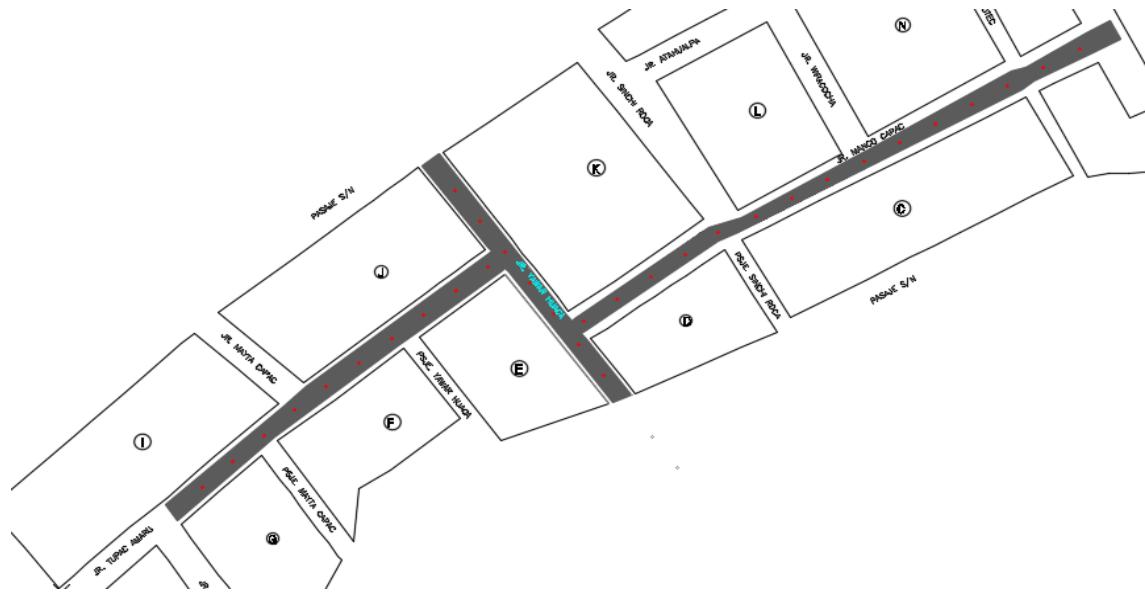
### **4.1.2.2. Modelamiento y Simulación de la red de drenaje pluvial propuesta**

**integrando los SUDS.** En el C.P. Santa Clemencia se visualiza que los jirones son estrechos, incluso hay presencia de pasajes, es decir, presenta espacios reducidos. Por ello, se proponen a los SUDS: pavimento permeable y zanja de infiltración, debido a sus características y ventajas son válidas para el lugar de estudio.

Entonces, por fines comparativos, se implementa los SUDS mencionados en el mismo tramo, es decir, Jirón Tupac Amaru – Jirón Yawar Huaca - Jirón Manco Cápac. Siendo las subcuencas mejoradas: B, C, D, E, F, G, I, J, K, L, N y Ñ. Visualizándose de la siguiente manera:

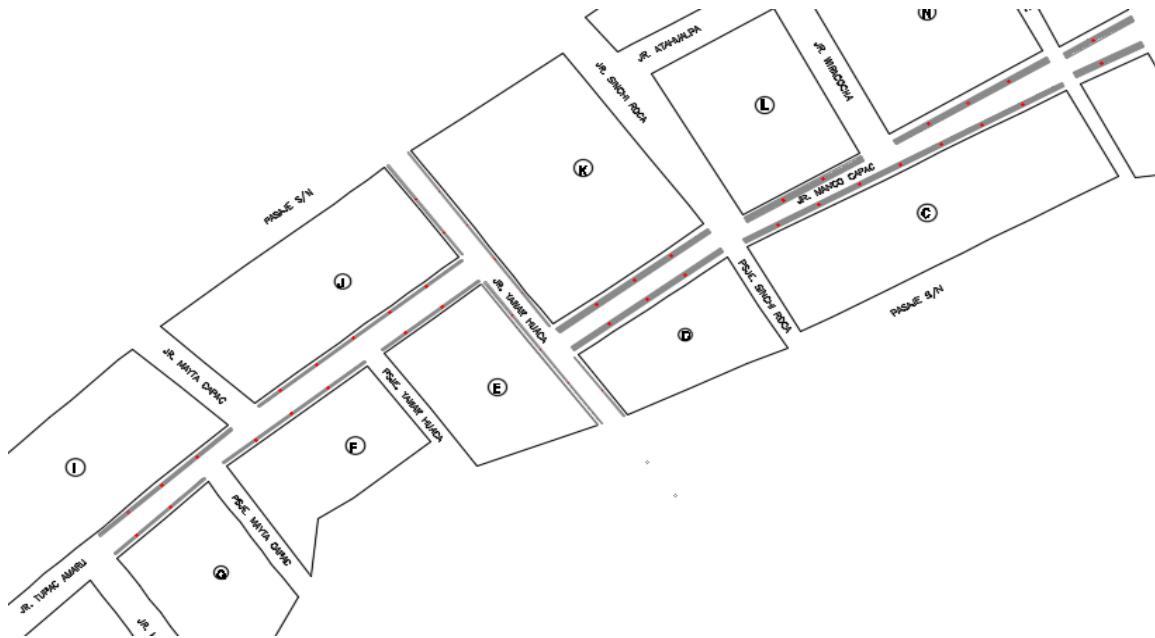
**Figura 23**

### *Área de intervención del Pavimento Permeable*



**Figura 24**

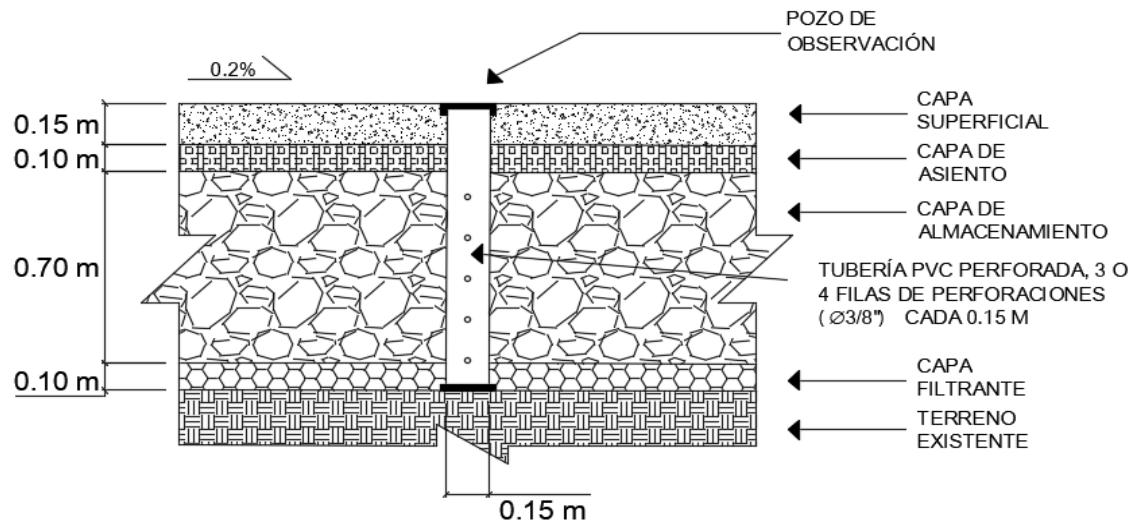
## *Área de intervención de las Zanjas de Infiltración*



Posterior a ello, se realiza el dimensionamiento de los SUDS, obteniéndose los siguientes diseños:

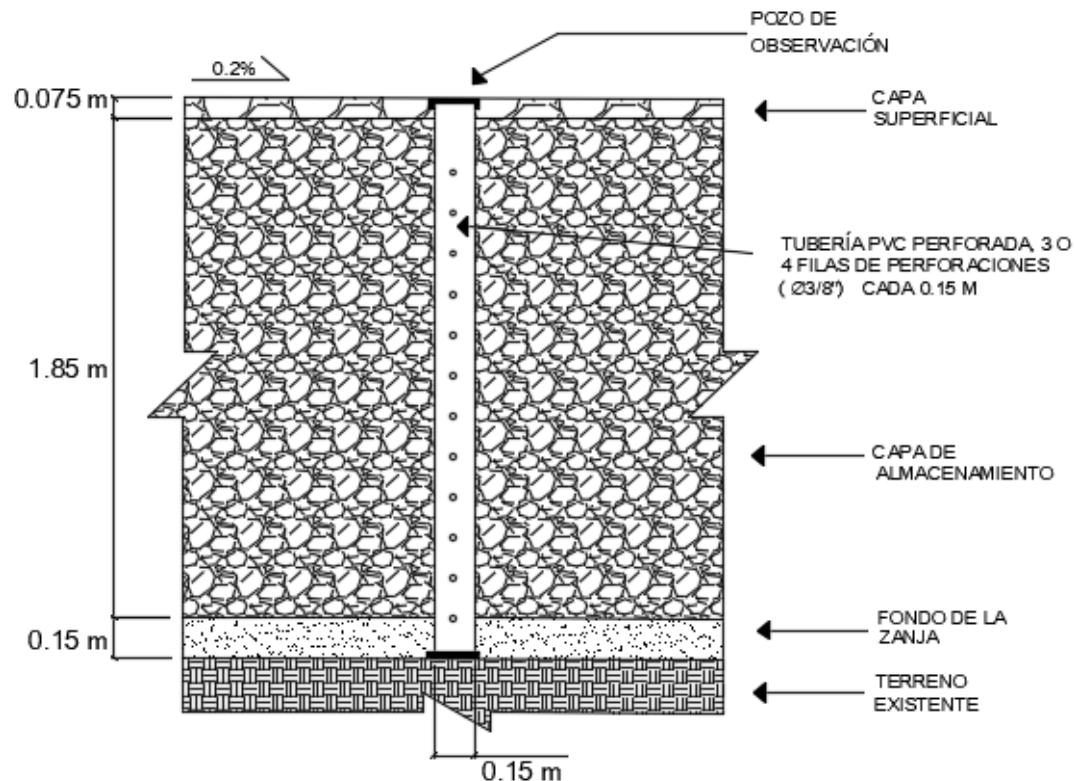
**Figura 25**

*Diseño de Pavimento Permeable*



**Figura 26**

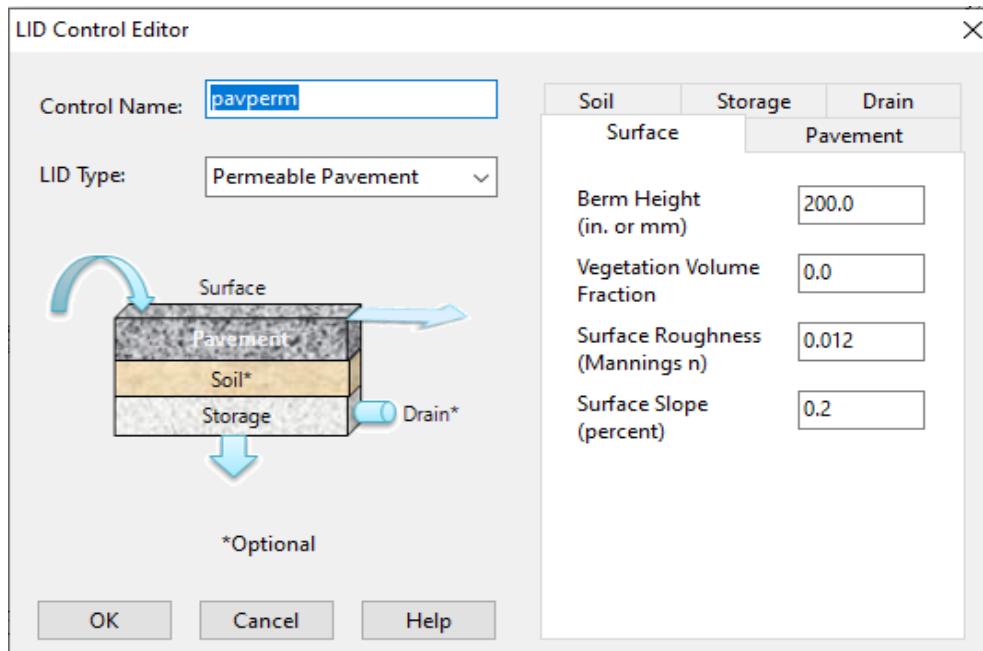
*Diseño de Zanja de Infiltración*



Entonces se modela los SUDS en el programa SWMM, en base al dimensionamiento obtenido.

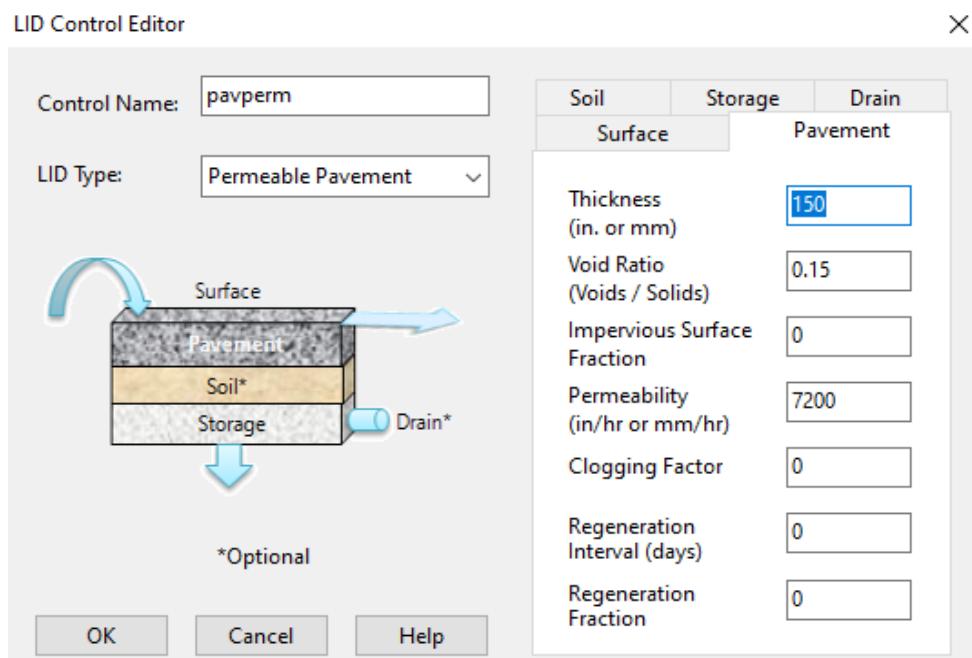
**Figura 27**

*Modelamiento de la capa superficial “Surface” de Pavimento Permeable en SWMM*



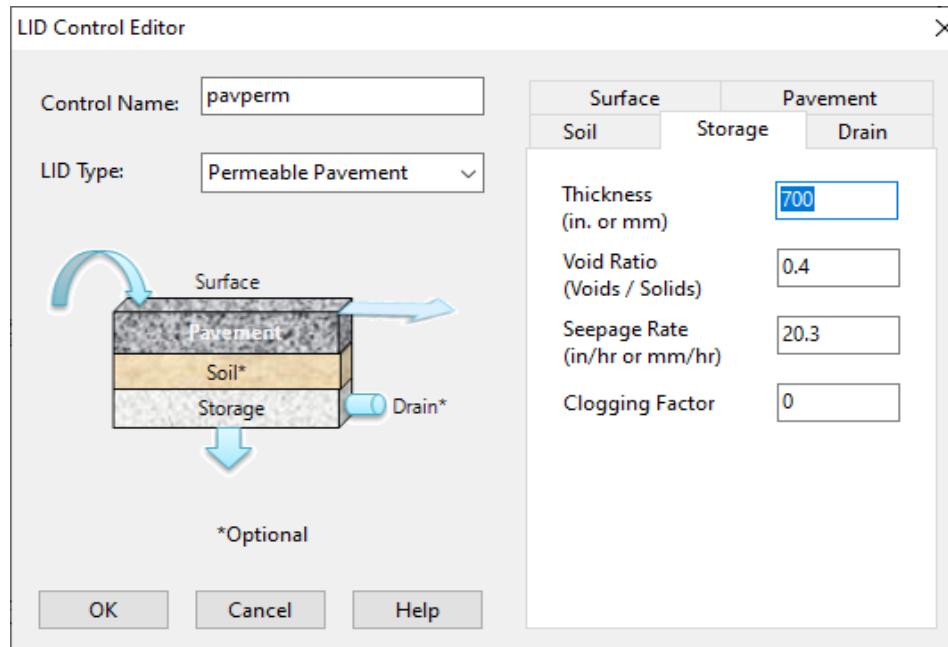
**Figura 28**

*Modelamiento de la capa pavimento “Pavement” de Pavimento Permeable en SWMM*



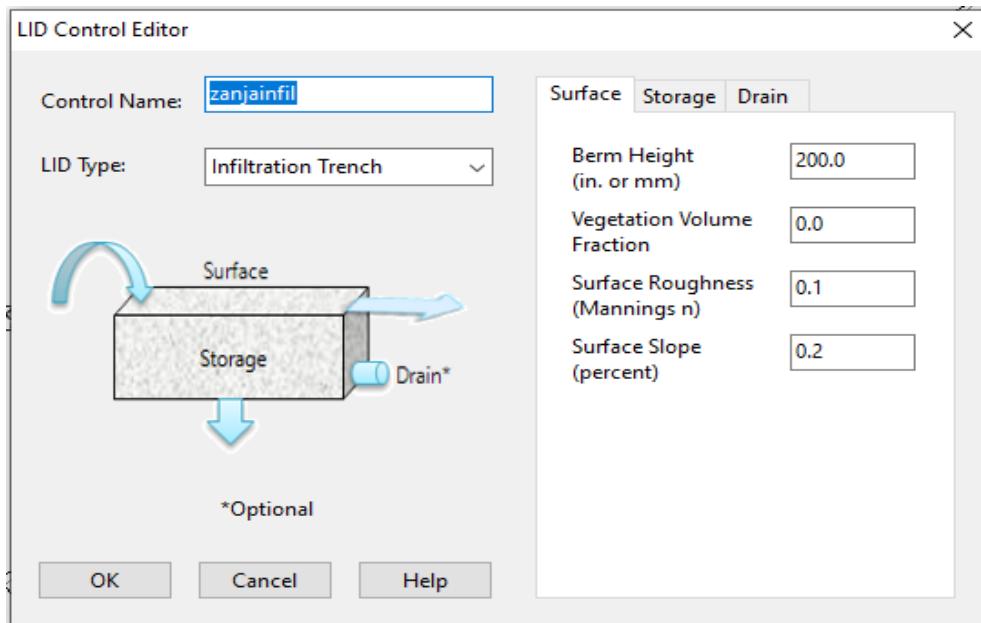
**Figura 29**

*Modelamiento de la capa de almacenamiento “Storage” de Pavimento Permeable en SWMM*



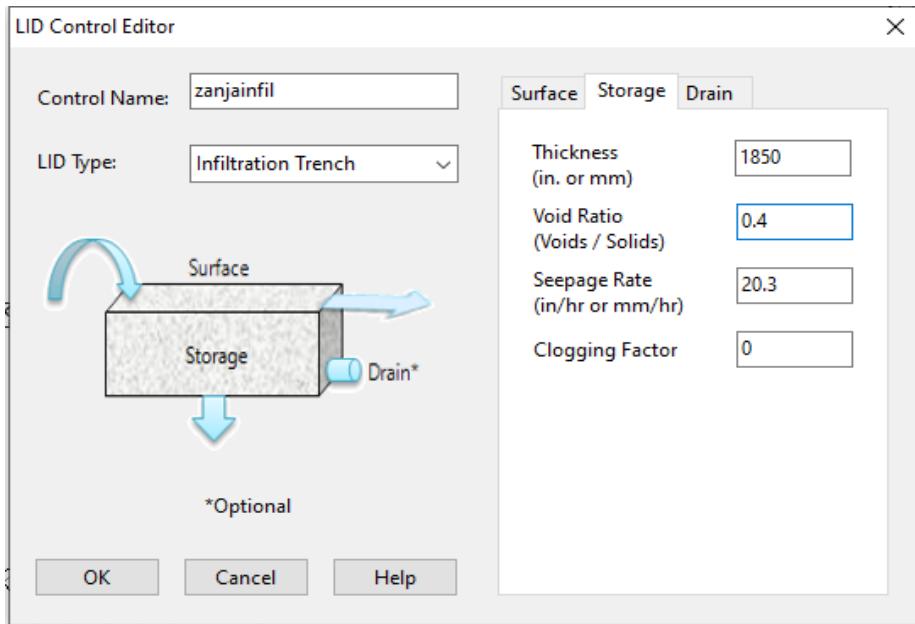
**Figura 30**

*Modelamiento de la capa superficial “Surface” de Zanja de Infiltración en SWMM*



**Figura 31**

*Modelamiento de la capa de almacenamiento “Storage” de Zanja de Infiltración en SWMM*



Luego, se integra los SUDS modelados a la red de drenaje pluvial propuesta mediante la asignación a las subcuenca:

**Figura 32**

*Integración de Pavimento Permeable a la red de drenaje pluvial propuesta*

LID Controls for Subcatchment I					
Control Name	LID Type	% of Area	% From Imperv	% From Perv	Report File
pavperm	Perm. Pave	100.0	0	0	

Buttons on the right: Add, Edit, Delete. Bottom buttons: OK, Cancel, Help.

### **Figura 33**

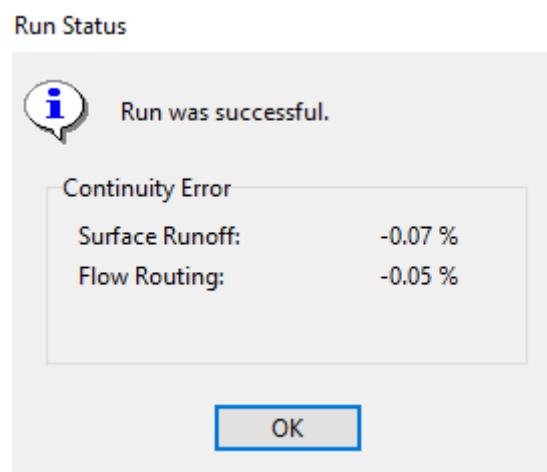
*Integración de Zanja de Infiltración a la red de drenaje pluvial propuesta*

Control Name	LID Type	% of Area	% From Imperv	% From Perv	Report File
zanjainfil	Infil. Trench	100.0	0	0	

Finalmente, se realiza la simulación, obteniendo el cuadro Estado de Ejecución (Run Status), el cual indica que la simulación fue exitosa. Se observa que el error de continuidad es inferior al  $\pm 10\%$  por lo cual la simulación es válida.

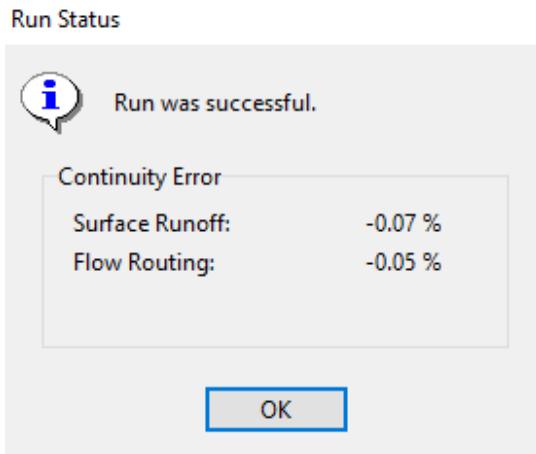
### **Figura 34**

*Estado de Ejecución de la Simulación de la red de drenaje pluvial propuesta integrando Pavimento Permeable*



### **Figura 35**

*Estado de Ejecución de la Simulación de la red de drenaje pluvial propuesta integrando  
Zanja de Infiltración*



#### **4.1.3. OE3: Elección de la Propuesta de SUDS**

Tras ejecutar la simulación de la red de drenaje pluvial propuesta, el programa SWMM genera tablas con diversos resultados, entre los cuales se incluye la escorrentía superficial producida por las subcuenca modeladas.

**Tabla 19**

*Escorrentía Superficial de Subcuencas sin integrar SUDS*

Subcuenca	Precipitación Total (mm)	Escorrentía Entrante	Total (mm)	Evaporación Total (mm)	Infiltación Total (mm)	Escorrentía de Área	Impermeable (mm)	Escorrentía de Área	Permeable (mm)	Escorrentía Total (mm)	Escorrentía Total ( $10^6$ L)	Caudal Pico de	Escorrentía ( $m^3/s$ )	Coeficiente de	Escorrentía
<b>A</b>	233.5	0	0	4.99	209.17	18.2	227.37	0.86	0.11	0.974					
<b>B</b>	233.5	0	0	4.99	208.97	18.18	227.15	1.29	0.17	0.973					
<b>C</b>	233.5	0	0	4.99	209.04	18.19	227.23	0.93	0.12	0.973					
<b>D</b>	233.5	0	0	4.99	208.57	18.13	226.7	0.43	0.06	0.971					
<b>E</b>	233.5	0	0	4.99	209.02	18.18	227.2	0.52	0.07	0.973					
<b>F</b>	233.5	0	0	34.95	69.49	124.82	194.31	0.41	0.06	0.832					
<b>G</b>	233.5	0	0	4.99	208.73	18.15	226.88	0.52	0.07	0.972					
<b>H</b>	233.5	0	0	4.99	208.58	18.13	226.71	0.63	0.08	0.971					
<b>I</b>	233.5	0	0	4.99	208.98	18.18	227.16	0.95	0.12	0.973					
<b>J</b>	233.5	0	0	4.99	208.93	18.17	227.1	0.82	0.11	0.973					
<b>K</b>	233.5	0	0	4.99	208.51	18.12	226.63	1.04	0.14	0.971					
<b>L</b>	233.5	0	0	39.94	46.33	142.05	188.38	0.49	0.07	0.807					
<b>M</b>	233.5	0	0	4.99	209.27	18.22	227.48	0.52	0.07	0.974					
<b>N</b>	233.5	0	0	4.99	208.74	18.15	226.89	0.77	0.1	0.972					
<b>Ñ</b>	233.5	0	0	4.99	209.19	18.21	227.4	0.23	0.03	0.974					
<b>O</b>	233.5	0	0	4.99	209.17	18.2	227.37	0.8	0.1	0.974					
<b>P</b>	233.5	0	0	34.95	69.46	123.77	193.22	0.77	0.11	0.828					
<b>Q</b>	233.5	0	0	4.99	208.48	18.12	226.6	0.48	0.06	0.97					

De la cual se determina que el volumen total de escorrentía superficial de la red de drenaje pluvial propuesta es  $12.46 \times 10^6$  L, equivalente a  $12,460 \text{ m}^3$ .

Luego, tras ejecutar la simulación de la red de drenaje pluvial, integrando al SUDS pavimento permeable, el programa SWMM genera tablas con diversos resultados, entre los cuales se incluye la escorrentía superficial producida por las subcuencas modeladas.

**Tabla 20**

*Escorrentía Superficial de Subcuencas integrando al Pavimento Permeable*

Subcuenca	Precipitación Total (mm)	Escorrentía Entrante Total (mm)	Evaporación Total (mm)	Infiltración Total (mm)	Escorrentía de Área Impermeable (mm)	Escorrentía de Área Permeable (mm)	Escorrentía Total (mm)	Escorrentía Total ( $10^6$ L)	Caudal Pico de Escorrentía ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Coeficiente de Escorrentía
<b>A</b>	233.5	0	0	4.99	209.17	18.2	227.37	0.86	0.11	0.974
<b>B</b>	233.5	0	0	233.5	0	0	0	0	0	0
<b>C</b>	233.5	0	0	233.5	0	0	0	0	0	0
<b>D</b>	233.5	0	0	233.5	0	0	0	0	0	0
<b>E</b>	233.5	0	0	233.5	0	0	0	0	0	0
<b>F</b>	233.5	0	0	233.5	0	0	0	0	0	0
<b>G</b>	233.5	0	0	233.5	0	0	0	0	0	0
<b>H</b>	233.5	0	0	4.99	208.58	18.13	226.71	0.63	0.08	0.971
<b>I</b>	233.5	0	0	233.5	0	0	0	0	0	0
<b>J</b>	233.5	0	0	233.5	0	0	0	0	0	0
<b>K</b>	233.5	0	0	233.5	0	0	0	0	0	0
<b>L</b>	233.5	0	0	233.5	0	0	0	0	0	0

<b>M</b>	233.5	0	0	4.99	209.27	18.22	227.48	0.52	0.07	0.974
<b>N</b>	233.5	0	0	233.5	0	0	0	0	0	0
<b>Ñ</b>	233.5	0	0	233.5	0	0	0	0	0	0
<b>O</b>	233.5	0	0	4.99	209.17	18.2	227.37	0.8	0.1	0.974
<b>P</b>	233.5	0	0	34.95	69.46	123.77	193.22	0.77	0.11	0.828
<b>Q</b>	233.5	0	0	4.99	208.48	18.12	226.6	0.48	0.06	0.97

De la cual se determina que el volumen total de escorrentía superficial de la red de drenaje pluvial propuesta, integrando el SUDS pavimento permeable, es  $4.06 \times 10^6$  L, equivalente a  $4,060 \text{ m}^3$ .

Luego, tras ejecutar la simulación de la red de drenaje pluvial, integrando al SUDS zanja de infiltración, el programa SWMM genera tablas con diversos resultados, entre los cuales se incluye la escorrentía superficial producida por las subcuencas modeladas.

**Tabla 21**

*Escorrentía Superficial de Subcuencas integrando a las Zanjas de Infiltración*

Subcuenca	Precipitación Total (mm)	Escorrentía Entrante	Total (mm)	Evaporación Total (mm)	Infiltración Total (mm)	Escorrentía de Área			Escorrentía Total (mm)	Escorrentía Total ( $10^6$ L)	Caudal Pico de	Escorrentía ( $m^3/s$ )	Coeficiente de Escorrentía
						Impermeable (mm)	Escorrentía de Área	Permeable (mm)					
<b>A</b>	233.5	0	0	4.99	209.17	18.2	227.37	0.86	0.11	0.11	0.974		
<b>B</b>	233.5	0	0	233.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>C</b>	233.5	0	0	233.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>D</b>	233.5	0	0	233.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>E</b>	233.5	0	0	233.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>F</b>	233.5	0	0	233.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>G</b>	233.5	0	0	233.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>H</b>	233.5	0	0	4.99	208.58	18.13	226.71	0.63	0.08	0.08	0.971		
<b>I</b>	233.5	0	0	233.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>J</b>	233.5	0	0	233.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>K</b>	233.5	0	0	233.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>L</b>	233.5	0	0	233.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>M</b>	233.5	0	0	4.99	209.27	18.22	227.48	0.52	0.07	0.07	0.974		
<b>N</b>	233.5	0	0	233.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Ñ</b>	233.5	0	0	233.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>O</b>	233.5	0	0	4.99	209.17	18.2	227.37	0.8	0.1	0.1	0.974		
<b>P</b>	233.5	0	0	34.95	69.46	123.77	193.22	0.77	0.11	0.11	0.828		

---

<b>Q</b>	233.5	0	0	4.99	208.48	18.12	226.6	0.48	0.06	0.97
----------	-------	---	---	------	--------	-------	-------	------	------	------

---

De la cual se determina que el volumen total de escorrentía superficial de la red de drenaje pluvial propuesta, integrando el SUDS zanja de infiltración, es  $4.06 \times 10^6$  L, equivalente a 4,060 m<sup>3</sup>.

Entonces:

**Tabla 22**

*Comparación del Volumen de Escorrentía Superficial Total de la red de drenaje pluvial propuesta con y sin la integración de SUDS*

	<b>Red de drenaje pluvial sin SUDS</b>	<b>Red de drenaje pluvial integrando Pavimento Permeable</b>	<b>Red de drenaje pluvial integrando Zanja de Infiltración</b>
<b>Escorrentía Total (<math>10^6</math> L)</b>	12.46	4.06	4.06

Por lo tanto, se observa que ambos SUDS, tienen la misma reducción de volumen de escorrentía superficial. Ambos SUDS reducen en  $8.4 \times 10^6$  L, equivalente a 8,400 m<sup>3</sup>.

**Tabla 23**

*Comparación del Volumen de Escorrentía Superficial de las subcuenca de la red de drenaje con y sin la integración de SUDS*

Subcuenca	Escorrentía Superficial ( $10^6$ L)		
	Red de drenaje pluvial sin SUDS	Red de drenaje pluvial integrando Pavimento	Red de drenaje pluvial integrando Zanja de Infiltración
	SUDS	Permeable	Infiltración
<b>A</b>	0.86	0.86	0.86
<b>B</b>	1.29	0	0
<b>C</b>	0.93	0	0
<b>D</b>	0.43	0	0
<b>E</b>	0.52	0	0
<b>F</b>	0.41	0	0
<b>G</b>	0.52	0	0
<b>H</b>	0.63	0.63	0.63
<b>I</b>	0.95	0	0
<b>J</b>	0.82	0	0
<b>K</b>	1.04	0	0
<b>L</b>	0.49	0	0
<b>M</b>	0.52	0.52	0.52
<b>N</b>	0.77	0	0
<b>Ñ</b>	0.23	0	0
<b>O</b>	0.8	0.8	0.8
<b>P</b>	0.77	0.77	0.77
<b>Q</b>	0.48	0.48	0.48

Por lo tanto, se observa que las subcuencaas integradas con los SUDS, tienen la misma reducción de volumen de escorrentía superficial. Ambos SUDS reducen a  $0*10^6$  L.

En el ámbito económico, el costo de instalación de los SUDS se obtiene:

**Tabla 24**

*Costo de Instalación del Pavimento Permeable*

Capa (Material)	Espesor	Área	Volumen	Precio x	Parcial
	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	(S./.)
Capa Superficial (Concreto F'c = 280 Kg/Cm <sup>2</sup> )	0.15	3267.30	490.10	60.8	29797.78
Capa De Asiento (Piedra N° 57)	0.10	3267.30	326.73	62.19	20319.34
Capa De Almacenamiento (Piedra N°02)	0.70	3267.30	2287.11	60.00	137226.60
Capa Filtrante (Piedra N°08)	0.10	3267.30	326.73	24.00	7841.52
<b>Total (S./.)</b>					<b>195185.23</b>

**Tabla 25**

*Costo de Instalación de la Zanja de Infiltración*

<b>Capa (Material)</b>	<b>Espesor</b>	<b>Área</b>	<b>Volumen</b>	<b>Precio x</b>	<b>Parcial</b>
	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	(S.)
Capa Superficial (Piedra de Río)	0.075	987.01	74.03	80	5922.06
Capa de Almacenamiento (Piedra 1.5")	1.85	987.01	1825.97	58	105906.173
Fondo de la Zanja (Arena Gruesa)	0.15	987.01	148.05	40	5922.06
				<b>Total (S.)</b>	<b>117750.29</b>

Por lo tanto, se observa que el costo total de instalación del pavimento permeable es S/. 195,185.23 mientras que de la zanja de infiltración es S/. 117,750.29. Siendo la alternativa más viable, tanto hidráulico como económicoamente, la zanja de infiltración.

#### **4.2. DISCUSIÓN**

En relación con las características de la cuenca del río Lacamarca, los resultados alcanzados evidenciaron que dicho hallazgo es similar con lo reportado por ANA (2015) en su estudio hidrológico el cual presenta un área de 841.48 Km<sup>2</sup>, una altitud media de 1126 m.s.n.m., una longitud máxima de 50.16 Km, una pendiente promedio de 7.7 %, un coeficiente de compacidad de 1.6 y un factor de forma de 0.33. Mientras que en esta investigación se obtuvo un área de 806.28 km<sup>2</sup>, una altitud media de 1178.73 m.s.n.m., una longitud de máximo recorrido de 80.77 km, una pendiente promedio de 37%, un coeficiente de compacidad de 1.85 y un factor de forma de 0.12.

Los valores difieren debido a los datos usados para cada análisis en el estudio de ANA (2021) utilizaron las cartas nacionales brindadas por el Instituto Geofísico Nacional cuya última actualización fue en el año 1997. Mientras que en nuestra investigación se usaron modelos de

elevación digital de satélite ALEOS-PASAR actualizado al año 2011.

Con respecto a los datos de precipitación no se encontraron estudios similares que utilicen la base de datos de la herramienta PISCOp-SENHAMI.

Para los caudales de diseño proyectado, Albines, A. (2023) llegó a la conclusión de que sus caudales de diseño para diferentes períodos de retorno son inferiores al de esta investigación debido que subdividió en subcuencas su zona de estudio. Esto también determina el caudal de diseño obtenido sin embargo para el diseño se usó los hietogramas del cual se tiene similitud con los resultados obtenidos en esta investigación.

Respecto a los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) evaluados — pavimento permeable y zanja de infiltración —, los resultados obtenidos mediante la modelación en el software SWMM 5.2 evidenciaron una eliminación total del volumen de escorrentía superficial en las subcuencas analizadas, bajo las condiciones de diseño consideradas. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Albines (2023), quien también reportó la ausencia de escorrentía superficial al implementar estos SUDS, confirmando su efectividad en el control del volumen generado. Por tanto, se corrobora que tanto el pavimento permeable como la zanja de infiltración presentan un desempeño hidráulico eficiente y son alternativas viables para mejorar la gestión del drenaje urbano en contextos similares.

En cuanto a los espesores obtenidos en el diseño de los SUDS, en el presente estudio se determinó para el pavimento permeable: capa superficial de 0.15 m, capa de asiento de 0.10 m, capa de almacenamiento de 0.70 m y capa filtrante de 0.10 m; y para la zanja de infiltración: capa superficial de 0.075 m, capa de almacenamiento de 1.85 m y fondo de zanja de 0.15 m. Por su parte, Albines (2023) obtuvo valores similares, excepto en la capa de almacenamiento de la zanja, que fue de 0.85 m. Esta diferencia se explica porque, según la Stormwater Management Guidebook (2020), los espesores de diseño pueden mantenerse estandarizados para la mayoría de capas, salvo la capa de almacenamiento, cuyo valor depende de variables

específicas como el área de superficie del SUDS, el tiempo de drenado máximo, la permeabilidad del suelo y el volumen de escorrentía de diseño.

Los resultados de Grey, Sorem, Alexander y Boon (2023) indican un costo de instalación de 306.4 USD/m<sup>2</sup> para la zanja de infiltración, casi el doble del pavimento permeable (161.3 USD/m<sup>2</sup>), por lo que este último se presenta como la alternativa más viable. En contraste, en la presente investigación se obtuvieron costos totales de S/. 117,750.29 para la zanja de infiltración y S/. 195,185.23 para el pavimento permeable, identificándose a la zanja de infiltración como la opción más económica. Estas diferencias se explican principalmente por la dependencia del costo respecto al área de intervención considerada en este estudio, mientras que Grey et al. (2023) no detallan la escala de los proyectos evaluados.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. POBLACIÓN

C.P. Santa Clemencia, distrito de Chimbote, provincia del Santa, departamento de Ancash.

### 5.2. CONCLUSIONES

- Se determinaron las características físicas, hidrológicas e hidráulicas de la cuenca del río Lacramarca, que abarca al C.P. Santa Clemencia – Chimbote. Se delimitó la cuenca y se calcularon parámetros fundamentales como área, perímetro y pendientes, entre otros aspectos físicos. Asimismo, se estimó la precipitación areal, la cual fue corregida estadísticamente mediante modelos de distribución y pruebas de bondad de ajuste. Con esta información se elaboraron las curvas IDF, los hietogramas y los hidrogramas unitarios para diferentes períodos de retorno

- Se formularon dos alternativas de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) utilizando el software SWMM 5.2, correspondientes a pavimento permeable y zanja de infiltración. Asimismo, se propuso y diseñó una red de drenaje pluvial con base en los planos y estudios previos. Posteriormente, los SUDS planteados fueron modelados e integrados a la red de drenaje diseñada, con el fin de simular su comportamiento conjunto y evaluar su desempeño hidráulico.

- Se escogió la mejor propuesta de sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) considerando aspecto hidráulico y económico. No obstante, los resultados del modelado hidráulico en SWMM 5.2. evidenciaron que tanto el pavimento permeable como la zanja de infiltración generan una disminución equivalente en el volumen de escorrentía, con una reducción de 8,400 m<sup>3</sup> en ambos casos. En consecuencia, se concluye que ambos SUDS ofrecen una respuesta hidráulica de eficacia similar. Sin embargo, se observó que la zanja de infiltración se posiciona como la alternativa más económica entre los SUDS evaluados, en términos de

instalación (S/. 117,750.29). Por lo que la zanja de infiltración es la alternativa de SUDS más adecuada.

- Se observó que las subcuenca intervenidas con Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) presentan una reducción equivalente del volumen de escorrentía superficial, alcanzando en ambos casos una disminución total hasta  $0*10^6$  L. Esto sugiere un comportamiento hidráulico similar entre las soluciones aplicadas, evidenciando su capacidad para controlar completamente el volumen generado bajo las condiciones evaluadas.

- Se evaluó la propuesta de sistema de drenaje pluvial urbano sostenible usando el software SWMM 5.2 en el C.P. Santa Clemencia-Chimbote. Esta herramienta permitió simular con precisión el comportamiento del sistema ante eventos de lluvia, facilitando el análisis comparativo entre escenarios con y sin implementación de SUDS. Por tanto, se concluye que la incorporación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible representa una alternativa técnica viable para mejorar la gestión del drenaje urbano, especialmente en zonas con problemas recurrentes de escorrentía superficial y con infraestructura convencional insuficiente.

### **5.3. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda instalar pluviógrafos a lo largo de la cuenca con la finalidad de obtener registros precisos y continuos de las precipitaciones. La implementación de estos instrumentos es esencial para contar con información hidrometeorológica confiable. Asimismo, disponer de series históricas de precipitación precisas favorece la identificación de patrones de lluvia y la caracterización de eventos extremos, aspectos indispensables para el diseño de un sistema de drenaje pluvial urbano sostenible.

- Se recomienda realizar estudios orientados a mejorar la disponibilidad y resolución satelital de la geomorfología de la zona de estudio. El fortalecimiento de esta base cartográfica permite una representación más detallada de la topografía, el relieve y las características físicas de la cuenca. Estos avances facilitan la delimitación precisa de microcuenca y subcuenca, así

como la determinación de parámetros geomorfológicos necesarios para la modelación hidrológica. Además, el acceso a información geoespacial actualizada contribuye a reducir incertidumbres en los cálculos hidráulicos e hidrológicos.

- Se sugiere replicar este tipo de estudios en cuencas de otros ríos representativos del Perú, como el Amazonas, Santa y Marañón, a fin de evaluar la aplicabilidad de los SUDS en distintos contextos hidrológicos.

- Se recomienda el uso del software SWMM en futuros estudios de drenaje pluvial urbano, debido a su capacidad para generar resultados realistas y modelar SUDS mediante herramientas como los LID Controls, tal como lo respaldan diversos trabajos de investigación anteriores.

- Es recomendable que la Norma Técnica CE.040. Drenaje Pluvial incluya criterios específicos para el dimensionamiento, funcionamiento y preservación operativa de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, ajustados a las condiciones locales del país.

- Se recomienda utilizar la guía Stormwater Management Guidebook, ya que proporciona lineamientos técnicos no solo para el diseño de pavimento permeable y zanjas de infiltración, sino también para una amplia variedad de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), lo que amplía las opciones de aplicación según las condiciones del proyecto.

## **VI. BIBLIOGRAFÍA**

- Albines Lozano, A. J. (2023). Propuesta de Mejoramiento del Sistema de Drenaje Pluvial Urbano de la Cuenca Alameda - Ayacucho utilizando SUDS. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14076/26737>
- Alvarez Villanueva, J., & Huaman Vidaurre, J. F. (2025). *Aplicación de Hidrogramas Unitarios mediante el Producto PISCO (Peruvian Interpolated data of SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations) para la Generación e Caudales Máximos.*
- Aparicio Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México D.F.: Limusa S.A.
- Araque Arellano, M., Vasconéz, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., & Ortiz, L. (2019). *Cuencas Hidrográficas*. Quito, Ecuador.
- Bernal Rojas, R. M. (2022). Diseño de SUDS para la Avenida Circunvalar de Oriente entre la Calle 50 Sur a la 42C Sur. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/bdb6d2e1-b928-4013-86a6-b93b7a593257>
- Brundtland, G. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. United Nations.
- Castro Torres, N. L. (2022). Sistema Urbano de Drenaje Sustentable (SUDS) para la Lotización Pájaro Azul ubicado en km 10.5 Vía a Data del Cantón Playas Villamil. Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/4916>
- CENEPRED. (2012). *El Fenómeno del Niño*. Lima.
- CENEPRED. (2024). *Informe de Análisis de Vulnerabilidad Social y Económica, y Efectos Probables ante el Impacto de Inundaciones y Movimientos en Masas Asociadas al Fenómeno del Niño 2023-2024*. Lima.

Chimbote en Línea. (3 de febrero de 2017). Desborde del Río Lacramarca daña Cultivos en Santa Clemencia, Puerto de Palos y Chachapoyas. *Chimbote en Línea.*

Chuquimango Chillón, O. (5 de diciembre de 2022). Evaluación del Sistema de Drenaje Pluvial del Sector la Molina distrito de Baños del Inca - Cajamarca. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/5276>

Department of Energy and Environment (DOEE). (2020). *Stormwater Management Guidebook*. Columbia: Center for Watershed Protection.

Fattorelli, S., & Fernández, P. C. (2011). *Diseño Hidrológico* (Segunda ed.). Zaragoza, España.

Floriano León, C. E. (2019). Propuesta de Drenaje Pluvial en la Urbanización Praderas III Etapa, del Distrito de Nuevo Chimbote – Santa - Áncash. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14278/3400>

French, R. (1988). *Hidráulica de Canales Abiertos*.

Grey, M., Sorem, D., & Alexander, C. &. (2023). *Stormwater Web Site*. Obtenido de <https://www.stormh2o.com/bmps/article/13007772/the-costs-of-lid>

Hernandez Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta ed.). México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. Obtenido de <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodología%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>

Hydrologic Engineering Center - U.S. Army. (s.f.). *Conceptos Básicos del Hidrograma Unitario*.

Ibañez Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. (s.f.). *Métodos para la Determinación del Coeficiente de Escorrentía (c)*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10781/Coeficiente%20de%20escorrentía.pdf>

- Julca Jara, B. (2019). Propuesta del Dren de Evacuación de Aguas Pluviales en el Jr. Leoncio Prado tramo Av. Aviación – Jr. Amazonas y su Efecto en la Transitabilidad, Chimbote – Ancash - 2019. Obtenido de [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/20.500.12692/45116/8/Bruno\\_JB\\_SD.pdf](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/20.500.12692/45116/8/Bruno_JB_SD.pdf)
- Knapp, B. J. (1979). *Element of Geographical Hydrology*. Londres: Unwin Hyman Ltd.
- Lavado Felipe, J. C., & Machado Motonari, A. A. (2023). La Influencia de las Precipitaciones Pluviales en las Principales Avenidas del Distrito de Nuevo Chimbote, Ancash 2023. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/136197>
- Linsley Jr, R. K., Kohler, M. A., & Paulus, J. L. (1977). *Hidrología para Ingenieros* (Segunda ed.). Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Latinoamericana S.A.
- Lux Cardona, B. (s.f.). *Conceptos Básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*. Guatemala.
- Margasin, A., Sabina, B., Gimenez, V., Mastaglia, M. I., & Sato, R. (2020). *Estimación de curvas IDF para tormentas de larga duración*.
- Mejía M., J. A. (2006). *Hidrología Aplicada*. Lima.
- Meza Aliaga, M., Rodríguez Valdivia, A., Corvacho Ganahín, O., & Tapia Tosetti, A. (2014). *Análisis Morfológico de Microcuencas Afectadas por Flujos de Detritos bajo Precipitación Intensa en la Quebrada de Camiña, Norte Grande de Chile*. Dialogo Andino.
- Ministerios de Transportes y Comunicaciones. (s.f.). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*.
- Minnesota Stormwater Steering Committee. (2021). *Minnesota Stormwater Manual*. Minnesota: Minnesota Pollution Control Agency.
- Miss, V., Tarnaras, I., Papavasiliou, C., Papatzani, S., & Aftias, E. (2005). *Methodology for adapting hydrological impacts and adapting*.

Monsalve Sáenz, G. (1999). *Hidrología en la Ingenería* (Segunda ed.). Bogotá, Colombia:

Alfaomega Grupo Editor S.A.

Narváez Trejo, O. M., & Villegas Salas, L. I. (2014). *Descripción de los Tipos de Investigación*.

Obtenido de <https://www.uv.mx/apps/bdh/investigacion/unidad1/investigacion-tipos.html>

Ordoñez Gálvez, J. J. (2011). *¿Qué es una Cuenca Hidrográfica?* Lima: Sociedad Geográfica de Lima.

Reglamento Nacional de Edificaciones. (2021). *Norma Técnica CE.040 Drenaje Pluvial*.

Rossman, L. (2010). *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0*. U.S. Cincinnati.

Sánchez, F. J. (2022). *Precipitaciones*. Salamanca. Obtenido de <https://hidrologia.usal.es/temas/Precipitaciones.pdf>

Suárez Ortega, A. (diciembre de 2023). *Modelación y Diseño de Pozos de Infiltración como Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)*. Toluca. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.11799/139712>

Te Chow, V., R. Maidment, D., & W. Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana S.A.:

Vasquez Quispe, H. M., & Valdivia Moya, A. M. (1 de enero de 2024). Diseño de un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible en el distrito de Huancayo – Región de Junín con Adaptación a Escenarios Climáticos y Modificación de la Norma Técnica Peruana CE.040. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/26888>

Viji, R., Rajesh, Prasanna, P., & Ilangovan, R. (2015). *Gis Based SCS - CN Method For Estimating Runoff In Kundahpalam Watershed, Nilgries District, Tamilnadu*. Earth Sciences Research Journal.

Villón Béjar, M. (2016). *Hidrología Estadística*. Lima: Villón.

Villón Béjar, M. (s.f.). *Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos en Cuencas Hidrográficas*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

Woods-Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R., & Shaffer, P. (2007). *The SuDS manual*.

## VII. ANEXOS

### **Anexo 1**

#### *Matriz de Consistencia*

Título	Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable
“Evaluación y Propuesta de un Sistema de Drenaje Pluvial Urbano Sostenible usando SWMM 5.2 en el C. P. Santa Clemencia-Chimbote”	PG. ¿Cuál es la propuesta de sistema de drenaje pluvial urbano sostenible usando el software SWMM 5.2 en el C.P. Santa Clemencia-Chimbote?	OG. Evaluar la propuesta de sistema de drenaje pluvial urbano sostenible usando el software SWMM 5.2 en el C.P. Santa Clemencia-Chimbote	HG. La propuesta de un sistema de drenaje pluvial urbano sostenible diseñada mediante el software SWMM 5.2 reducirá la escorrentía superficial en el Centro Poblado Santa Clemencia – Chimbote en comparación con las condiciones actuales.	Variable Independiente: Precipitación Pluvial
	PE1. ¿Cuáles son las características físicas, hidrológicas e hidráulicas de la cuenca donde se encuentra el C.P. Santa Clemencia-Chimbote?	OE1. Determinar las características físicas, hidrológicas e hidráulicas de la cuenca donde se encuentra el C.P. Santa Clemencia-Chimbote.	HE1. Las características físicas, hidrológicas e hidráulicas de la cuenca permitirán diseñar un sistema de drenaje pluvial urbano sostenible en el C.P. Santa Clemencia - Chimbote.	
	PE2. ¿Cuáles son las dos alternativas de propuesta de sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) elaborado con el SWMM 5.2 en el C.P. Santa Clemencia-Chimbote?	OE2. Formular dos alternativas de propuestas de sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) elaborado con el software SWMM 5.2.	HE2. La formulación de alternativas de propuesta de SUDS permitirá identificar opciones viables para mejorar la seguridad y calidad de vida de la población.	Variable Dependiente: C.P. Santa Clemencia

---

PE3. ¿Cuál es la alternativa de mejor propuesta de sistema urbano sistema de drenaje sostenible más adecuada a utilizar en el C.P. Santa Clemencia-Chimbote?	OE3. Escoger la mejor propuesta de sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) considerando aspectos técnicos y económicos.	HE3. Considerando aspectos técnicos y económicos se podrá elegir la mejor alternativa de SUDS en el C.P. Santa Clemencia - Chimbote.
--	---	--

---

## Anexo 2

### *Matriz de Operacionalización de Variables*

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Técnica	Instrumento
Variable Independiente: Precipitación Pluvial	Cantidad de agua que cae desde la atmósfera en forma de lluvia sobre una superficie durante un intervalo de tiempo.	Obtención y procesamiento de datos pluviométricos históricos para definir la lluvia de diseño.	Precipitación máxima	mm/h	Análisis documental	Base de datos de PISCO-SENHAM I
Variable Dependiente: C.P. Santa Clemencia	Delimitación de la zona de estudio.	Evaluación cuantitativa de las características físicas, hidrológicas e hidráulicas.	Suelo	Uso Textura	Análisis documental	Modelos digitales de elevación del satélite Sentinel-2 10 m Land Use/Land Cover Time Series y SoilGrids ArcGIS
			Topografía	Área Perímetro Pendiente	Análisis documental Simulación en programa	Modelos digitales de elevación del satélite ALEOS-PASAR ArcGIS

Capacidad de infiltració n	Permeabili dad	Análisis documen tal	Ensayo de mecánica de suelos
-------------------------------------	-------------------	----------------------------	------------------------------------

### Anexo 3

#### Estudio de Mecánica de Suelos



### LABORATORIO USP

PROGRAMA DE ESTUDIOS  
DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE  
SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

PERFIL ESTRATIGRÁFICO (ASTM D-2488, 2487 Y D-2408)			
"EVALUACION Y PROPUESTA DE UN SISTEMA DE DRENAGE PLUVIAL URBANO SOSTENIBLE USANDO SWMM 5.2 EN EL C.P. SANTA CLEMENCIA - CHIMBOTE" DEL DEPARTAMENTO DE ANCASH"			
UBICACIÓN: CHIMBOTE - SANTA - ANCASH			
FECHA:	Mayo 2025	CALICATA C-01	
TESISTAS:	Prof. (Ing.) Toribio Túroca Ruiz Eduardo Armando Bach. En Ciencias de la Tierra Valverde Mondalgo Luis Alessandro	Descripción	Muestras
Prof. (Ing.) Toribio Túroca Ruiz Eduardo Armando Bach. En Ciencias de la Tierra Valverde Mondalgo Luis Alessandro	0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00 1.10 1.20 1.30 1.40 1.50	0.50 mts : Tierra de chacra, sin presencia de humedad	
		0.30 mts : Suelo arenoso con presencia de canto rodado, suelo medianamente compacto	
		0.70 mts: Arena mal graduada con presencia de humedad, medianamente compacto	
CALICATA C-02			
Prof. (Ing.) Toribio Túroca Ruiz Eduardo Armando Bach. En Ciencias de la Tierra Valverde Mondalgo Luis Alessandro	0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00 1.10 1.20 1.30 1.40 1.50	0.20 mts : Tierra de chacra, sin presencia de humedad	
		0.40 mts : Suelo arenoso con presencia de limos, medianamente compacto	
		0.90 mts : Arena mal graduada regularmente compacto, con presencia de humedad.	



Mg. Miguel Solar Jara  
JEFE

Ciudad Universitaria - Urb. Los Pinos Mz. B s/n -Chimbote  
 Telf. (043) 483212 - Celular. 990562762  
 Email: lmsyem@usanpedro.edu.pe

[www.usanpedro.edu.pe](http://www.usanpedro.edu.pe)



## LABORATORIO USP

PROGRAMA DE ESTUDIOS  
DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE  
SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

(ASTM D-422, AASHTO T-88)

**TESIS:** "EVALUACION Y PROPUESTA DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO SOSTENIBLE USANDO SWMM 5.2 EN EL  
 C.P. SANTA CLEMENCIA - CHIMBOTE"

**UBICACION:** CHIMBOTE - SANTA - ANCASH  
 Bach. Torreblanca Ruiz Eduardo Armando

**TESISTAS:** Bach. Valverde Mondalgo Luis Alessandro

**FECHA:** Mayo 2025

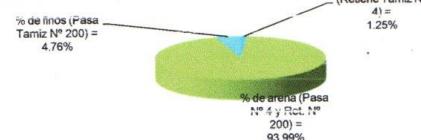
**Calicata:** C-1  
**Profundidad:** -1.50 mts

Peso de la Muestra Seca total= **3197.90 gr**  
 Peso de la fracción final =

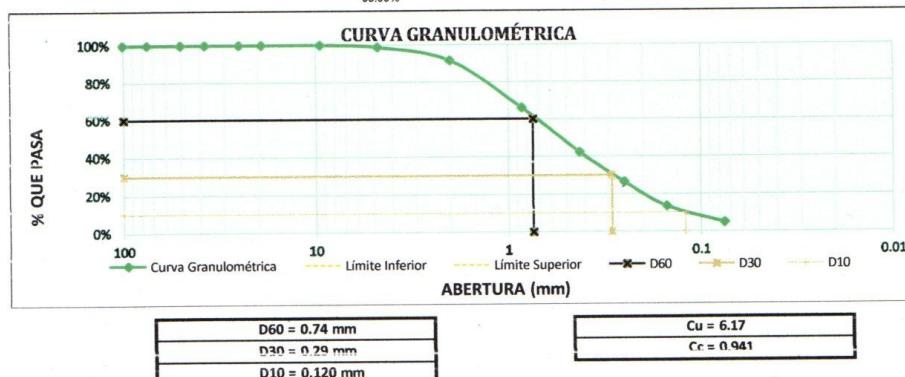
% de Error en Peso = 0.59% Ok!

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	3179.10	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	3179.10	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	3179.10	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0.00	3179.10	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	0.00	3179.10	0.00%	0.00%	100.00%
¾"	19	0.00	3179.10	0.00%	0.00%	100.00%
⅜"	9.5	0.00	3179.10	0.00%	0.00%	100.00%
Nº 4	4.75	39.70	3139.40	1.25%	1.25%	98.75%
Nº 10	2	229.90	2949.20	7.23%	8.48%	91.52%
Nº 20	0.850	810.90	2368.20	25.51%	33.99%	66.01%
Nº 40	0.425	759.10	2420.00	23.88%	57.87%	42.13%
Nº 60	0.250	500.70	2678.40	15.75%	73.62%	26.38%
Nº 100	0.150	412.20	2766.90	12.97%	86.58%	13.42%
Nº 200	0.075	275.20	2903.90	8.66%	95.24%	4.76%
Cazoleta		151.40	3027.70	4.76%	100.00%	0.00%
Total Fracción Retenida en Lavado =		<b>3179.10</b>		<b>100.00%</b>		

#### PROPORCIÓN GRANULOMÉTRICA



% de grava (Retiene Tamiz N° 4) = 1.25%  
 % de arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200) = 93.99%  
 % de finos (Pasa Tamiz N° 200) = 4.76%  
 Total: 100.00%  
**Fracción Gruesa**  
 % de grava = 1.31%  
 % de arena = 98.69%  
 Total = 100.00%



#### Observaciones:

La muestra ha sido identificada y proporcionada en campo.

UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 Vicerrectoría de Investigación, Desarrollo e Innovación

Mg. Miguel Solar Jara  
 JEFE

Ciudad Universitaria - Urb. Los Pinos Mz. B s/n -Chimbote  
 Telf. (043) 483212 - Celular. 990562762  
 Email: lmsyem@usanpedro.edu.pe

[www.usanpedro.edu.pe](http://www.usanpedro.edu.pe)



## LABORATORIO USP

PROGRAMA DE ESTUDIOS  
DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE  
SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

### LIMITES DE CONSISTENCIA - PASA MALLA N° 40 (ASTM D4318 , MTC E-110)

TESIS: "EVALUACION Y PROPUESTA DE UN SISTEMA DE DRENAGE PLUVIAL URBANO SOSTENIBLE USANDO SWMM 5.2 EN EL C.P.  
SANTA CLEMENCIA - CHIMBOTE"

TESISTAS: Bach. Torreblanca Ruiz Eduardo Armando

Bach. Valverde Mondalgo Luis Alessandro

Fecha: Mayo 2025

#### I. Datos Generales

PROCEDENCIA : CHIMBOTE - SANTA - ANCASH

CALICATA : C-1

MATERIAL : PROCEDENCIA DE CAMPO

PROFUND. : -1.50 mts

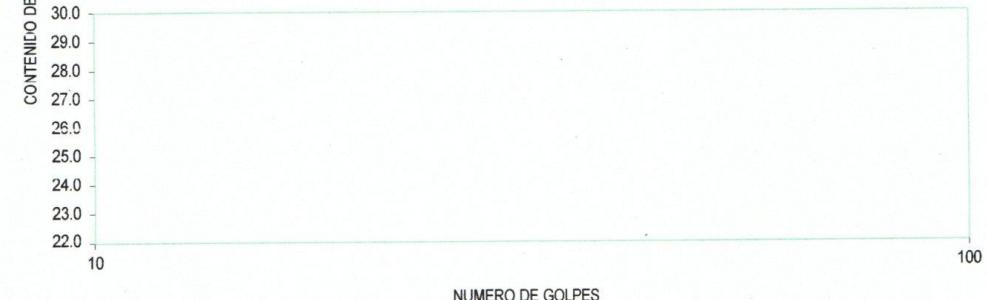
#### LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

MUESTRA					
PESO TARRO + SUELLO HUMEDO	(g)				
PESO TARRO + SUELLO SECO	(g)				
PESO DE AGUA	(g)				
PESO DEL TARRO	(g)				
PESO DEL SUELLO SECO	(g)				
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)				
NUMERO DE GOLPES					

#### LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

Nº TARRO					
15	PESO TARRO + SUELLO HUMEDO	(g)			
	PESO TARRO + SUELLO SECO	(g)			
	PESO DE AGUA	(g)			
	PESO DEL TARRO	(g)			
	PESO DEL SUELLO SECO	(g)			
	CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)			

#### CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO (%)	
LIMITE PLASTICO (%)	
INDICE DE PLASTICIDAD (%)	

OBSERVACIONES
NO PRESENTA LIMITE NI PLASTICO



Mg. Miguel Solar Jara  
JEFER

[www.usanpedro.edu.pe](http://www.usanpedro.edu.pe)

Ciudad Universitaria - Urb. Los Pinos Mz. B s/n -Chimbote  
 Telf. (043) 483212 - Celular. 990562762  
 Email: lmsyem@usanpedro.edu.pe



## LABORATORIO USP

PROGRAMA DE ESTUDIOS  
DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE  
SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

(ASTM D-422, AASHTO T-88)

**TESIS:** "EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO SOSTENIBLE USANDO SWMM 5.2 EN EL  
 C.P. SANTA CLEMENCIA - CHIMBOTE"

**UBICACIÓN:** CHIMBOTE - SANTA - ANCASH  
 Bach. Torreblanca Ruiz Eduardo Armando  
**TESISTAS:** Bach. Valverde Mondalgo Luis Alessandro  
**FECHA:** Mayo 2025

**Calicata:** C-2  
**Profundidad:** -1.50 mts

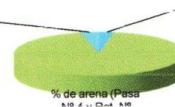
Peso de la Muestra Seca total= **2720.60 gr**  
 Peso de la fracción final =

% de Error en Peso = **0.41%** Ok!

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	2709.50	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	2709.50	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	2709.50	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0.00	2709.50	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	0.00	2709.50	0.00%	0.00%	100.00%
¾"	19	0.00	2709.50	0.00%	0.00%	100.00%
⅜"	9.5	8.20	2701.30	0.30%	0.30%	99.70%
Nº 4	4.75	69.00	2640.50	2.55%	2.85%	97.15%
Nº 10	2	401.10	2308.40	14.80%	17.65%	82.35%
Nº 20	0.850	818.00	1891.50	30.19%	47.84%	52.10%
Nº 40	0.425	570.70	2138.80	21.06%	68.91%	31.09%
Nº 60	0.250	299.40	2410.10	11.05%	79.96%	20.04%
Nº 100	0.150	266.20	2443.30	9.82%	89.78%	10.22%
Nº 200	0.075	179.50	2530.00	6.62%	96.41%	3.59%
Cazoleta		97.40	2612.10	3.59%	100.00%	0.00%
Total Fracción Retenida en Lavado =		<b>2709.50</b>		<b>100.00%</b>		

#### PROPORCIÓN GRANULOMÉTRICA

% de finos (Pasa Tamiz Nº 200) = 3.59%



% de grava  
 (Retiene Tamiz Nº 4) = 2.85%

% de arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200) = 93.56%

% de finos (Pasa Tamiz Nº 200) = 3.59%

Total: **100.00%**

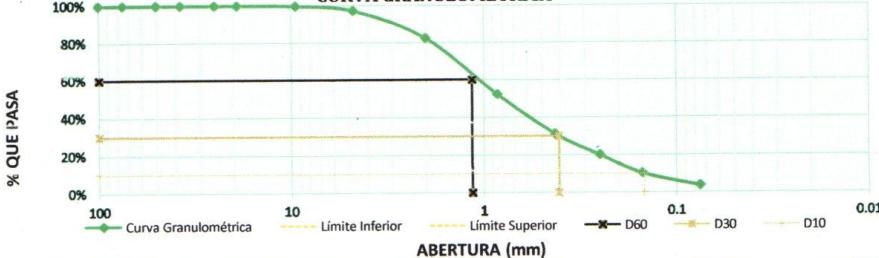
#### Fracción Gruesa

% de grava = **2.96%**

% de arena = **97.04%**

Total = **100.00%**

#### CURVA GRANULOMÉTRICA



#### Observaciones:

La muestra ha sido identificada y proporcionada en campo.

UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 L.P. Laboratorio de Suelos y Materiales de Construcción

Mg. Miguel Solar Jara  
 JEFE

[www.usanpedro.edu.pe](http://www.usanpedro.edu.pe)

Ciudad Universitaria - Urb. Los Pinos Mz. B s/n -Chimbote  
 Telf. (043) 483212 - Celular. 990562762  
 Email: lmsyem@usanpedro.edu.pe



## LABORATORIO USP

PROGRAMA DE ESTUDIOS  
DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE  
SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

### CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2217)

TESISTAS:	Bach. Torreblanca Ruiz Eduardo Armando Bach. Valverde Mondalgo Luis Alessandro
PROYECTO:	"EVALUACION Y PROPUESTA DE UN SISTEMA DE DRENAGE PLUVIAL URBANO SOSTENIBLE USANDO SWMM 5.2 EN EL C.P. SANTA CLEMENCIA - CHIMBOTE"
FECHA:	MAYO 2025
UBICACIÓN:	CHIMBOTE - SANTA - ANCASH

Sondaje	:	C 01		
Muestra	:	M-01	M-02	M-03
Profundidad (m.)	:	1.5	1.5	1.5

Peso de tara	g	39.20	36.66	37.59
Peso de tara + muestra húmeda	g	123.55	113.41	125.29
Peso de tara + muestra seca	g	119.26	109.45	120.87
Peso de agua	g	4.30	3.96	4.42
Peso de suelo seco	g	80.06	72.79	83.28
Contenido de humedad	%	5.36	5.43	5.31
Promedio	%		5.37	

Sondaje	:	C-02		
Muestra	:	M-1	M-2	M-3
Profundidad (m.)	:	1.5	1.5	1.5

Peso de tara	g	42.18	38.66	40.18
Peso de tara + muestra húmeda	g	121.32	118.10	130.09
Peso de tara + muestra seca	g	118.40	115.25	126.99
Peso de agua	g	2.92	2.85	3.10
Peso de suelo seco	g	76.22	76.59	86.82
Contenido de humedad	%	3.83	3.72	3.57
Promedio	%		3.71	



Mg. Miguel Solar Jara  
JEFE



## LABORATORIO USP

PROGRAMA DE ESTUDIOS  
DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE  
SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

### LIMITES DE CONSISTENCIA - PASA MALLA N° 40 (ASTM D4318 , MTC E-110)

TESIS: "EVALUACION Y PROPUESTA DE UN SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO SOSTENIBLE USANDO SWMM 5.2 EN EL C.P.  
SANTA CLEMENCIA - CHIMBOTE"

TESISTAS: Bach. Torreblanca Ruiz Eduardo Armando

Bach. Valverde Mondalgo Luis Alessandro

Fecha: Mayo 2025

I. Datos Generales

PROCEDENCIA : CHIMBOTE - SANTA - ANCASH

CALICATA : C-2

MATERIAL : PROCEDENCIA DE CAMPO

PROFUND.: -1.50 mts

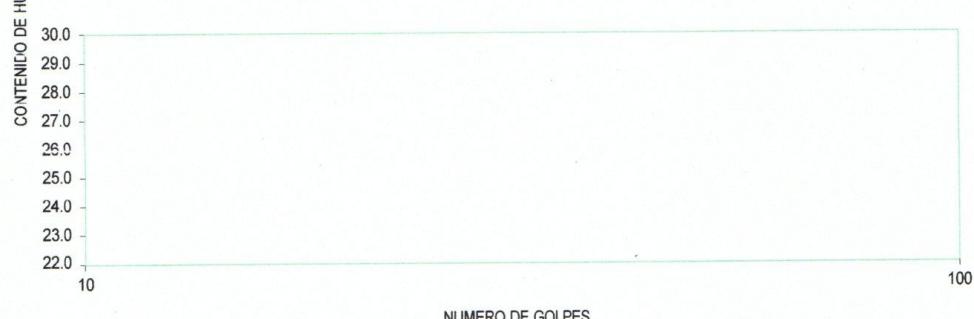
#### LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

MUESTRA				
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)			
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)			
PESO DE AGUA	(g)			
PESO DEL TARRO	(g)			
PESO DEL SUELO SECO	(g)			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				
NUMERO DE GOLPES				

#### LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

Nº TARRO				
15	PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)		
	PESO TARRO + SUELO SECO	(g)		
	PESO DE AGUA	(g)		
	PESO DEL TARRO	(g)		
	PESO DEL SUELO SECO	(g)		
	CONTENIDO DE DE HUMEDAD (%)			

#### CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



#### CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA

LIMITE LIQUIDO (%)	
LIMITE PLASTICO (%)	
INDICE DE PLASTICIDAD (%)	

#### OBSERVACIONES

NO PRESENTA LIMITE NI PLASTICO



Mg. Miguel Selar Jara  
JEFE

[www.usanpedro.edu.pe](http://www.usanpedro.edu.pe)

Universidad San Pedro  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Suelos y Ensayo de Materiales  
Ciudad Universitaria - Urb. Los Pinos Mz. B s/n -Chimbote  
Telf. (043) 483212 - Celular. 990562762  
Email: lmsyem@usanpedro.edu.pe

## Anexo 4

### *Estudio Hidrológico*

#### **ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LACRAMARCA**

##### **1. Parámetros de la Cuenca:**

Se obtuvieron los resultados del modelamiento en ArcMap

Área (km <sup>2</sup> ):	806.28
Perímetro (km):	186.20
Centroide X (m):	794026.34
Centroide Y (m):	9011922.85

##### **2. Longitud de Máximo Recorrido:**

Se obtuvieron los resultados del modelamiento en ArcMap

$$L_{\text{máx}} (\text{km}): \quad 80.77$$

##### **3. Ancho Promedio de la Cuenca**

Se obtuvo de la fórmula:

$$W = \frac{A}{L}$$

W: 9.98

##### **4. Desnivel Altitudinal**

Se obtuvieron los resultados del modelamiento en ArcMap

Cota Máxima (m):	21.00
Cota Mínima (m):	4619.00
Δ (m):	4598.00

##### **5. Parámetros de Forma**

###### **a. Factor de Forma**

Se obtuvo de la fórmula:

$$F = \frac{A}{L^2}$$

F: 0.12

###### **b. Coeficiente de Gravelius:**

Se obtuvo de la fórmula:

$$K = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

K: 1.85

###### **c. Rectángulo Equivalente**

Se obtuvo de la fórmula:

$$L_{1,2} = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left( 1 \pm \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K} \right)^2} \right)$$

L<sub>1</sub>: 84.22  
L<sub>2</sub>: 9.57

#### **6. Pendiente Media**

Se usó la técnica estadística de la pendiente ponderada:

Nº	Lím. Inferior	Lím. Superior	Marca de Clase	Área ( $m^2$ )	MC*A
1	0.00	5.10	2.55	176690781.3	450447117.59
2	5.10	11.40	8.25	99945625.0	824342057.65
3	11.40	18.00	14.70	87132656.3	1280524820.75
4	18.00	23.69	20.84	97959531.3	2041937617.54
5	23.69	29.09	26.39	102138906.3	2695782453.69
6	29.09	34.19	31.64	97851250.0	3096205692.18
7	34.19	39.89	37.04	78879062.5	2921727208.87
8	39.89	47.39	43.64	48981562.5	2137502323.08
9	47.39	76.48	61.93	14626875.0	905904825.73
$\Sigma$			246.99	804206250.00	16354374117.08

$$\begin{array}{ll} \theta_p (\text{sexag.}) & 20.34 \\ \theta_p (\text{rad.}) & 0.37 \end{array}$$

#### **7. Altitud Media de la Cuenca**

Se usó la técnica estadística de la pendiente ponderada:

Nº	Lím. Inferior	Lím. Superior	Marca de Clase	Área ( $m^2$ )	MC*A
1	21.00	531.89	276.44	287.28	79415.61
2	531.89	1042.78	787.33	153.15	120578.65
3	1042.78	1553.67	1298.22	126.76	164558.66
4	1553.67	2064.56	1809.11	94.28	170562.31
5	2064.56	2575.44	2320.00	59.63	138351.47
6	2575.44	3086.33	2830.89	39.85	112813.86
7	3086.33	3597.22	3341.78	25.40	84884.95
8	3597.22	4108.11	3852.67	15.23	58659.94
9	4108.11	4619.00	4363.56	4.71	20562.37
$\Sigma$				806.28	950387.82

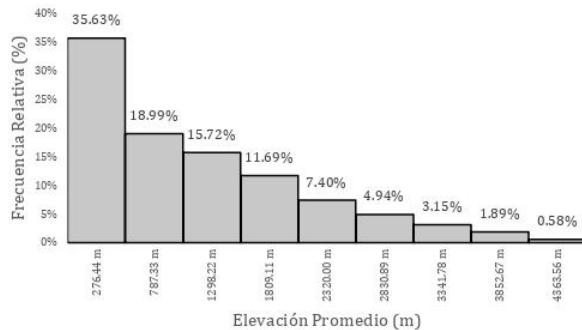
$$Z_p (\text{m.s.n.m.}): \quad 1178.73$$

#### **8. Histograma de Altitudes**

Se construyó la tabla de frecuencias para obtener el histograma

Nº	Marca de Clase	Área (%)	Área Acum. (%)
1	276.44	35.63%	35.63%
2	787.33	18.99%	54.62%
3	1298.22	15.72%	70.34%
4	1809.11	11.69%	82.04%
5	2320.00	7.40%	89.43%
6	2830.89	4.94%	94.38%
7	3341.78	3.15%	97.53%
8	3852.67	1.89%	99.42%
9	4363.56	0.58%	100.00%

Histograma de Altitudes



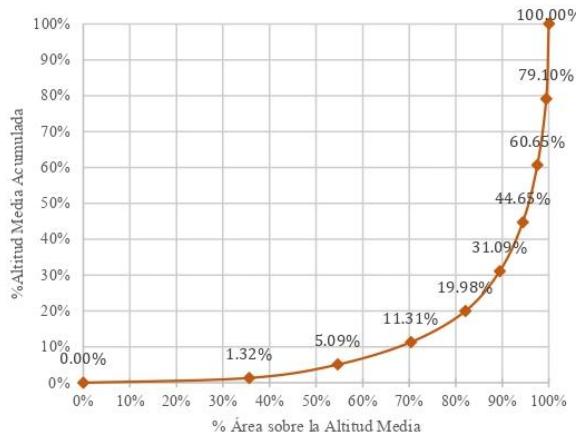
Histograma de Altitudes Acumulado



### 9. Curva Hipsométrica

Se utilizó la distribución de frecuencias acumuladas.

Clase	Área Acum. (%)	Elevación (%)	Elevación Acum. (%)
0	0.00%	0.00%	0.00%
1	35.63%	1.32%	1.32%
2	54.62%	3.77%	5.09%
3	70.34%	6.22%	11.31%
4	82.04%	8.66%	19.98%
5	89.43%	11.11%	31.09%
6	94.38%	13.56%	44.65%
7	97.53%	16.00%	60.65%
8	99.42%	18.45%	79.10%
9	100.00%	20.90%	100.00%



#### 10. Coeficiente de Masividad

Se obtuvo de la fórmula:

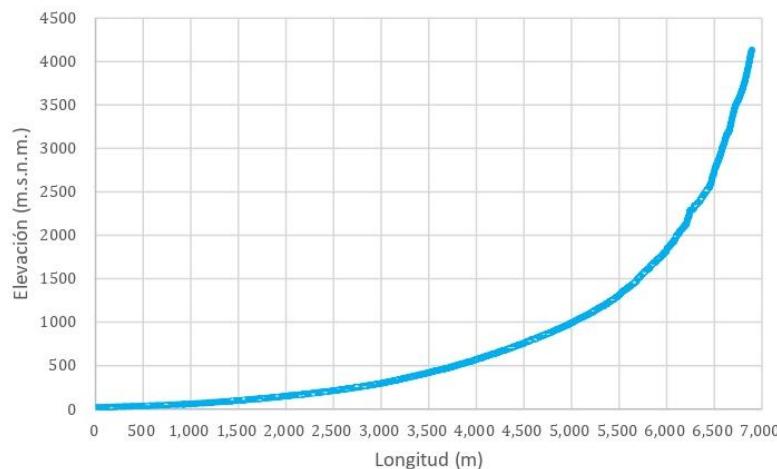
$$C_m = \frac{H}{A}$$

$C_m$ : 1.46 (Cuenca Llana)

#### 11. Parámetros de la Red Hidrográfica

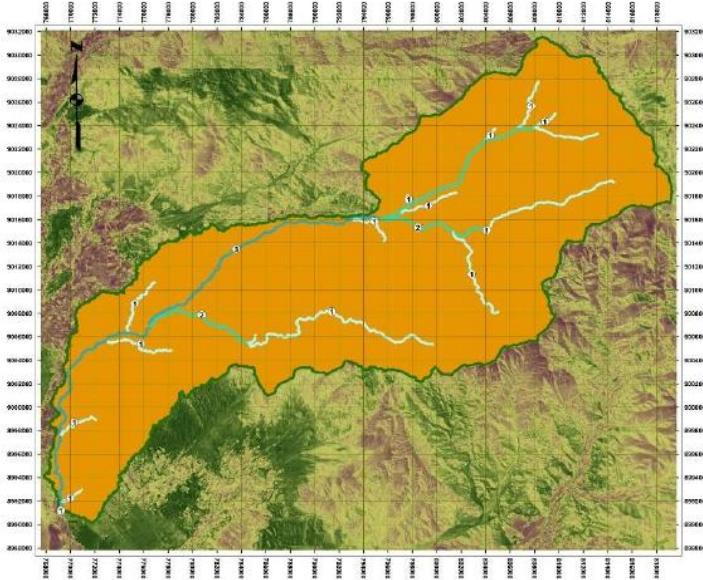
##### a. Perfil Longitudinal del Río

Se obtuvieron los resultados del modelamiento en ArcMap



### b. Orden de Ríos

Se obtuvieron los resultados del modelamiento en ArcMap



### c. Densidad de Drenaje

Se obtuvo de la fórmula:

$$D_r = \frac{L}{A}$$

D<sub>f</sub>: 0.22

#### d. Tiempo de Concentración

Se obtuvo de la fórmula de Kirpich:

$$t_c = 3.98 \left( \frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77}$$

$t_c$  (min.): 244.57

#### e. Periodo de Retardo

Se obtuvo de la fórmula:

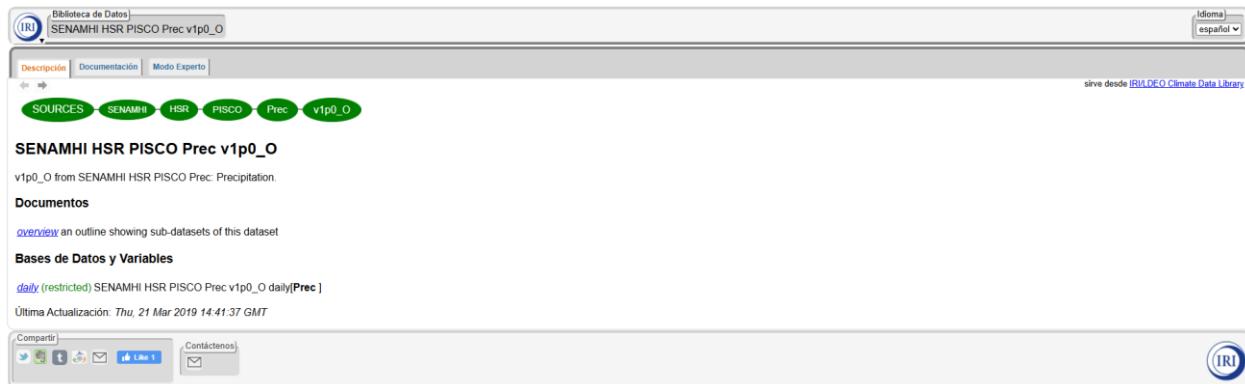
$$t_p = 0.6 t_c$$

$t_p$  (min.): 146.74

Anexo 5

### *Precipitación Máxima usando SENHAMI-PISCOOp*

Base de datos de SENHAMI-PISCOOp brindada por IRI Data Library.



Para administrar la base de datos de SENHAMI-PISCOOp se usó el lenguaje de programa R usando el siguiente código:

```
rm(list=ls())
setwd("Seleccionar ubicación de guardado")
getwd()
install.packages("ncdf4")
install.packages("raster")
install.packages("sf")
install.packages("latticeExtra")
install.packages(c("terra","sf","ggplot2"))
library(sp)
library(raster)
library(lattice)
library(latticeExtra)
library(sf)
library(terra)
library(sf)
```

```
library(ggplot2)

pisco.prec.brick <- brick("F:/TESIS/1  
DRENAJE/CALCULOS/PRECIPITACIONES/PP CON  
SENHAMI/data.nc", varname="Prec")
nlayers(pisco.prec.brick)
spplot(pisco.prec.brick[[1:12]], main="Precipitacion Mensual-Primer Año",
       col.regions=terrain.colors(100), names.attr=month.name)

library(sf)

library(sp)

library(raster)

cuenca<-st_read("F:/TESIS/1 TESIS DRENAJE/CALCULOS/PRECIPITACIONES/PP CON  
PISCO-SENHAMI/ CUENCASHAPE.shp")

cuenca <- st_transform(cuenca, crs=4326)

st_crs(cuenca)

class(cuenca)

plot(st_geometry(cuenca), col="yellow",
     axes=TRUE, asp=1, main="Cuenca Lacramarca")

pp.cuenca.mensual<-extract(pisco.prec.brick, cuenca, fun=mean)

row.names(pp.cuenca.mensual)=cuenca$data$Nom_a

range(pp.cuenca.mensual)

View(t(pp.cuenca.mensual))

length(pp.cuenca.mensual)

serie<-as.vector(t(pp.cuenca.mensual))

inicio<-as.Date("1981-01-01")

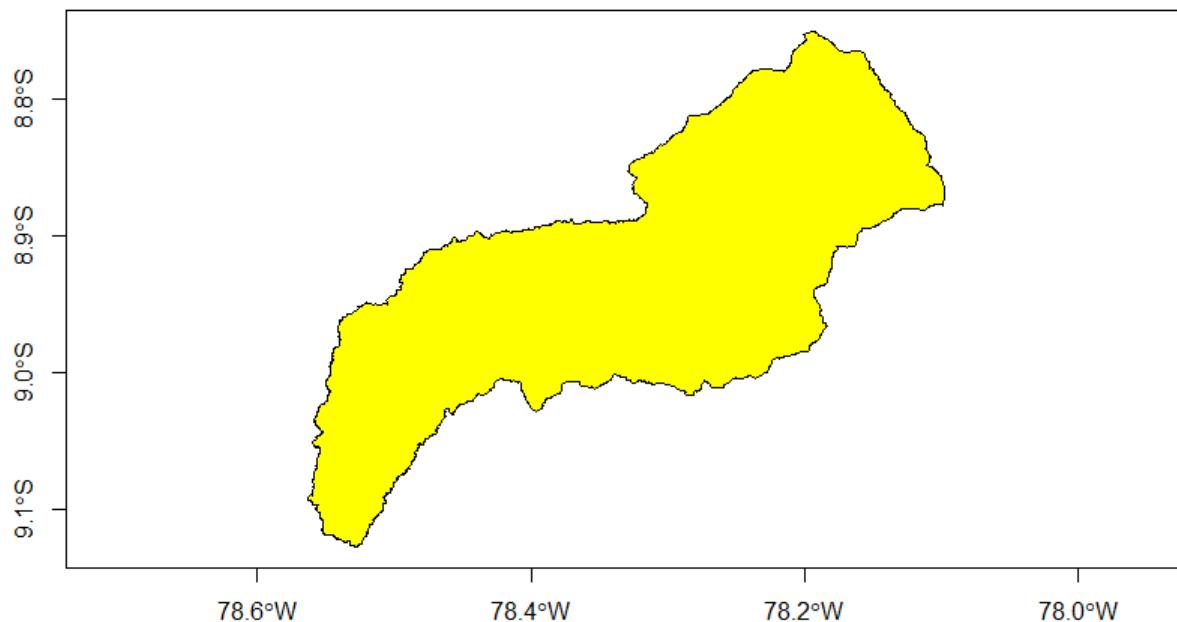
fechas<-seq(inicio, by="month", length.out=length(serie))
```

```
plot(fechas,serie,type="l",col="blue",lwd=2,ylab="Precipitación [mm]",  
      xlab="Años",main="Precipitación Promedio Mensual sobre la cuenca  
Lacramarca",xaxt="n")  
  
años<-  
  
seq(from=as.numeric(format(inicio,"%Y")),to=as.numeric(format(tail(fechas,1),"%Y")),by=1  
)  
  
fechas_años<-as.Date(paste0(años,"-01-01"))  
  
axis(1,at=fechas_años, labels=años, las=2)  
  
grid()  
  
write.csv(t(pp.cuenca.mensual),"Precipitacion_PT.csv")  
  
Dato_PT<-read.csv("Precipitacion_PT.csv")  
  
Dato_PT = Dato_PT[,2]  
  
mDato_PT<-t(matrix(Dato_PT,nrow=12))  
  
length(mDato_PT)  
  
colnames(mDato_PT)  
  
colnames(mDato_PT)<-  
c("ENE","FEB","MAR","ABR","MAY","JUN","JUL","AGO","SET","OCT","NOV","DIC")  
  
rownames(mDato_PT)<-1981:2025  
  
mDato_PT  
  
write.csv(mDato_PT,"P_T_CUENCA.csv")
```

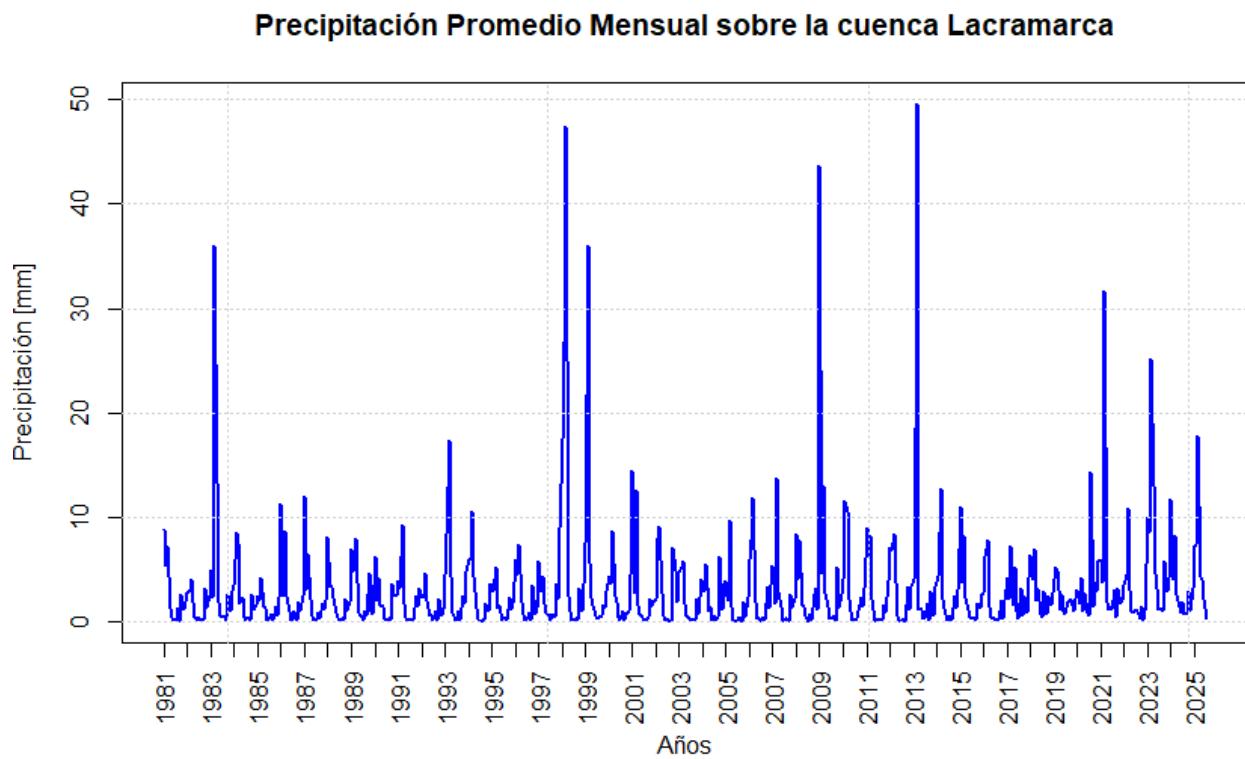
Data	
● cuenca	1 obs. of 10 variables
mDato_PT	num [1:45, 1:12] 8.82 2.71 4.94 3.44 2.4 ...
● pisco.prec.brick	Formal class RasterBrick
pp.cuenca.mensual	num [1, 1:535] 8.824 5.278 7.266 1.341 0.354 ...
Values	
años	num [1:45] 1981 1982 1983 1984 1985 ...
Dato_PT	num [1:535] 8.824 5.278 7.266 1.341 0.354 ...
fechas	Date[1:535], format: "1981-01-01" "1981-02-01" "1981-03-01" "1981-04-01" ...
fechas_años	Date[1:45], format: "1981-01-01" "1982-01-01" "1983-01-01" "1984-01-01" ...
inicio	1981-01-01 UTC
serie	num [1:535] 8.824 5.278 7.266 1.341 0.354 ...

Se ingresó la delimitación de cuenca en formato shp:

**Cuenca Lacramarca**



Se obtuvo las precipitaciones:

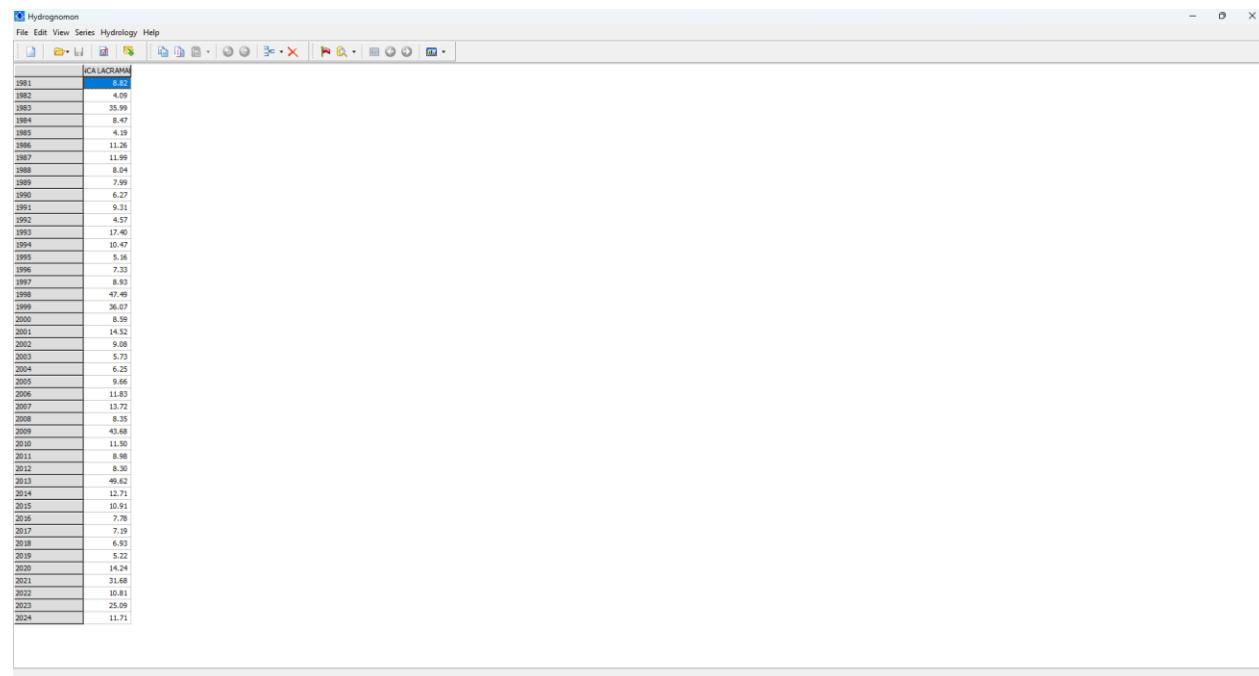


	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Setiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>P<sub>máx</sub></b>
<b>1981</b>	8.82	5.28	7.27	1.34	0.35	0.13	0.07	1.33	0.03	2.63	1.18	1.87	8.82
<b>1982</b>	2.71	3.01	4.09	1.91	0.35	0.10	0.47	0.12	0.13	3.11	1.26	2.40	4.09
<b>1983</b>	4.94	2.34	36.00	13.28	1.81	0.52	0.39	0.43	0.10	2.62	0.92	2.80	36.00
<b>1984</b>	3.44	8.47	7.54	1.75	2.35	0.44	0.19	0.36	0.12	2.52	1.14	1.54	8.47
<b>1985</b>	2.40	2.06	4.19	1.43	1.22	0.05	0.38	0.65	0.15	1.45	0.62	2.33	4.19
<b>1986</b>	11.26	2.48	8.63	2.42	0.97	0.07	0.13	0.93	0.06	1.83	1.02	2.39	11.26
<b>1987</b>	11.99	3.08	6.48	2.13	0.57	0.12	0.27	0.78	0.22	1.72	1.19	2.00	11.99
<b>1988</b>	8.04	3.29	3.37	2.28	0.91	0.49	0.06	0.27	0.14	2.09	0.95	1.84	8.04
<b>1989</b>	6.91	4.76	7.99	3.76	0.78	0.52	0.18	1.01	0.59	4.55	0.97	0.73	7.99
<b>1990</b>	6.27	1.94	4.14	1.58	1.40	0.34	0.16	0.33	0.15	3.62	2.46	2.38	6.27
<b>1991</b>	3.85	3.20	9.31	1.66	0.45	0.10	0.06	0.07	0.07	2.38	1.46	3.10	9.31
<b>1992</b>	2.23	2.41	4.57	1.99	0.61	0.68	0.08	0.95	0.14	2.13	0.55	1.09	4.57
<b>1993</b>	4.42	8.34	17.40	4.30	0.89	0.06	0.28	0.97	0.18	2.43	1.67	4.69	17.40
<b>1994</b>	5.98	6.02	10.47	4.34	1.30	0.24	0.04	0.07	0.07	1.67	1.01	3.64	10.47
<b>1995</b>	3.42	2.83	5.16	1.32	1.55	0.18	0.43	0.29	0.08	2.25	1.13	1.73	5.16
<b>1996</b>	5.95	4.45	7.33	1.89	0.76	0.06	0.06	0.91	0.09	3.52	0.77	1.35	7.33
<b>1997</b>	5.78	2.92	4.26	1.79	0.83	0.57	0.08	0.66	0.42	3.57	2.20	8.93	8.93
<b>1998</b>	17.50	26.75	47.49	2.51	1.06	0.19	0.05	0.31	0.10	3.12	1.06	3.66	47.49

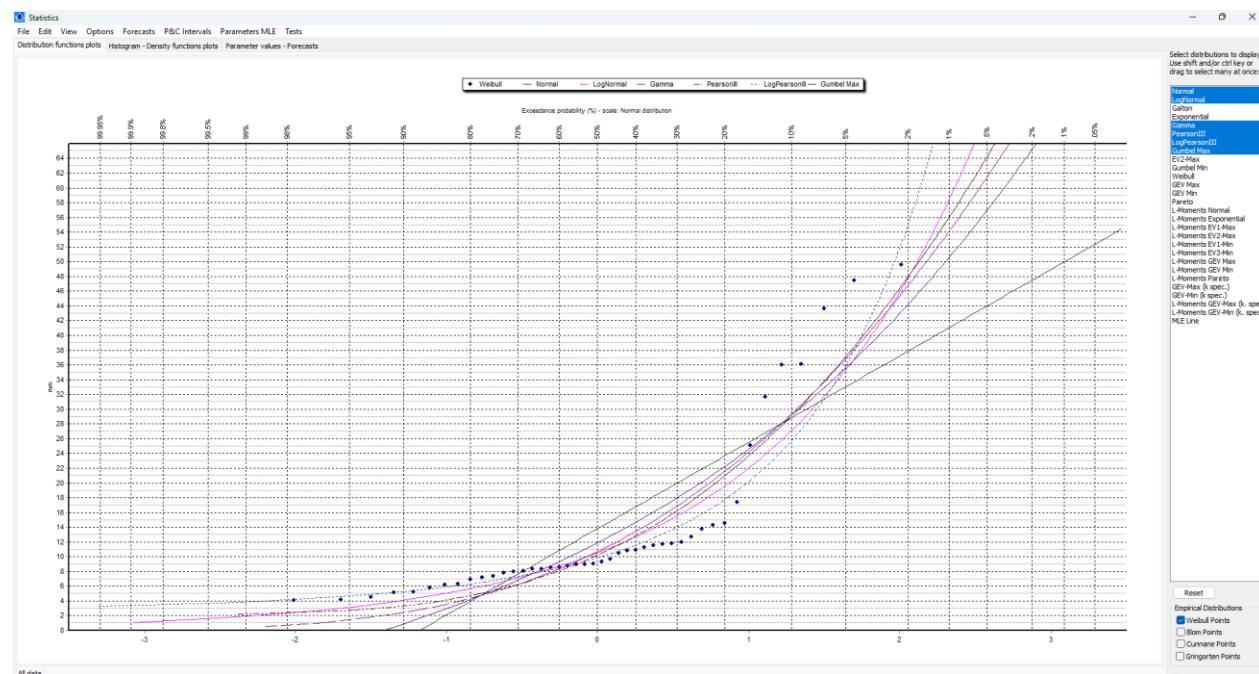
<b>1999</b>	7.56	36.07	5.68	2.29	1.53	0.49	0.24	0.44	0.56	1.59	1.31	2.93	36.07
<b>2000</b>	4.35	3.59	8.59	2.45	1.86	0.42	0.10	1.04	0.18	0.68	1.06	4.46	8.59
<b>2001</b>	14.52	2.80	12.62	1.60	0.70	0.41	0.11	0.13	0.45	2.13	1.50	2.06	14.52
<b>2002</b>	2.10	7.96	9.08	2.71	0.60	0.08	0.13	0.04	0.02	7.04	4.95	1.81	9.08
<b>2003</b>	4.59	5.19	5.73	1.78	0.51	0.20	0.14	0.12	0.09	2.21	0.69	4.05	5.73
<b>2004</b>	3.06	2.84	5.53	1.00	1.38	0.10	0.50	0.14	0.45	6.25	1.13	2.25	6.25
<b>2005</b>	3.94	2.03	9.66	1.43	0.17	0.01	0.03	0.38	0.00	1.90	0.34	2.26	9.66
<b>2006</b>	5.96	7.78	11.83	1.84	0.31	0.30	0.03	0.48	0.09	3.25	1.26	3.43	11.83
<b>2007</b>	5.33	1.73	13.72	2.83	1.41	0.02	0.20	0.34	0.00	2.65	1.26	2.15	13.72
<b>2008</b>	8.35	4.10	7.82	1.52	1.46	0.50	0.04	0.75	0.11	2.55	3.20	1.17	8.35
<b>2009</b>	43.68	4.64	13.07	2.74	1.39	0.21	0.23	0.59	0.00	5.26	1.22	2.61	43.68
<b>2010</b>	3.96	11.50	10.59	2.21	0.94	0.14	0.10	0.26	1.04	2.32	1.40	3.16	11.50
<b>2011</b>	8.98	6.24	8.18	2.14	0.17	0.02	0.26	0.14	0.13	1.54	0.89	3.96	8.98
<b>2012</b>	7.09	6.84	8.30	3.74	0.58	0.17	0.01	0.21	0.03	3.27	1.17	3.36	8.30
<b>2013</b>	4.02	18.52	49.61	1.10	1.21	0.33	0.33	1.72	0.07	2.90	0.54	3.28	49.61
<b>2014</b>	3.78	4.36	12.71	2.21	1.30	0.19	0.21	0.51	0.16	2.39	1.28	2.95	12.71
<b>2015</b>	10.91	3.77	8.20	2.35	1.17	0.45	0.29	0.48	0.06	1.72	1.35	2.52	10.91
<b>2016</b>	2.69	6.18	7.78	1.43	0.39	0.27	0.10	0.17	0.10	2.05	0.33	2.06	7.78
<b>2017</b>	4.22	2.12	7.19	1.54	5.17	0.98	0.27	3.21	0.58	2.38	0.92	4.21	7.19
<b>2018</b>	6.41	4.02	6.93	2.02	3.17	0.67	0.34	2.82	0.63	2.42	1.82	1.56	6.93
<b>2019</b>	4.01	5.22	4.90	1.09	2.64	0.95	0.66	1.82	2.01	2.22	1.05	2.14	5.22
<b>2020</b>	3.06	1.73	4.21	1.00	2.71	0.85	0.58	14.24	1.42	3.68	2.89	5.80	14.24
<b>2021</b>	5.95	3.68	31.68	1.82	1.20	1.30	1.18	2.98	0.45	3.12	1.72	2.07	31.68
<b>2022</b>	3.49	4.51	10.81	2.99	1.04	0.89	1.15	1.05	0.28	1.42	0.19	0.94	10.81
<b>2023</b>	9.97	8.49	25.09	12.97	4.65	3.14	1.10	1.18	0.97	5.78	2.90	4.19	25.09
<b>2024</b>	11.71	3.98	8.22	2.64	2.05	0.92	1.92	0.74	0.91	2.89	1.04	3.17	11.71

## Anexo 6

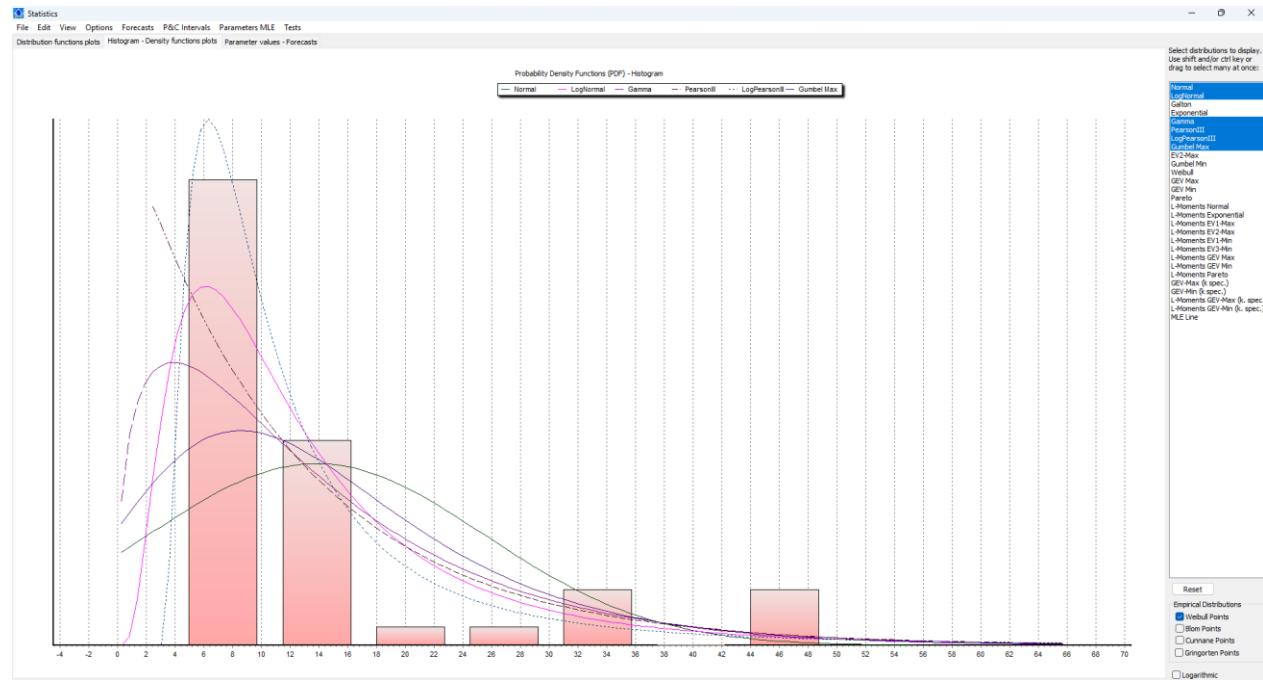
### Análisis Estadístico de Precipitaciones con Hydrognomon



### Modelos de Distribución Estadísticas



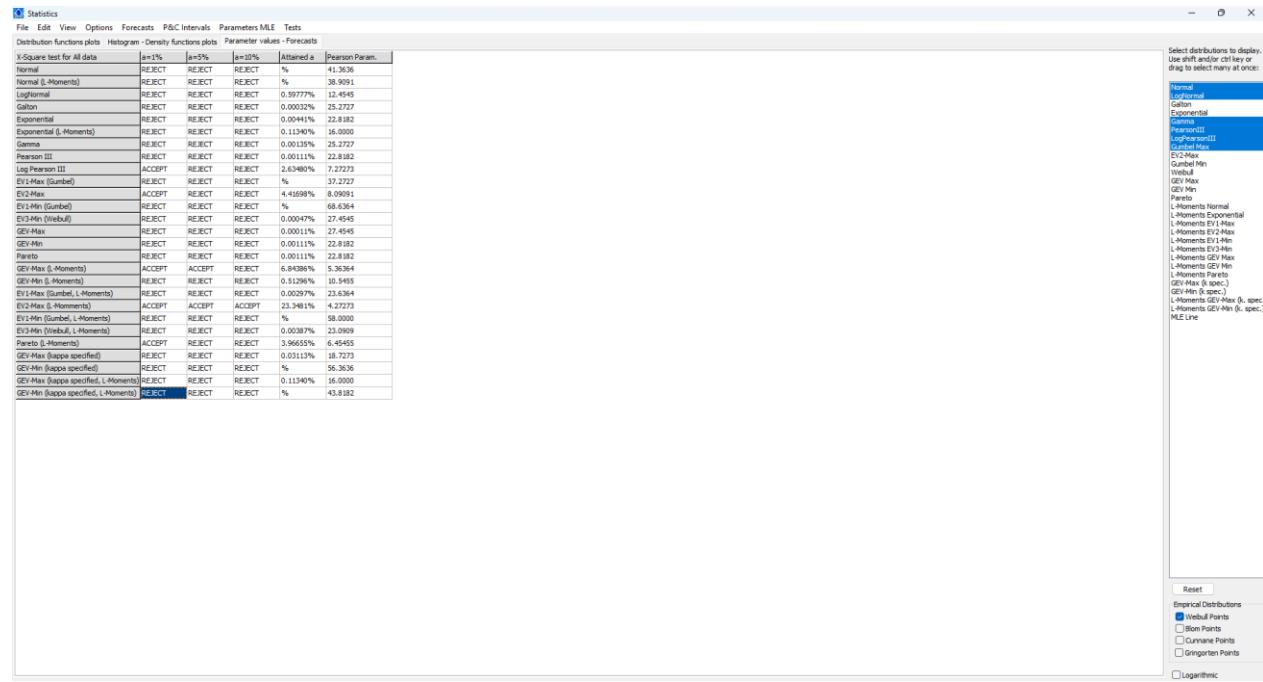
## Histograma de Densidades



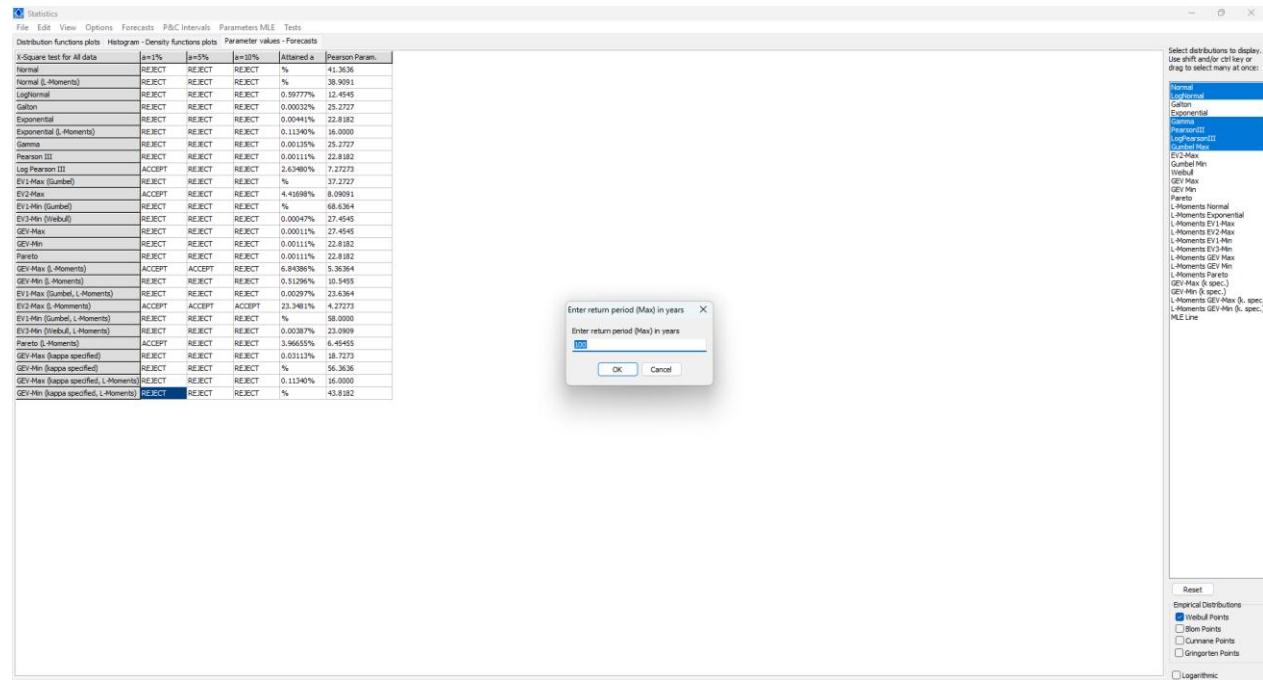
## Test de Komogorov-Smirnov

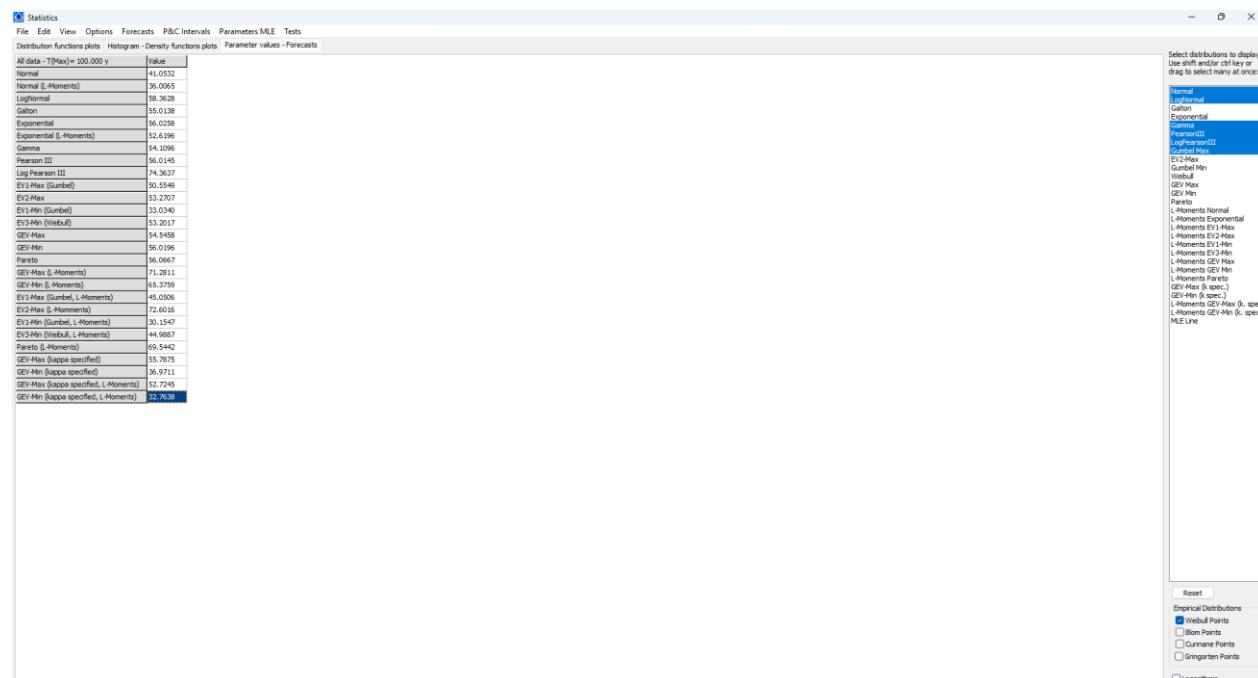
	$\alpha=1\%$	$\alpha=5\%$	$\alpha=10\%$	Accepted $\alpha$	Max
Kolmogorov-Smirnov test for All data					
Normal	REJECT	REJECT	REJECT	0.22401%	0.27663
Normal (L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	0.12037%	0.35796
Lognormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	32.3620%	0.14944
Galtung	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	14.0515%	0.17190
Exponential	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	28.8437%	0.14642
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	28.3999%	0.14705
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	16.9977%	0.16554
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	28.7577%	0.14653
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	28.7577%	0.14653
EV1-Min (Gumbel)	REJECT	REJECT	REJECT	4.24292%	0.20744
EV1-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.10931%	0.18555
EV1-Min (Gumbel)	REJECT	REJECT	REJECT	0.00498%	0.34528
EV3-Min (Weibull)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	12.3655%	0.17616
GEV-Max	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	9.94515%	0.18286
GEV-Min	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	28.8030%	0.14647
Pareto	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	28.7208%	0.14658
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	92.5392%	0.08971
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	92.5392%	0.08971
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	2.46737%	0.19868
EV1-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	94.6072%	0.07726
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	0.00314%	0.33275
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	5.86396%	0.19846
Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	27.8914%	0.14771
GEV-Max (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	13.3064%	0.17362
GEV-Min (kappa specified)	REJECT	REJECT	REJECT	0.0414%	0.30978
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	10.5388%	0.19991
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	0.0364%	0.33950

## Test de Chi Cuadrado



Se usó la herramienta Forecast para calcular la precipitación máxima según un periodo de retroceso en base a los modelos de distribución estadística





Se usó el modelo de distribución aceptado que fue Log-Pearson Tipo III.

Periodo de Retorno (años)	P <sub>máx</sub> seg\xf1n Hydrognomon P <sub>máx</sub> (mm)	P <sub>máx</sub> corregido (mm)	Probabilidad de no Excedencia (P)
2	9.85	11.13	0.5
5	17.75	20.06	0.8
10	25.70	29.04	0.9
25	40.09	45.30	0.96
50	54.94	62.08	0.98
100	74.36	84.03	0.99
200	99.71	112.68	0.995
500	145.31	164.20	0.998
1000	191.90	216.84	0.999
10000	468.87	529.83	0.9999

## Anexo 7

### Cálculo de Curvas IDF

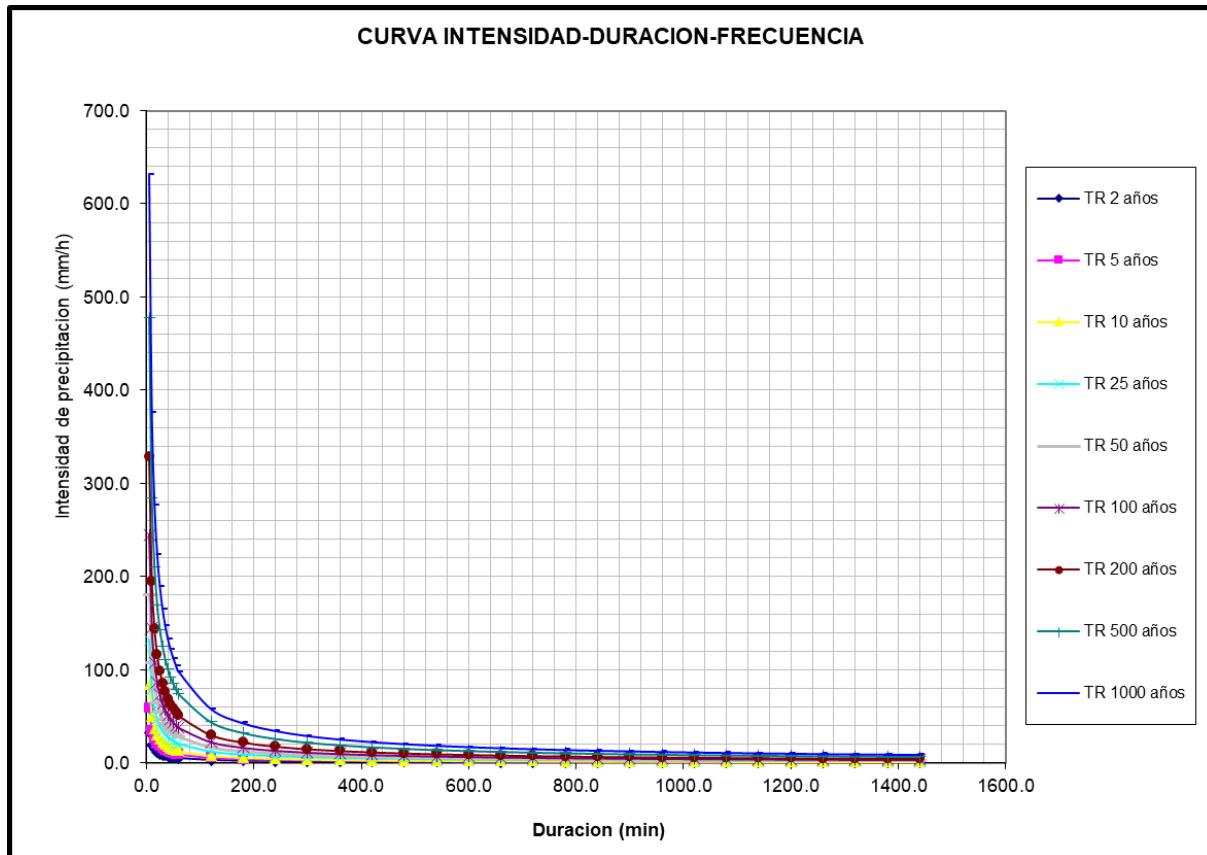
T (años)	Probabilidad de Excedencia $P = F(x)$	Probabilidad de no Excedencia $1-F(x)$	P (mm)
2	0.500	0.500	11.131
5	0.200	0.800	20.058
10	0.100	0.900	29.044
25	0.040	0.960	45.297
50	0.020	0.980	62.08
100	0.010	0.990	84.031
200	0.005	0.995	112.68
500	0.002	0.998	164.2
1000	0.001	0.999	216.84

**Modelo de Dick Peschke**

Duración (Minutos)	Precipitación en 24 horas (mm)								
	11.13	20.06	29.04	45.30	62.08	84.03	112.68	164.20	216.84
	Periodo de Retorno (Años)								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
Precipitación (mm)									
5	2.70	4.87	7.05	11.00	15.07	20.40	27.35	39.86	52.64
10	3.21	5.79	8.38	13.08	17.92	24.26	32.53	47.40	62.60
15	3.56	6.41	9.28	14.47	19.83	26.85	36.00	52.46	69.28
20	3.82	6.89	9.97	15.55	21.31	28.85	38.68	56.37	74.44
25	4.04	7.28	10.54	16.44	22.53	30.50	40.90	59.60	78.71
30	4.23	7.62	11.03	17.21	23.59	31.92	42.81	62.38	82.38
35	4.39	7.92	11.47	17.89	24.51	33.18	44.49	64.83	85.62
40	4.54	8.19	11.86	18.49	25.34	34.31	46.00	67.03	88.53
45	4.68	8.43	12.21	19.05	26.10	35.33	47.37	69.04	91.17
50	4.80	8.66	12.54	19.55	26.80	36.27	48.64	70.88	93.60
55	4.92	8.87	12.84	20.02	27.44	37.15	49.81	72.59	95.86
60	5.03	9.06	13.12	20.47	28.05	37.97	50.91	74.18	97.97
120	5.98	10.78	15.60	24.34	33.35	45.15	60.54	88.22	116.51
180	6.62	11.93	17.27	26.93	36.91	49.97	67.00	97.63	128.94
240	7.11	12.82	18.56	28.94	39.67	53.69	71.99	104.91	138.55
300	7.52	13.55	19.62	30.60	41.94	56.77	76.12	110.93	146.50
360	7.87	14.18	20.54	32.03	43.90	59.42	79.67	116.11	153.33
420	8.18	14.74	21.34	33.29	45.62	61.75	82.80	120.67	159.36
480	8.46	15.24	22.07	34.42	47.17	63.85	85.61	124.76	164.77
540	8.71	15.70	22.73	35.45	48.58	65.76	88.17	128.49	169.69
600	8.94	16.12	23.33	36.39	49.88	67.51	90.53	131.92	174.22
660	9.16	16.50	23.90	37.27	51.08	69.14	92.71	135.10	178.42
720	9.36	16.87	24.42	38.09	52.20	70.66	94.75	138.07	182.34
780	9.55	17.21	24.92	38.86	53.26	72.09	96.66	140.86	186.03
840	9.73	17.53	25.38	39.59	54.25	73.44	98.47	143.50	189.51
900	9.90	17.83	25.82	40.28	55.20	74.72	100.18	145.99	192.80
960	10.06	18.12	26.24	40.93	56.10	75.93	101.81	148.37	195.94
1020	10.21	18.40	26.65	41.56	56.95	77.09	103.37	150.64	198.93
1080	10.36	18.67	27.03	42.15	57.77	78.20	104.86	152.80	201.80
1140	10.50	18.92	27.40	42.73	58.56	79.26	106.28	154.88	204.54
1200	10.63	19.16	27.75	43.28	59.31	80.29	107.65	156.88	207.18
1260	10.77	19.40	28.09	43.81	60.04	81.27	108.98	158.81	209.72
1320	10.89	19.63	28.42	44.32	60.74	82.22	110.25	160.66	212.18
1380	11.01	19.85	28.74	44.82	61.42	83.14	111.48	162.46	214.55
<b>1440</b>	<b>11.13</b>	<b>20.06</b>	<b>29.04</b>	<b>45.30</b>	<b>62.08</b>	<b>84.03</b>	<b>112.68</b>	<b>164.20</b>	<b>216.84</b>

**Intensidad de Precipitación**

Duracion (Horas)	Duracion (min)	Periodo de Retorno (Años)								
		2.00	5.00	10.00	25.00	50.00	100.00	200.00	500.00	1000.00
		Intensidad (mm/hr)								
0.083	5	32.42	58.43	84.60	131.95	180.84	244.78	328.22	478.30	631.65
0.167	10	19.28	34.74	50.31	78.46	107.53	145.55	195.16	284.40	375.58
0.250	15	14.22	25.63	37.11	57.88	79.33	107.38	143.99	209.83	277.10
0.333	20	11.46	20.66	29.91	46.65	63.94	86.54	116.04	169.10	223.32
0.417	25	9.70	17.47	25.30	39.46	54.08	73.21	98.16	143.05	188.91
0.500	30	8.46	15.24	22.07	34.42	47.17	63.85	85.61	124.76	164.77
0.583	35	7.53	13.58	19.66	30.66	42.02	56.88	76.27	111.14	146.78
0.667	40	6.82	12.28	17.79	27.74	38.02	51.46	69.00	100.55	132.79
0.750	45	6.24	11.24	16.28	25.39	34.80	47.11	63.17	92.05	121.56
0.833	50	5.77	10.39	15.04	23.46	32.16	43.53	58.37	85.06	112.33
0.917	55	5.37	9.67	14.01	21.85	29.94	40.53	54.34	79.19	104.58
1.000	60	5.03	9.06	13.12	20.47	28.05	37.97	50.91	74.18	97.97
2.000	120	2.99	5.39	7.80	12.17	16.68	22.57	30.27	44.11	58.25
3.000	180	2.21	3.98	5.76	8.98	12.30	16.66	22.33	32.54	42.98
4.000	240	1.78	3.20	4.64	7.24	9.92	13.42	18.00	26.23	34.64
5.000	300	1.50	2.71	3.92	6.12	8.39	11.35	15.22	22.19	29.30
6.000	360	1.31	2.36	3.42	5.34	7.32	9.90	13.28	19.35	25.56
7.000	420	1.17	2.11	3.05	4.76	6.52	8.82	11.83	17.24	22.77
8.000	480	1.06	1.91	2.76	4.30	5.90	7.98	10.70	15.60	20.60
9.000	540	0.97	1.74	2.53	3.94	5.40	7.31	9.80	14.28	18.85
10.000	600	0.89	1.61	2.33	3.64	4.99	6.75	9.05	13.19	17.42
11.000	660	0.83	1.50	2.17	3.39	4.64	6.29	8.43	12.28	16.22
12.000	720	0.78	1.41	2.04	3.17	4.35	5.89	7.90	11.51	15.20
13.000	780	0.73	1.32	1.92	2.99	4.10	5.55	7.44	10.84	14.31
14.000	840	0.69	1.25	1.81	2.83	3.88	5.25	7.03	10.25	13.54
15.000	900	0.66	1.19	1.72	2.69	3.68	4.98	6.68	9.73	12.85
16.000	960	0.63	1.13	1.64	2.56	3.51	4.75	6.36	9.27	12.25
17.000	1020	0.60	1.08	1.57	2.44	3.35	4.53	6.08	8.86	11.70
18.000	1080	0.58	1.04	1.50	2.34	3.21	4.34	5.83	8.49	11.21
19.000	1140	0.55	1.00	1.44	2.25	3.08	4.17	5.59	8.15	10.77
20.000	1200	0.53	0.96	1.39	2.16	2.97	4.01	5.38	7.84	10.36
21.000	1260	0.51	0.92	1.34	2.09	2.86	3.87	5.19	7.56	9.99
22.000	1320	0.50	0.89	1.29	2.01	2.76	3.74	5.01	7.30	9.64
23.000	1380	0.48	0.86	1.25	1.95	2.67	3.61	4.85	7.06	9.33
24.000	1440	0.46	0.84	1.21	1.89	2.59	3.50	4.69	6.84	9.04



### ANALISIS DE REGRESIÓN MULTIPLE

<b>duración (min)</b>	<b>Tiempo de retorno(años)</b>	<b>Intensidad (mm/hr)</b>	<b>m <b>0.4679</b></b>	<b>n <b>-0.7500</b></b>	<b>k <b>90.7910</b></b>
<b>d</b>	<b>T</b>	<b>I</b>	<b>x3=Log(d)</b>	<b>x2=Log(T)</b>	<b>y=Log(I)</b>
5	2.0	32.42	0.70	0.30	1.51
10	2.0	19.28	1.00	0.30	1.29
15	2.0	14.22	1.18	0.30	1.15
20	2.0	11.46	1.30	0.30	1.06
25	2.0	9.70	1.40	0.30	0.99
30	2.0	8.46	1.48	0.30	0.93
35	2.0	7.53	1.54	0.30	0.88
40	2.0	6.82	1.60	0.30	0.83
45	2.0	6.24	1.65	0.30	0.80
50	2.0	5.77	1.70	0.30	0.76
55	2.0	5.37	1.74	0.30	0.73
60	2.0	5.03	1.78	0.30	0.70
120	2.0	2.99	2.08	0.30	0.48
180	2.0	2.21	2.26	0.30	0.34
240	2.0	1.78	2.38	0.30	0.25
300	2.0	1.50	2.48	0.30	0.18
360	2.0	1.31	2.56	0.30	0.12
420	2.0	1.17	2.62	0.30	0.07
480	2.0	1.06	2.68	0.30	0.02
540	2.0	0.97	2.73	0.30	-0.01
600	2.0	0.89	2.78	0.30	-0.05
660	2.0	0.83	2.82	0.30	-0.08
720	2.0	0.78	2.86	0.30	-0.11
780	2.0	0.73	2.89	0.30	-0.13
840	2.0	0.69	2.92	0.30	-0.16
900	2.0	0.66	2.95	0.30	-0.18
960	2.0	0.63	2.98	0.30	-0.20
1020	2.0	0.60	3.01	0.30	-0.22
1080	2.0	0.58	3.03	0.30	-0.24
1140	2.0	0.55	3.06	0.30	-0.26
1200	2.0	0.53	3.08	0.30	-0.27
1260	2.0	0.51	3.10	0.30	-0.29
1320	2.0	0.50	3.12	0.30	-0.31
1380	2.0	0.48	3.14	0.30	-0.32
1440	2.0	0.46	3.16	0.30	-0.33

5	5.0	58.43	0.70	0.70	1.77
10	5.0	34.74	1.00	0.70	1.54
15	5.0	25.63	1.18	0.70	1.41
20	5.0	20.66	1.30	0.70	1.32
25	5.0	17.47	1.40	0.70	1.24
30	5.0	15.24	1.48	0.70	1.18
35	5.0	13.58	1.54	0.70	1.13
40	5.0	12.28	1.60	0.70	1.09
45	5.0	11.24	1.65	0.70	1.05
50	5.0	10.39	1.70	0.70	1.02
55	5.0	9.67	1.74	0.70	0.99
60	5.0	9.06	1.78	0.70	0.96
120	5.0	5.39	2.08	0.70	0.73
180	5.0	3.98	2.26	0.70	0.60
240	5.0	3.20	2.38	0.70	0.51
300	5.0	2.71	2.48	0.70	0.43
360	5.0	2.36	2.56	0.70	0.37
420	5.0	2.11	2.62	0.70	0.32
480	5.0	1.91	2.68	0.70	0.28
540	5.0	1.74	2.73	0.70	0.24
600	5.0	1.61	2.78	0.70	0.21
660	5.0	1.50	2.82	0.70	0.18
720	5.0	1.41	2.86	0.70	0.15
780	5.0	1.32	2.89	0.70	0.12
840	5.0	1.25	2.92	0.70	0.10
900	5.0	1.19	2.95	0.70	0.08
960	5.0	1.13	2.98	0.70	0.05
1020	5.0	1.08	3.01	0.70	0.03
1080	5.0	1.04	3.03	0.70	0.02
1140	5.0	1.00	3.06	0.70	0.00
1200	5.0	0.96	3.08	0.70	-0.02
1260	5.0	0.92	3.10	0.70	-0.03
1320	5.0	0.89	3.12	0.70	-0.05
1380	5.0	0.86	3.14	0.70	-0.06
1440	5.0	0.84	3.16	0.70	-0.08

5	10.0	84.60	0.70	1.00	1.93
10	10.0	50.31	1.00	1.00	1.70
15	10.0	37.11	1.18	1.00	1.57
20	10.0	29.91	1.30	1.00	1.48
25	10.0	25.30	1.40	1.00	1.40
30	10.0	22.07	1.48	1.00	1.34
35	10.0	19.66	1.54	1.00	1.29
40	10.0	17.79	1.60	1.00	1.25
45	10.0	16.28	1.65	1.00	1.21
50	10.0	15.04	1.70	1.00	1.18
55	10.0	14.01	1.74	1.00	1.15
60	10.0	13.12	1.78	1.00	1.12
120	10.0	7.80	2.08	1.00	0.89
180	10.0	5.76	2.26	1.00	0.76
240	10.0	4.64	2.38	1.00	0.67
300	10.0	3.92	2.48	1.00	0.59
360	10.0	3.42	2.56	1.00	0.53
420	10.0	3.05	2.62	1.00	0.48
480	10.0	2.76	2.68	1.00	0.44
540	10.0	2.53	2.73	1.00	0.40
600	10.0	2.33	2.78	1.00	0.37
660	10.0	2.17	2.82	1.00	0.34
720	10.0	2.04	2.86	1.00	0.31
780	10.0	1.92	2.89	1.00	0.28
840	10.0	1.81	2.92	1.00	0.26
900	10.0	1.72	2.95	1.00	0.24
960	10.0	1.64	2.98	1.00	0.21
1020	10.0	1.57	3.01	1.00	0.20
1080	10.0	1.50	3.03	1.00	0.18
1140	10.0	1.44	3.06	1.00	0.16
1200	10.0	1.39	3.08	1.00	0.14
1260	10.0	1.34	3.10	1.00	0.13
1320	10.0	1.29	3.12	1.00	0.11
1380	10.0	1.25	3.14	1.00	0.10
1440	10.0	1.21	3.16	1.00	0.08

5	25.0	131.95	0.70	1.40	2.12
10	25.0	78.46	1.00	1.40	1.89
15	25.0	57.88	1.18	1.40	1.76
20	25.0	46.65	1.30	1.40	1.67
25	25.0	39.46	1.40	1.40	1.60
30	25.0	34.42	1.48	1.40	1.54
35	25.0	30.66	1.54	1.40	1.49
40	25.0	27.74	1.60	1.40	1.44
45	25.0	25.39	1.65	1.40	1.40
50	25.0	23.46	1.70	1.40	1.37
55	25.0	21.85	1.74	1.40	1.34
60	25.0	20.47	1.78	1.40	1.31
120	25.0	12.17	2.08	1.40	1.09
180	25.0	8.98	2.26	1.40	0.95
240	25.0	7.24	2.38	1.40	0.86
300	25.0	6.12	2.48	1.40	0.79
360	25.0	5.34	2.56	1.40	0.73
420	25.0	4.76	2.62	1.40	0.68
480	25.0	4.30	2.68	1.40	0.63
540	25.0	3.94	2.73	1.40	0.60
600	25.0	3.64	2.78	1.40	0.56
660	25.0	3.39	2.82	1.40	0.53
720	25.0	3.17	2.86	1.40	0.50
780	25.0	2.99	2.89	1.40	0.48
840	25.0	2.83	2.92	1.40	0.45
900	25.0	2.69	2.95	1.40	0.43
960	25.0	2.56	2.98	1.40	0.41
1020	25.0	2.44	3.01	1.40	0.39
1080	25.0	2.34	3.03	1.40	0.37
1140	25.0	2.25	3.06	1.40	0.35
1200	25.0	2.16	3.08	1.40	0.34
1260	25.0	2.09	3.10	1.40	0.32
1320	25.0	2.01	3.12	1.40	0.30
1380	25.0	1.95	3.14	1.40	0.29
1440	25.0	1.89	3.16	1.40	0.28

5	50.0	180.84	0.70	1.70	2.26
10	50.0	107.53	1.00	1.70	2.03
15	50.0	79.33	1.18	1.70	1.90
20	50.0	63.94	1.30	1.70	1.81
25	50.0	54.08	1.40	1.70	1.73
30	50.0	47.17	1.48	1.70	1.67
35	50.0	42.02	1.54	1.70	1.62
40	50.0	38.02	1.60	1.70	1.58
45	50.0	34.80	1.65	1.70	1.54
50	50.0	32.16	1.70	1.70	1.51
55	50.0	29.94	1.74	1.70	1.48
60	50.0	28.05	1.78	1.70	1.45
120	50.0	16.68	2.08	1.70	1.22
180	50.0	12.30	2.26	1.70	1.09
240	50.0	9.92	2.38	1.70	1.00
300	50.0	8.39	2.48	1.70	0.92
360	50.0	7.32	2.56	1.70	0.86
420	50.0	6.52	2.62	1.70	0.81
480	50.0	5.90	2.68	1.70	0.77
540	50.0	5.40	2.73	1.70	0.73
600	50.0	4.99	2.78	1.70	0.70
660	50.0	4.64	2.82	1.70	0.67
720	50.0	4.35	2.86	1.70	0.64
780	50.0	4.10	2.89	1.70	0.61
840	50.0	3.88	2.92	1.70	0.59
900	50.0	3.68	2.95	1.70	0.57
960	50.0	3.51	2.98	1.70	0.54
1020	50.0	3.35	3.01	1.70	0.53
1080	50.0	3.21	3.03	1.70	0.51
1140	50.0	3.08	3.06	1.70	0.49
1200	50.0	2.97	3.08	1.70	0.47
1260	50.0	2.86	3.10	1.70	0.46
1320	50.0	2.76	3.12	1.70	0.44
1380	50.0	2.67	3.14	1.70	0.43
1440	50.0	2.59	3.16	1.70	0.41

5	100.0	244.78	0.70	2.00	2.39
10	100.0	145.55	1.00	2.00	2.16
15	100.0	107.38	1.18	2.00	2.03
20	100.0	86.54	1.30	2.00	1.94
25	100.0	73.21	1.40	2.00	1.86
30	100.0	63.85	1.48	2.00	1.81
35	100.0	56.88	1.54	2.00	1.75
40	100.0	51.46	1.60	2.00	1.71
45	100.0	47.11	1.65	2.00	1.67
50	100.0	43.53	1.70	2.00	1.64
55	100.0	40.53	1.74	2.00	1.61
60	100.0	37.97	1.78	2.00	1.58
120	100.0	22.57	2.08	2.00	1.35
180	100.0	16.66	2.26	2.00	1.22
240	100.0	13.42	2.38	2.00	1.13
300	100.0	11.35	2.48	2.00	1.06
360	100.0	9.90	2.56	2.00	1.00
420	100.0	8.82	2.62	2.00	0.95
480	100.0	7.98	2.68	2.00	0.90
540	100.0	7.31	2.73	2.00	0.86
600	100.0	6.75	2.78	2.00	0.83
660	100.0	6.29	2.82	2.00	0.80
720	100.0	5.89	2.86	2.00	0.77
780	100.0	5.55	2.89	2.00	0.74
840	100.0	5.25	2.92	2.00	0.72
900	100.0	4.98	2.95	2.00	0.70
960	100.0	4.75	2.98	2.00	0.68
1020	100.0	4.53	3.01	2.00	0.66
1080	100.0	4.34	3.03	2.00	0.64
1140	100.0	4.17	3.06	2.00	0.62
1200	100.0	4.01	3.08	2.00	0.60
1260	100.0	3.87	3.10	2.00	0.59
1320	100.0	3.74	3.12	2.00	0.57
1380	100.0	3.61	3.14	2.00	0.56
1440	100.0	3.50	3.16	2.00	0.54

5	200.0	328.22	0.70	2.30	2.52
10	200.0	195.16	1.00	2.30	2.29
15	200.0	143.99	1.18	2.30	2.16
20	200.0	116.04	1.30	2.30	2.06
25	200.0	98.16	1.40	2.30	1.99
30	200.0	85.61	1.48	2.30	1.93
35	200.0	76.27	1.54	2.30	1.88
40	200.0	69.00	1.60	2.30	1.84
45	200.0	63.17	1.65	2.30	1.80
50	200.0	58.37	1.70	2.30	1.77
55	200.0	54.34	1.74	2.30	1.74
60	200.0	50.91	1.78	2.30	1.71
120	200.0	30.27	2.08	2.30	1.48
180	200.0	22.33	2.26	2.30	1.35
240	200.0	18.00	2.38	2.30	1.26
300	200.0	15.22	2.48	2.30	1.18
360	200.0	13.28	2.56	2.30	1.12
420	200.0	11.83	2.62	2.30	1.07
480	200.0	10.70	2.68	2.30	1.03
540	200.0	9.80	2.73	2.30	0.99
600	200.0	9.05	2.78	2.30	0.96
660	200.0	8.43	2.82	2.30	0.93
720	200.0	7.90	2.86	2.30	0.90
780	200.0	7.44	2.89	2.30	0.87
840	200.0	7.03	2.92	2.30	0.85
900	200.0	6.68	2.95	2.30	0.82
960	200.0	6.36	2.98	2.30	0.80
1020	200.0	6.08	3.01	2.30	0.78
1080	200.0	5.83	3.03	2.30	0.77
1140	200.0	5.59	3.06	2.30	0.75
1200	200.0	5.38	3.08	2.30	0.73
1260	200.0	5.19	3.10	2.30	0.72
1320	200.0	5.01	3.12	2.30	0.70
1380	200.0	4.85	3.14	2.30	0.69
1440	200.0	4.69	3.16	2.30	0.67

5	500.0	478.30	0.70	2.70	2.68
10	500.0	284.40	1.00	2.70	2.45
15	500.0	209.83	1.18	2.70	2.32
20	500.0	169.10	1.30	2.70	2.23
25	500.0	143.05	1.40	2.70	2.16
30	500.0	124.76	1.48	2.70	2.10
35	500.0	111.14	1.54	2.70	2.05
40	500.0	100.55	1.60	2.70	2.00
45	500.0	92.05	1.65	2.70	1.96
50	500.0	85.06	1.70	2.70	1.93
55	500.0	79.19	1.74	2.70	1.90
60	500.0	74.18	1.78	2.70	1.87
120	500.0	44.11	2.08	2.70	1.64
180	500.0	32.54	2.26	2.70	1.51
240	500.0	26.23	2.38	2.70	1.42
300	500.0	22.19	2.48	2.70	1.35
360	500.0	19.35	2.56	2.70	1.29
420	500.0	17.24	2.62	2.70	1.24
480	500.0	15.60	2.68	2.70	1.19
540	500.0	14.28	2.73	2.70	1.15
600	500.0	13.19	2.78	2.70	1.12
660	500.0	12.28	2.82	2.70	1.09
720	500.0	11.51	2.86	2.70	1.06
780	500.0	10.84	2.89	2.70	1.03
840	500.0	10.25	2.92	2.70	1.01
900	500.0	9.73	2.95	2.70	0.99
960	500.0	9.27	2.98	2.70	0.97
1020	500.0	8.86	3.01	2.70	0.95
1080	500.0	8.49	3.03	2.70	0.93
1140	500.0	8.15	3.06	2.70	0.91
1200	500.0	7.84	3.08	2.70	0.89
1260	500.0	7.56	3.10	2.70	0.88
1320	500.0	7.30	3.12	2.70	0.86
1380	500.0	7.06	3.14	2.70	0.85
1440	500.0	6.84	3.16	2.70	0.84

5	1000.0	631.65	0.70	3.00	2.80
10	1000.0	375.58	1.00	3.00	2.57
15	1000.0	277.10	1.18	3.00	2.44
20	1000.0	223.32	1.30	3.00	2.35
25	1000.0	188.91	1.40	3.00	2.28
30	1000.0	164.77	1.48	3.00	2.22
35	1000.0	146.78	1.54	3.00	2.17
40	1000.0	132.79	1.60	3.00	2.12
45	1000.0	121.56	1.65	3.00	2.08
50	1000.0	112.33	1.70	3.00	2.05
55	1000.0	104.58	1.74	3.00	2.02
60	1000.0	97.97	1.78	3.00	1.99
120	1000.0	58.25	2.08	3.00	1.77
180	1000.0	42.98	2.26	3.00	1.63
240	1000.0	34.64	2.38	3.00	1.54
300	1000.0	29.30	2.48	3.00	1.47
360	1000.0	25.56	2.56	3.00	1.41
420	1000.0	22.77	2.62	3.00	1.36
480	1000.0	20.60	2.68	3.00	1.31
540	1000.0	18.85	2.73	3.00	1.28
600	1000.0	17.42	2.78	3.00	1.24
660	1000.0	16.22	2.82	3.00	1.21
720	1000.0	15.20	2.86	3.00	1.18
780	1000.0	14.31	2.89	3.00	1.16
840	1000.0	13.54	2.92	3.00	1.13
900	1000.0	12.85	2.95	3.00	1.11
960	1000.0	12.25	2.98	3.00	1.09
1020	1000.0	11.70	3.01	3.00	1.07
1080	1000.0	11.21	3.03	3.00	1.05
1140	1000.0	10.77	3.06	3.00	1.03
1200	1000.0	10.36	3.08	3.00	1.02
1260	1000.0	9.99	3.10	3.00	1.00
1320	1000.0	9.64	3.12	3.00	0.98
1380	1000.0	9.33	3.14	3.00	0.97
1440	1000.0	9.04	3.16	3.00	0.96

$$I_{max} = \frac{K \times T^m}{D^n}$$

I<sub>max</sub> = intensidad máxima de lluvia, en mm/hr  
 T = periodo de retorno, en años  
 D = duración, en minutos

Resumen

<u>Estadísticas de la regresión</u>	
Coeficiente de	0.99894709
Coeficiente de	0.99789529
R <sup>2</sup> ajustado	0.9978818
Error típico	0.03122827
Observacione:	315

$$\log I_{max} = \log K \times T^m \times D^{-n}$$

$$\log I_{max} = \log K + \log T^m + \log D^{-n}$$

$$y = X_1 + mX_2 - nX_3$$

#### ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>suma de cuadrados de los cuadros</i>	<i>F</i>	<i>valor crítico de F</i>
Regresión	2	144.259287	72.1296435	73963.603
Residuos	312	0.30426383	0.0009752	
Total	314	144.563551		

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	1.95804292	0.00685461	285.653451	0	1.94455581	1.97153002	1.94455581	1.97153002
Variable X 1	-0.75	0.00242711	-309.00929	0	-0.75477558	-0.74522442	-0.75477558	-0.74522442
Variable X 2	0.46786547	0.00204309	228.998831	0	0.46384549	0.47188545	0.46384549	0.47188545

## Anexo 8

### Hietogramas de Precipitación

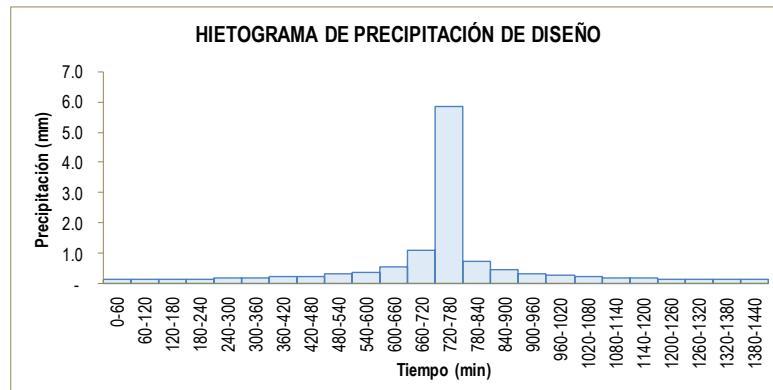
#### HIETOGRAMA DE PRECIPITACION DE DISEÑO

$$K = 90.791 \\ T = 2 \\ m = 0.4679 \\ n = 0.750 \\ I = \frac{300.306 \times T^{0.2180}}{D^{0.751}}$$

<b>METODO DEL BLOQUE ALTERNO</b>					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDA ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	5.825	5.825	5.825	0-60	0.136
120	3.463	6.927	1.102	60-120	0.146
180	2.555	7.666	0.739	120-180	0.157
240	2.059	8.237	0.572	180-240	0.170
300	1.742	8.710	0.473	240-300	0.186
360	1.519	9.116	0.406	300-360	0.207
420	1.353	9.474	0.358	360-420	0.233
480	1.224	9.796	0.322	420-480	0.269
540	1.121	10.089	0.293	480-540	0.322
600	1.036	10.358	0.269	540-600	0.406
660	0.964	10.608	0.250	600-660	0.572
720	0.903	10.841	0.233	660-720	1.102
780	0.851	11.060	0.219	720-780	5.825
840	0.805	11.267	0.207	780-840	0.739
900	0.764	11.463	0.196	840-900	0.473
960	0.728	11.649	0.186	900-960	0.358
1020	0.696	11.827	0.178	960-1020	0.293
1080	0.667	11.997	0.170	1020-1080	0.250
1140	0.640	12.161	0.163	1080-1140	0.219
1200	0.616	12.318	0.157	1140-1200	0.196
1260	0.594	12.469	0.151	1200-1260	0.178
1320	0.573	12.615	0.146	1260-1320	0.163
1380	0.555	12.756	0.141	1320-1380	0.151
1440	0.537	12.892	0.136	1380-1440	0.141

#### CURVA INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA

I: Intensidad máxima (mm/h)  
T: Período de retorno en años = 2.00 años  
t: Duración de la precipitación (min)



#### HIETOGRAMA DE PRECIPITACION DE DISEÑO

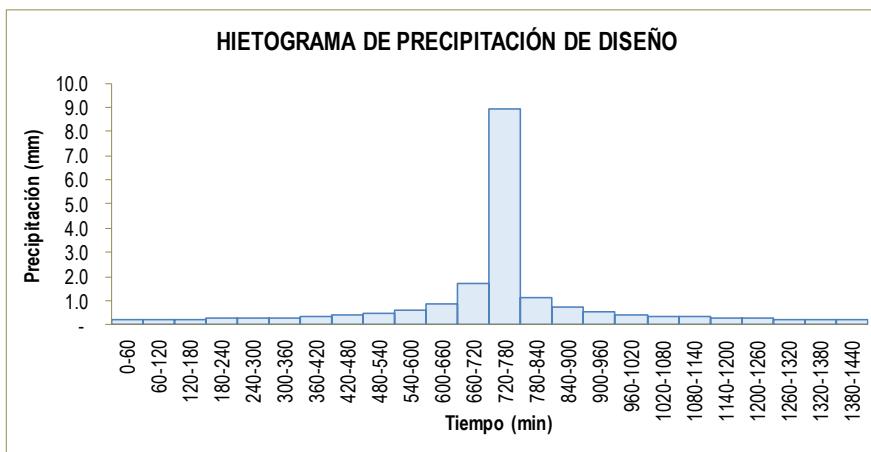
$K = 90.791$   
 $T = 5$   
 $m = 0.4679$   
 $n = 0.750$

$$I = \frac{300.306 \times T^{0.2180}}{D^{0.751}}$$

METODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDA ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	8.942	8.942	8.942	0-60	0.209
120	5.317	10.634	1.692	60-120	0.224
180	3.923	11.769	1.134	120-180	0.241
240	3.162	12.646	0.878	180-240	0.261
300	2.674	13.372	0.726	240-300	0.286
360	2.333	13.996	0.624	300-360	0.318
420	2.078	14.545	0.550	360-420	0.358
480	1.880	15.039	0.494	420-480	0.413
540	1.721	15.489	0.449	480-540	0.494
600	1.590	15.902	0.413	540-600	0.624
660	1.481	16.286	0.383	600-660	0.878
720	1.387	16.644	0.358	660-720	1.692
780	1.306	16.980	0.336	720-780	8.942
840	1.236	17.298	0.318	780-840	1.134
900	1.173	17.599	0.301	840-900	0.726
960	1.118	17.885	0.286	900-960	0.550
1020	1.068	18.158	0.273	960-1020	0.449
1080	1.023	18.419	0.261	1020-1080	0.383
1140	0.983	18.670	0.251	1080-1140	0.336
1200	0.946	18.911	0.241	1140-1200	0.301
1260	0.912	19.143	0.232	1200-1260	0.273
1320	0.880	19.367	0.224	1260-1320	0.251
1380	0.851	19.583	0.216	1320-1380	0.232
1440	0.825	19.793	0.209	1380-1440	0.216

#### CURVA INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA

I: Intensidad máxima (mm/h)  
 T: Período de retorno en años = 5.00 años  
 t: Duración de la precipitación (min)



#### HIETOGRAMA DE PRECIPITACION DE DISEÑO

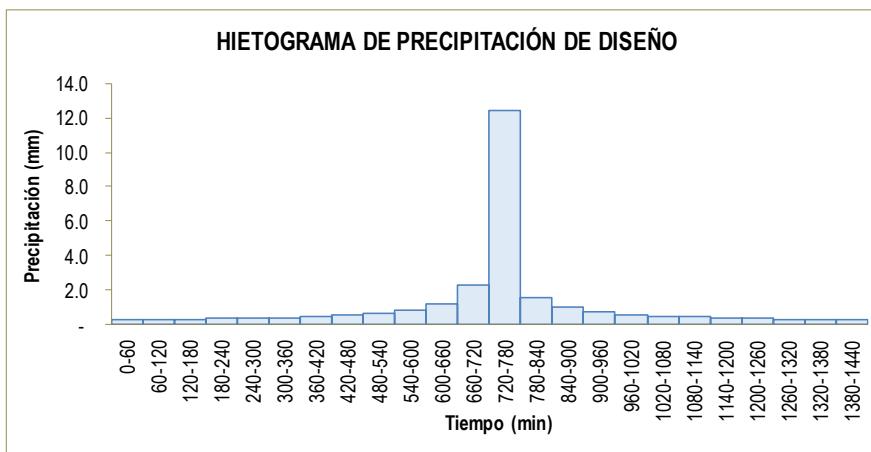
**K =** 90.791  
**T =** 10  
**m =** 0.4679  
**n =** 0.750

$$I = \frac{300.306 \times T^{0.2180}}{D^{0.751}}$$

METODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDA ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	12.368	12.368	12.368	0-60	0.290
120	7.354	14.708	2.340	60-120	0.310
180	5.426	16.277	1.569	120-180	0.333
240	4.373	17.491	1.214	180-240	0.361
300	3.699	18.494	1.003	240-300	0.396
360	3.226	19.357	0.862	300-360	0.439
420	2.874	20.117	0.761	360-420	0.495
480	2.600	20.800	0.683	420-480	0.572
540	2.380	21.422	0.622	480-540	0.683
600	2.199	21.994	0.572	540-600	0.862
660	2.048	22.524	0.530	600-660	1.214
720	1.918	23.019	0.495	660-720	2.340
780	1.806	23.484	0.465	720-780	12.368
840	1.709	23.924	0.439	780-840	1.569
900	1.623	24.340	0.416	840-900	1.003
960	1.546	24.736	0.396	900-960	0.761
1020	1.477	25.113	0.378	960-1020	0.622
1080	1.415	25.475	0.361	1020-1080	0.530
1140	1.359	25.822	0.347	1080-1140	0.465
1200	1.308	26.155	0.333	1140-1200	0.416
1260	1.261	26.476	0.321	1200-1260	0.378
1320	1.218	26.786	0.310	1260-1320	0.347
1380	1.178	27.085	0.299	1320-1380	0.321
1440	1.141	27.375	0.290	1380-1440	0.299

#### CURVA INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA

I: Intensidad máxima (mm/h)  
T: Período de retorno en años = 10.00 años  
t: Duración de la precipitación (min)



#### HIETOGRAMA DE PRECIPITACION DE DISEÑO

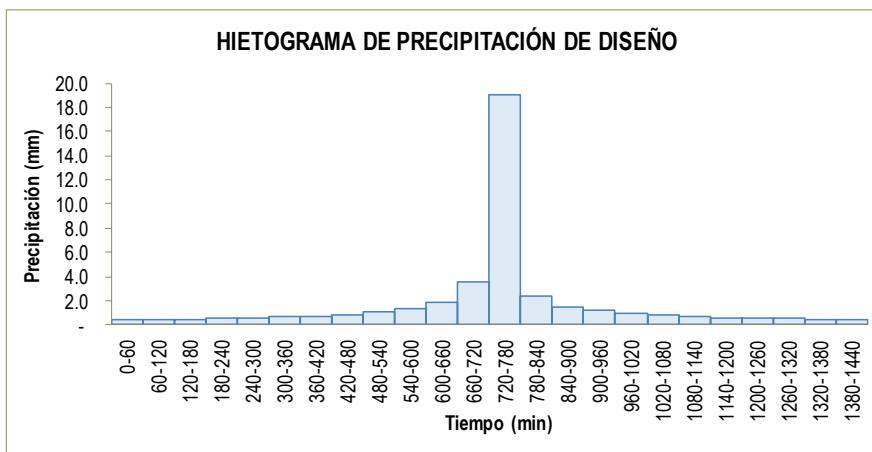
**K =** 90.791  
**T =** 25  
**m =** 0.4679  
**n =** 0.750

$$I = \frac{300.306 \times T^{0.2180}}{D^{0.751}}$$

METODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDA ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	18.988	18.988	18.988	0-60	0.445
120	11.290	22.581	3.593	60-120	0.475
180	8.330	24.990	2.409	120-180	0.512
240	6.713	26.853	1.863	180-240	0.555
300	5.679	28.394	1.541	240-300	0.608
360	4.953	29.718	1.324	300-360	0.674
420	4.412	30.885	1.168	360-420	0.760
480	3.992	31.934	1.048	420-480	0.878
540	3.654	32.888	0.954	480-540	1.048
600	3.377	33.766	0.878	540-600	1.324
660	3.144	34.580	0.814	600-660	1.863
720	2.945	35.340	0.760	660-720	3.593
780	2.773	36.055	0.714	720-780	18.988
840	2.624	36.729	0.674	780-840	2.409
900	2.491	37.368	0.639	840-900	1.541
960	2.373	37.976	0.608	900-960	1.168
1020	2.268	38.556	0.580	960-1020	0.954
1080	2.173	39.111	0.555	1020-1080	0.814
1140	2.086	39.643	0.532	1080-1140	0.714
1200	2.008	40.155	0.512	1140-1200	0.639
1260	1.936	40.647	0.493	1200-1260	0.580
1320	1.869	41.123	0.475	1260-1320	0.532
1380	1.808	41.582	0.460	1320-1380	0.493
1440	1.751	42.027	0.445	1380-1440	0.460

#### CURVA INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA

I: Intensidad máxima (mm/h)  
 T: Período de retorno en años = 25.00 años  
 t: Duración de la precipitación (min)



#### HIETOGRAMA DE PRECIPITACION DE DISEÑO

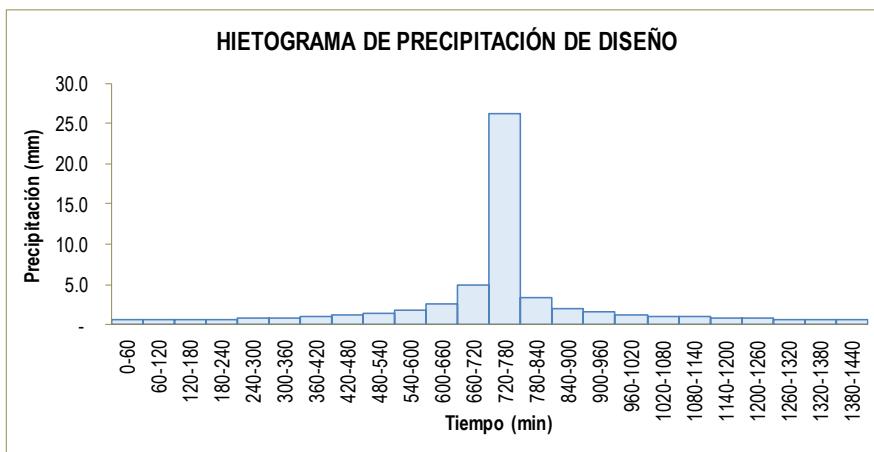
**K =** 90.791  
**T =** 50  
**m =** 0.4679  
**n =** 0.750

$$I = \frac{300.306 \times T^{0.2180}}{D^{0.751}}$$

METODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDA ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	26.261	26.261	26.261	0-60	0.615
120	15.615	31.230	4.969	60-120	0.658
180	11.521	34.562	3.332	120-180	0.708
240	9.285	37.139	2.577	180-240	0.767
300	7.854	39.270	2.131	240-300	0.841
360	6.850	41.101	1.831	300-360	0.932
420	6.102	42.716	1.615	360-420	1.052
480	5.521	44.166	1.450	420-480	1.214
540	5.054	45.486	1.320	480-540	1.450
600	4.670	46.700	1.214	540-600	1.831
660	4.348	47.826	1.126	600-660	2.577
720	4.073	48.878	1.052	660-720	4.969
780	3.836	49.866	0.988	720-780	26.261
840	3.628	50.798	0.932	780-840	3.332
900	3.445	51.682	0.884	840-900	2.131
960	3.283	52.523	0.841	900-960	1.615
1020	3.137	53.325	0.802	960-1020	1.320
1080	3.005	54.092	0.767	1020-1080	1.126
1140	2.886	54.829	0.736	1080-1140	0.988
1200	2.777	55.536	0.708	1140-1200	0.884
1260	2.677	56.218	0.682	1200-1260	0.802
1320	2.585	56.875	0.658	1260-1320	0.736
1380	2.500	57.511	0.636	1320-1380	0.682
1440	2.422	58.126	0.615	1380-1440	0.636

#### CURVA INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA

I: Intensidad máxima (mm/h)  
 T: Período de retorno en años = 50.00 años  
 t: Duración de la precipitación (min)



### HIETOGRAMA DE PRECIPITACION DE DISEÑO

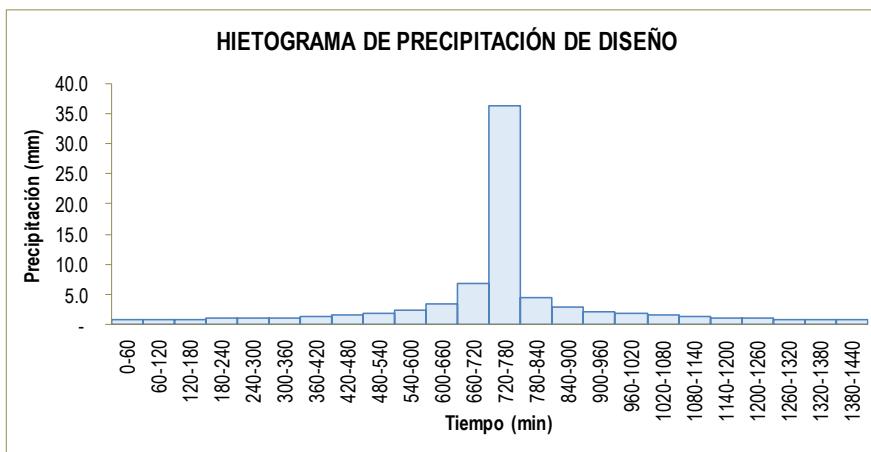
**K =** 90.791  
**T =** **100**  
**m =** 0.4679  
**n =** 0.750

$$I = \frac{300.306 \times T^{0.2180}}{D^{0.751}}$$

METODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDA ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	36.321	36.321	36.321	0-60	0.851
120	21.597	43.193	6.872	60-120	0.910
180	15.934	47.801	4.608	120-180	0.979
240	12.841	51.366	3.565	180-240	1.061
300	10.863	54.313	2.947	240-300	1.163
360	9.474	56.846	2.533	300-360	1.290
420	8.440	59.079	2.233	360-420	1.455
480	7.636	61.085	2.006	420-480	1.679
540	6.990	62.910	1.825	480-540	2.006
600	6.459	64.589	1.679	540-600	2.533
660	6.013	66.147	1.557	600-660	3.565
720	5.633	67.601	1.455	660-720	6.872
780	5.305	68.968	1.366	720-780	36.321
840	5.018	70.257	1.290	780-840	4.608
900	4.765	71.480	1.222	840-900	2.947
960	4.540	72.642	1.163	900-960	2.233
1020	4.338	73.752	1.109	960-1020	1.825
1080	4.156	74.813	1.061	1020-1080	1.557
1140	3.991	75.831	1.018	1080-1140	1.366
1200	3.841	76.810	0.979	1140-1200	1.222
1260	3.703	77.753	0.943	1200-1260	1.109
1320	3.576	78.662	0.910	1260-1320	1.018
1380	3.458	79.541	0.879	1320-1380	0.943
1440	3.350	80.392	0.851	1380-1440	0.879

### CURVA INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA

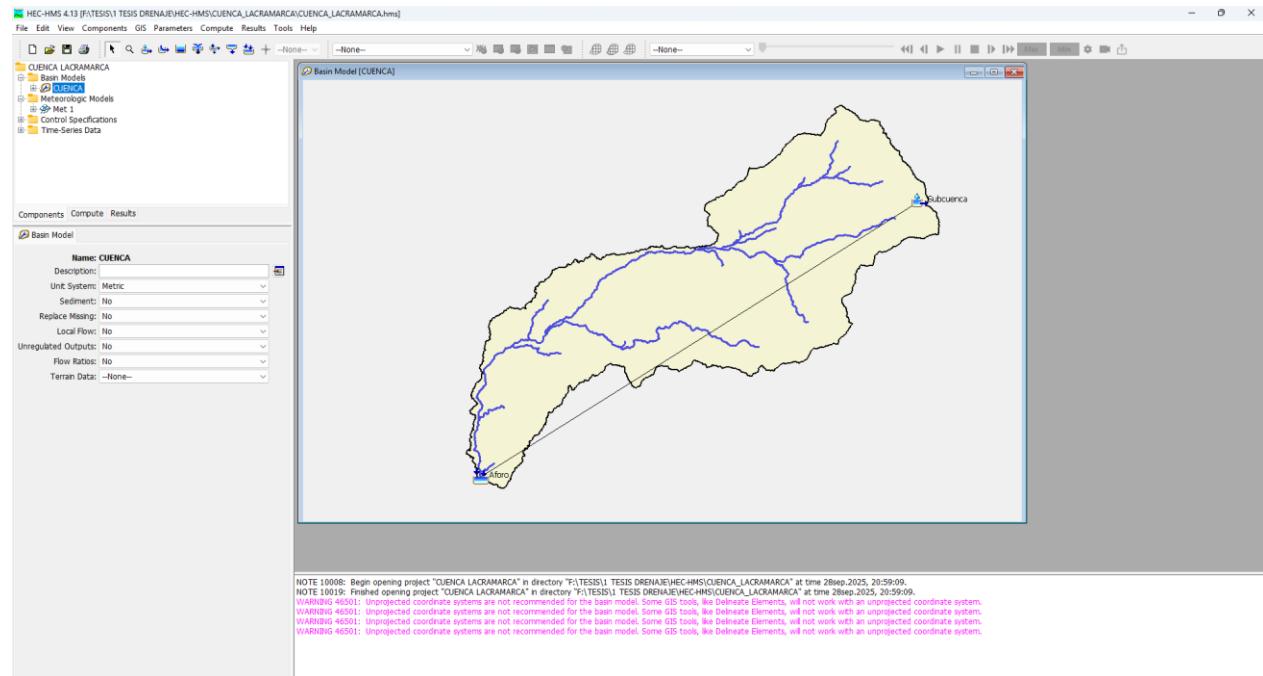
I: Intensidad máxima (mm/h)  
 T: Período de retorno en años = 100.00 años  
 t: Duración de la precipitación (min)



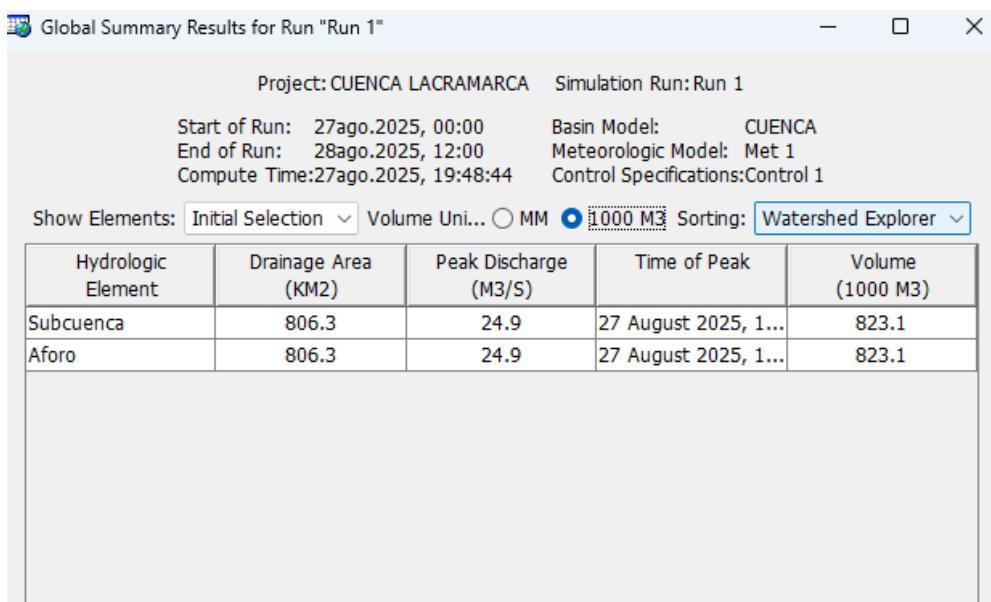
<b>Hietogramas - Modelo Dyck -Peschke</b>						
Duración	Tr = 2 años	Tr = 5 años	Tr = 10 años	Tr = 25 años	Tr = 50 años	Tr = 100 años
60	0.136	0.209	0.290	0.445	0.615	0.851
120	0.146	0.224	0.310	0.475	0.658	0.910
180	0.157	0.241	0.333	0.512	0.708	0.979
240	0.170	0.261	0.361	0.555	0.767	1.061
300	0.186	0.286	0.396	0.608	0.841	1.163
360	0.207	0.318	0.439	0.674	0.932	1.290
420	0.233	0.358	0.495	0.760	1.052	1.455
480	0.269	0.413	0.572	0.878	1.214	1.679
540	0.322	0.494	0.683	1.048	1.450	2.006
600	0.406	0.624	0.862	1.324	1.831	2.533
660	0.572	0.878	1.214	1.863	2.577	3.565
720	1.102	1.692	2.340	3.593	4.969	6.872
780	5.825	8.942	12.368	18.988	26.261	36.321
840	0.739	1.134	1.569	2.409	3.332	4.608
900	0.473	0.726	1.003	1.541	2.131	2.947
960	0.358	0.550	0.761	1.168	1.615	2.233
1020	0.293	0.449	0.622	0.954	1.320	1.825
1080	0.250	0.383	0.530	0.814	1.126	1.557
1140	0.219	0.336	0.465	0.714	0.988	1.366
1200	0.196	0.301	0.416	0.639	0.884	1.222
1260	0.178	0.273	0.378	0.580	0.802	1.109
1320	0.163	0.251	0.347	0.532	0.736	1.018
1380	0.151	0.232	0.321	0.493	0.682	0.943
1440	0.141	0.216	0.299	0.460	0.636	0.879

## Anexo 9

### Análisis Hidráulico de la Cuenca del Río Lacramarca en HEC-HMS

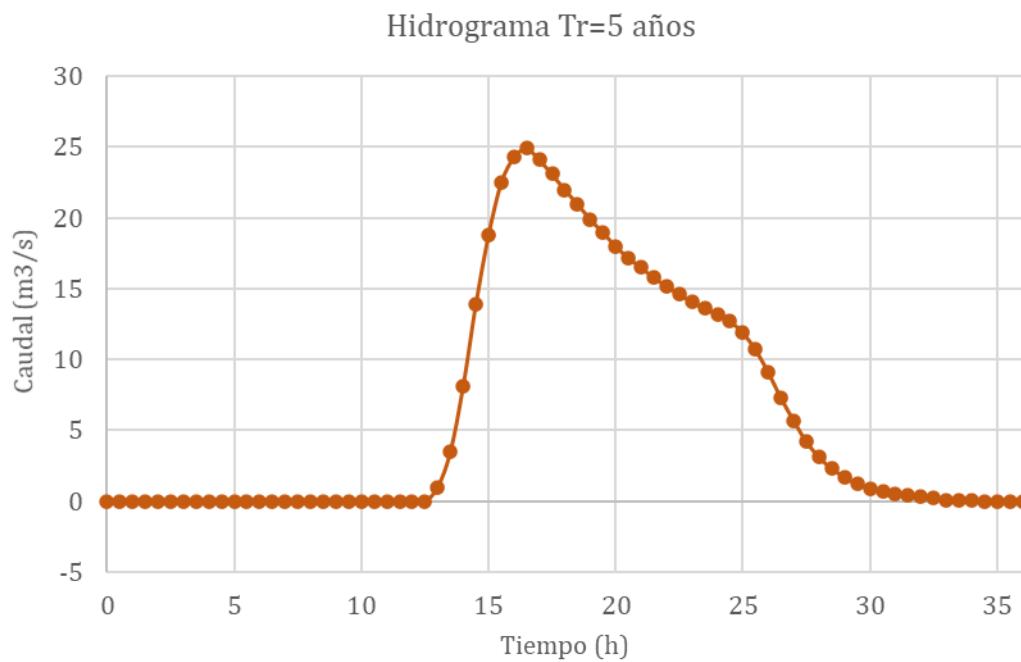
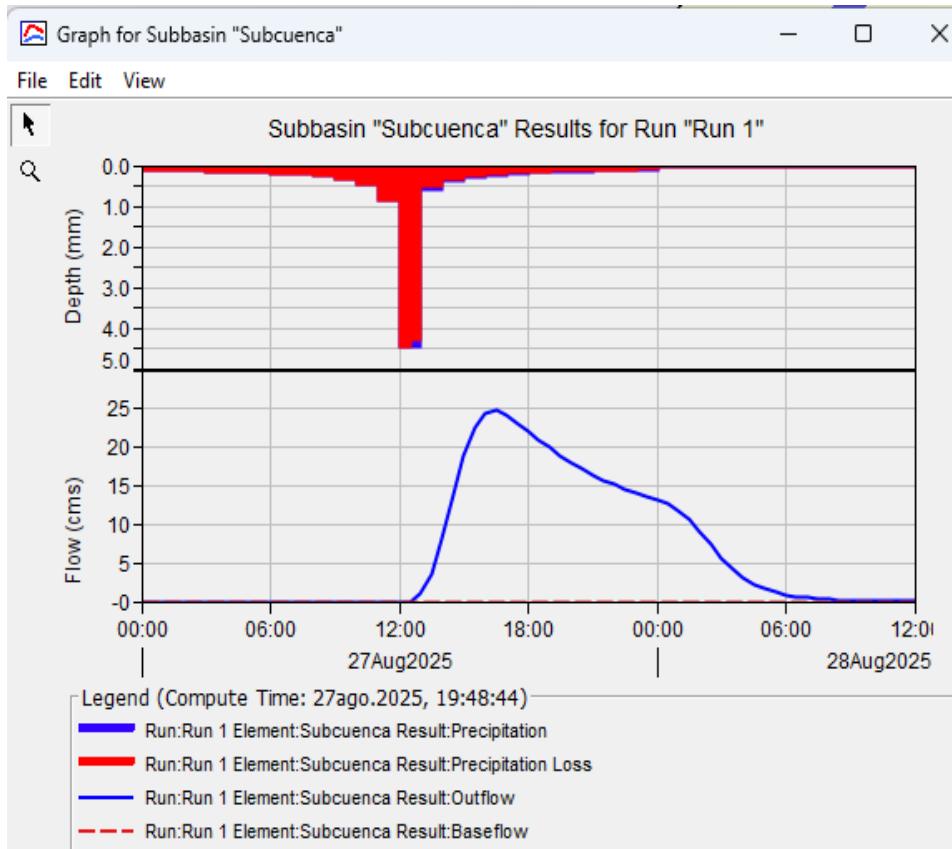


### Resultados para Tr de 5 años



Fecha	Hora	Precipitación (mm)	Pérdida (mm)	Excedente (mm)	Caudal Directo (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Base (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Total (m <sup>3</sup> /s)
27ago.2025	00:00				0	0	0
27ago.2025	00:30	0.1	0.1	0	0	0	0
27ago.2025	01:00	0.1	0.1	0	0	0	0
27ago.2025	01:30	0.11	0.11	0	0	0	0
27ago.2025	02:00	0.11	0.11	0	0	0	0
27ago.2025	02:30	0.12	0.12	0	0	0	0
27ago.2025	03:00	0.12	0.12	0	0	0	0
27ago.2025	03:30	0.13	0.13	0	0	0	0
27ago.2025	04:00	0.13	0.13	0	0	0	0
27ago.2025	04:30	0.14	0.14	0	0	0	0
27ago.2025	05:00	0.14	0.14	0	0	0	0
27ago.2025	05:30	0.16	0.16	0	0	0	0
27ago.2025	06:00	0.16	0.16	0	0	0	0
27ago.2025	06:30	0.18	0.18	0	0	0	0
27ago.2025	07:00	0.18	0.18	0	0	0	0
27ago.2025	07:30	0.21	0.21	0	0	0	0
27ago.2025	08:00	0.21	0.21	0	0	0	0
27ago.2025	08:30	0.25	0.25	0	0	0	0
27ago.2025	09:00	0.25	0.25	0	0	0	0
27ago.2025	09:30	0.31	0.31	0	0	0	0
27ago.2025	10:00	0.31	0.31	0	0	0	0
27ago.2025	10:30	0.44	0.44	0	0	0	0
27ago.2025	11:00	0.44	0.44	0	0	0	0
27ago.2025	11:30	0.85	0.85	0	0	0	0
27ago.2025	12:00	0.85	0.85	0	0	0	0
27ago.2025	12:30	4.47	4.47	0	0	0	0
27ago.2025	13:00	4.47	4.29	0.18	1	0	1
27ago.2025	13:30	0.57	0.5	0.07	3.5	0	3.5
27ago.2025	14:00	0.57	0.49	0.07	8.1	0	8.1
27ago.2025	14:30	0.36	0.31	0.05	13.9	0	13.9
27ago.2025	15:00	0.36	0.31	0.06	18.8	0	18.8
27ago.2025	15:30	0.28	0.23	0.04	22.5	0	22.5
27ago.2025	16:00	0.28	0.23	0.05	24.3	0	24.3
27ago.2025	16:30	0.22	0.18	0.04	24.9	0	24.9
27ago.2025	17:00	0.22	0.18	0.04	24.1	0	24.1
27ago.2025	17:30	0.19	0.16	0.04	23.1	0	23.1

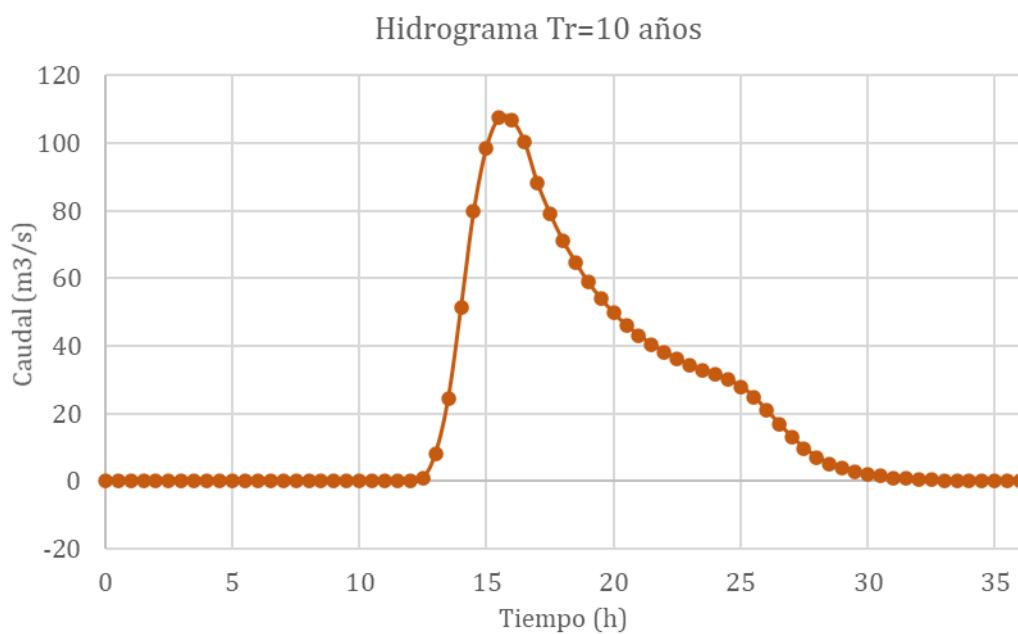
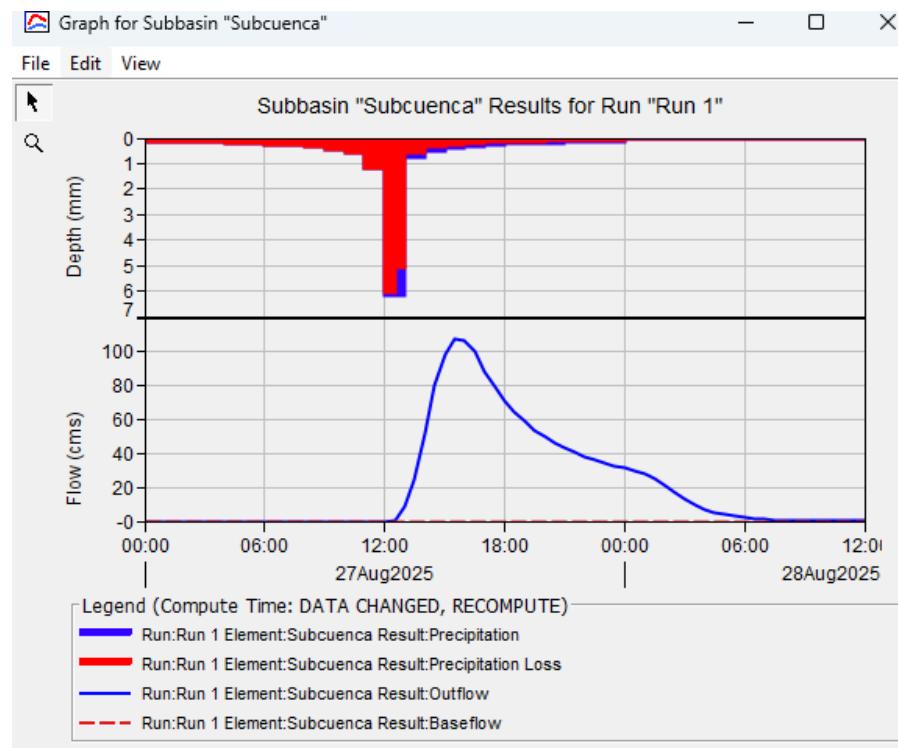
27ago.2025	18:00	0.19	0.15	0.04	22	0	22
27ago.2025	18:30	0.17	0.13	0.03	21	0	21
27ago.2025	19:00	0.17	0.13	0.03	19.9	0	19.9
27ago.2025	19:30	0.15	0.12	0.03	19	0	19
27ago.2025	20:00	0.15	0.12	0.03	18	0	18
27ago.2025	20:30	0.14	0.11	0.03	17.2	0	17.2
27ago.2025	21:00	0.14	0.11	0.03	16.5	0	16.5
27ago.2025	21:30	0.13	0.1	0.03	15.8	0	15.8
27ago.2025	22:00	0.13	0.1	0.03	15.2	0	15.2
27ago.2025	22:30	0.12	0.09	0.03	14.6	0	14.6
27ago.2025	23:00	0.12	0.09	0.03	14.1	0	14.1
27ago.2025	23:30	0.11	0.08	0.02	13.6	0	13.6
28ago.2025	00:00	0.11	0.08	0.03	13.2	0	13.2
28ago.2025	00:30	0	0	0	12.7	0	12.7
28ago.2025	01:00	0	0	0	11.9	0	11.9
28ago.2025	01:30	0	0	0	10.7	0	10.7
28ago.2025	02:00	0	0	0	9.1	0	9.1
28ago.2025	02:30	0	0	0	7.3	0	7.3
28ago.2025	03:00	0	0	0	5.7	0	5.7
28ago.2025	03:30	0	0	0	4.2	0	4.2
28ago.2025	04:00	0	0	0	3.1	0	3.1
28ago.2025	04:30	0	0	0	2.3	0	2.3
28ago.2025	05:00	0	0	0	1.7	0	1.7
28ago.2025	05:30	0	0	0	1.2	0	1.2
28ago.2025	06:00	0	0	0	0.9	0	0.9
28ago.2025	06:30	0	0	0	0.7	0	0.7
28ago.2025	07:00	0	0	0	0.5	0	0.5
28ago.2025	07:30	0	0	0	0.4	0	0.4
28ago.2025	08:00	0	0	0	0.3	0	0.3
28ago.2025	08:30	0	0	0	0.2	0	0.2
28ago.2025	09:00	0	0	0	0.1	0	0.1
28ago.2025	09:30	0	0	0	0.1	0	0.1
28ago.2025	10:00	0	0	0	0.1	0	0.1
28ago.2025	10:30	0	0	0	0	0	0
28ago.2025	11:00	0	0	0	0	0	0
28ago.2025	11:30	0	0	0	0	0	0
28ago.2025	12:00	0	0	0	0	0	0



## Resultados para Tr de 10 años

Global Summary Results for Run "Run 1"				
Project: CUENCA LACRAMARCA		Simulation Run: Run 1		
Start of Run: 27ago.2025, 00:00		Basin Model: CUENCA		
End of Run: 28ago.2025, 12:00		Meteorologic Model: Met 1		
Compute Time: 27ago.2025, 19:51:49		Control Specifications: Control 1		
Show Elements: All Elements		Volume Units: <input type="radio"/> MM <input checked="" type="radio"/> 1000 M3	Sorting: Watershed Explorer	
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Subcuenca	806.3	107.5	27 August 2025, 1...	2730.9
Aforo	806.3	107.5	27 August 2025, 1...	2730.9

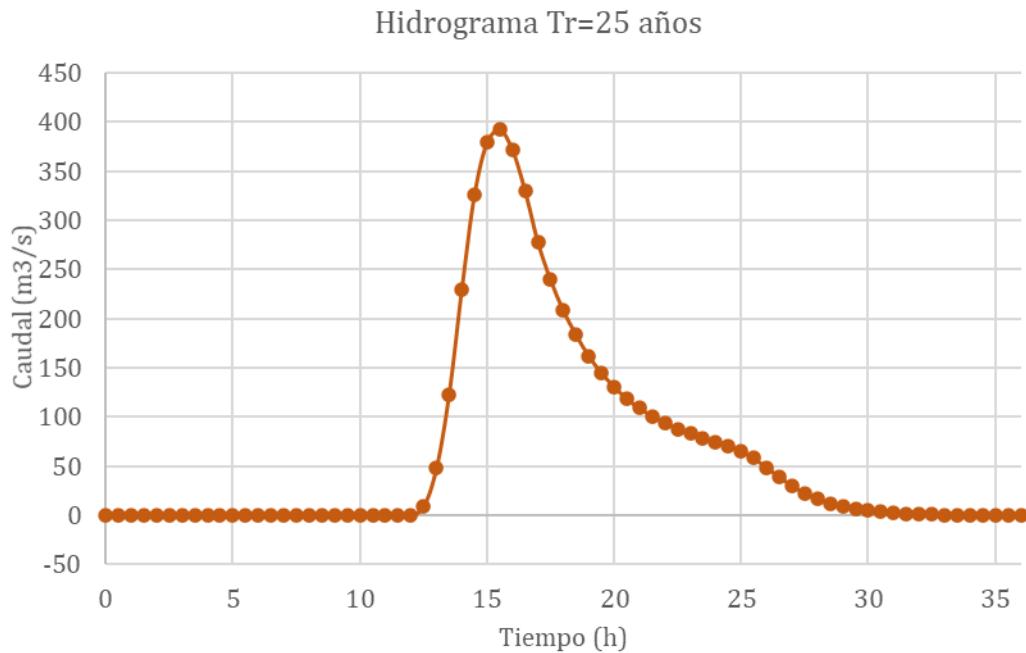
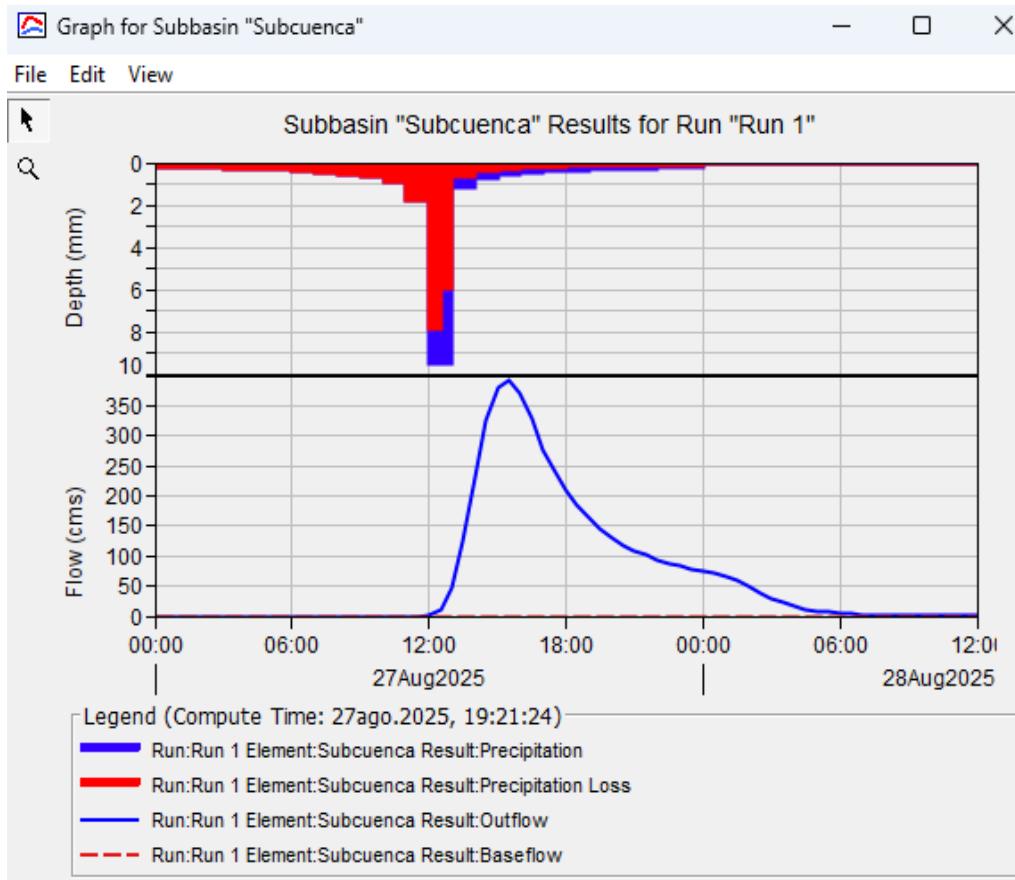
Fecha	Hora	Precipitación (mm)	Pérdida (mm)	Excedente (mm)	Caudal Directo (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Base (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Total (m <sup>3</sup> /s)
27ago.2025	00:00				0	0	0
27ago.2025	00:30	0.14	0.14	0	0	0	0
27ago.2025	01:00	0.14	0.14	0	0	0	0
27ago.2025	01:30	0.15	0.15	0	0	0	0
27ago.2025	02:00	0.15	0.15	0	0	0	0
27ago.2025	02:30	0.17	0.17	0	0	0	0
27ago.2025	03:00	0.17	0.17	0	0	0	0
27ago.2025	03:30	0.18	0.18	0	0	0	0
27ago.2025	04:00	0.18	0.18	0	0	0	0
27ago.2025	04:30	0.2	0.2	0	0	0	0
27ago.2025	05:00	0.2	0.2	0	0	0	0
27ago.2025	05:30	0.22	0.22	0	0	0	0
27ago.2025	06:00	0.22	0.22	0	0	0	0
27ago.2025	06:30	0.25	0.25	0	0	0	0
27ago.2025	07:00	0.25	0.25	0	0	0	0
27ago.2025	07:30	0.29	0.29	0	0	0	0
27ago.2025	08:00	0.29	0.29	0	0	0	0
27ago.2025	08:30	0.34	0.34	0	0	0	0
27ago.2025	09:00	0.34	0.34	0	0	0	0
27ago.2025	09:30	0.43	0.43	0	0	0	0
27ago.2025	10:00	0.43	0.43	0	0	0	0
27ago.2025	10:30	0.61	0.61	0	0	0	0
27ago.2025	11:00	0.61	0.61	0	0	0	0
27ago.2025	11:30	1.17	1.17	0	0	0	0
27ago.2025	12:00	1.17	1.17	0	0	0	0
27ago.2025	12:30	6.18	6.05	0.14	0.8	0	0.8
27ago.2025	13:00	6.18	5.09	1.09	8.3	0	8.3
27ago.2025	13:30	0.78	0.58	0.21	24.6	0	24.6
27ago.2025	14:00	0.78	0.57	0.22	51.5	0	51.5
27ago.2025	14:30	0.5	0.36	0.15	79.8	0	79.8
27ago.2025	15:00	0.5	0.35	0.15	98.6	0	98.6
27ago.2025	15:30	0.38	0.26	0.12	107.5	0	107.5
27ago.2025	16:00	0.38	0.26	0.12	106.8	0	106.8
27ago.2025	16:30	0.31	0.21	0.1	100.2	0	100.2
27ago.2025	17:00	0.31	0.21	0.1	88.2	0	88.2
27ago.2025	17:30	0.27	0.18	0.09	79.1	0	79.1



## Resultados para Tr de 25 años

Project: CUENCA LACRAMARCA		Simulation Run: Run 1	
Start of Run:	27ago.2025, 00:00	Basin Model:	CUENCA
End of Run:	28ago.2025, 12:00	Meteorologic Model:	Met 1
Compute Time:	27ago.2025, 19:21:24	Control Specifications:	Control 1
Show Elements:	Initial Selection	Volume Uni... <input type="radio"/> MM <input checked="" type="radio"/> 1000 M <sup>3</sup>	Sorting: Watershed Explorer
Hydrologic Element	Drainage Area (KM <sup>2</sup> )	Peak Discharge (M <sup>3</sup> /S)	Time of Peak
Subcuenca	806.3	392.5	27 August 2025, 1...
Aforo	806.3	392.5	27 August 2025, 1...

Fecha	Hora	Precipitación (mm)	Pérdida (mm)	Excedente (mm)	Caudal Directo (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Base (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Total (m <sup>3</sup> /s)
27ago.2025	00:00				0	0	0
27ago.2025	00:30	0.22	0.22	0	0	0	0
27ago.2025	01:00	0.22	0.22	0	0	0	0
27ago.2025	01:30	0.24	0.24	0	0	0	0
27ago.2025	02:00	0.24	0.24	0	0	0	0
27ago.2025	02:30	0.26	0.26	0	0	0	0
27ago.2025	03:00	0.26	0.26	0	0	0	0
27ago.2025	03:30	0.28	0.28	0	0	0	0
27ago.2025	04:00	0.28	0.28	0	0	0	0
27ago.2025	04:30	0.3	0.3	0	0	0	0
27ago.2025	05:00	0.3	0.3	0	0	0	0
27ago.2025	05:30	0.34	0.34	0	0	0	0
27ago.2025	06:00	0.34	0.34	0	0	0	0
27ago.2025	06:30	0.38	0.38	0	0	0	0
27ago.2025	07:00	0.38	0.38	0	0	0	0
27ago.2025	07:30	0.44	0.44	0	0	0	0
27ago.2025	08:00	0.44	0.44	0	0	0	0
27ago.2025	08:30	0.52	0.52	0	0	0	0
27ago.2025	09:00	0.52	0.52	0	0	0	0
27ago.2025	09:30	0.66	0.66	0	0	0	0
27ago.2025	10:00	0.66	0.66	0	0	0	0
27ago.2025	10:30	0.93	0.93	0	0	0	0
27ago.2025	11:00	0.93	0.93	0	0	0	0
27ago.2025	11:30	1.8	1.8	0	0	0	0
27ago.2025	12:00	1.8	1.77	0.02	0.1	0	0.1
27ago.2025	12:30	9.49	7.86	1.63	9.3	0	9.3
27ago.2025	13:00	9.49	5.95	3.55	47.8	0	47.8
27ago.2025	13:30	1.2	0.65	0.55	122.8	0	122.8
27ago.2025	14:00	1.2	0.63	0.57	229.8	0	229.8
27ago.2025	14:30	0.77	0.4	0.38	326.5	0	326.5
27ago.2025	15:00	0.77	0.39	0.38	379.9	0	379.9
27ago.2025	15:30	0.58	0.29	0.29	392.5	0	392.5
27ago.2025	16:00	0.58	0.29	0.3	371.5	0	371.5
27ago.2025	16:30	0.48	0.23	0.25	329.5	0	329.5
27ago.2025	17:00	0.48	0.23	0.25	277.6	0	277.6
27ago.2025	17:30	0.41	0.19	0.22	239.4	0	239.4

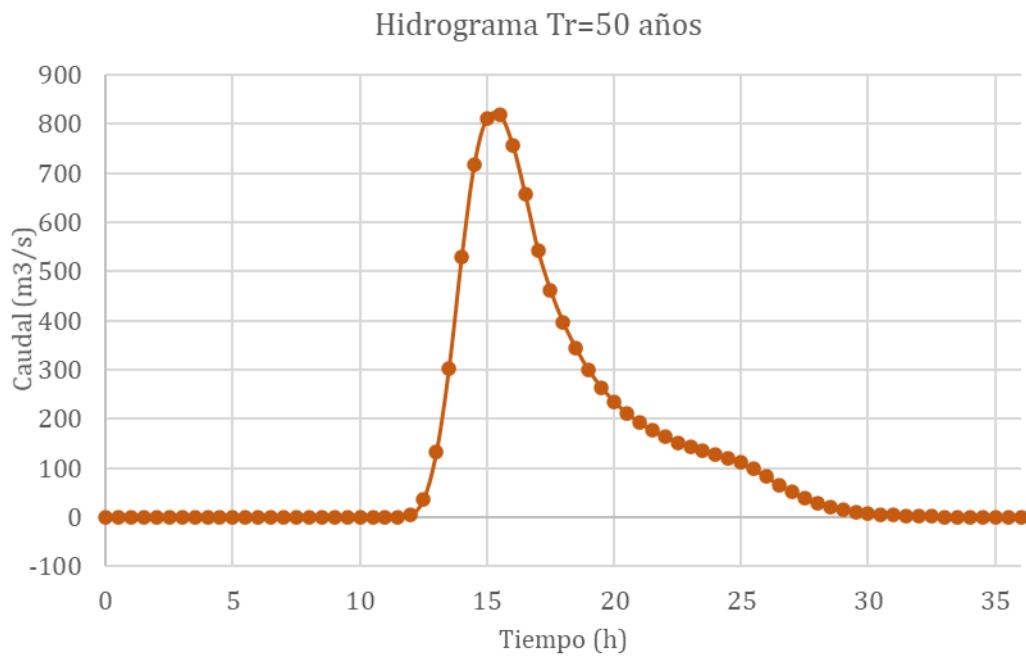


Para un Tr de 50 años

Project: CUENCA LACRAMARCA		Simulation Run: Run 1		
Start of Run:	27ago.2025, 00:00	Basin Model:	CUENCA	
End of Run:	28ago.2025, 12:00	Meteorologic Model:	Met 1	
Compute Time:	27ago.2025, 19:59:34	Control Specifications:	Control 1	
Show Elements:	All Elements	Volume Units:	<input type="radio"/> MM <input checked="" type="radio"/> 1000 M3 Sorting: Watershed Explorer	
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Subcuenca	806.3	817.9	27 August 2025, 1...	16730.0
Aforo	806.3	817.9	27 August 2025, 1...	16730.0

Fecha	Hora	Precipitación (mm)	Pérdida (mm)	Excedente (mm)	Caudal Directo (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Base (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Total (m <sup>3</sup> /s)
27ago.2025	00:00				0	0	0
27ago.2025	00:30	0.31	0.31	0	0	0	0
27ago.2025	01:00	0.31	0.31	0	0	0	0
27ago.2025	01:30	0.33	0.33	0	0	0	0
27ago.2025	02:00	0.33	0.33	0	0	0	0
27ago.2025	02:30	0.35	0.35	0	0	0	0
27ago.2025	03:00	0.35	0.35	0	0	0	0
27ago.2025	03:30	0.38	0.38	0	0	0	0
27ago.2025	04:00	0.38	0.38	0	0	0	0
27ago.2025	04:30	0.42	0.42	0	0	0	0
27ago.2025	05:00	0.42	0.42	0	0	0	0
27ago.2025	05:30	0.47	0.47	0	0	0	0
27ago.2025	06:00	0.47	0.47	0	0	0	0
27ago.2025	06:30	0.53	0.53	0	0	0	0
27ago.2025	07:00	0.53	0.53	0	0	0	0
27ago.2025	07:30	0.61	0.61	0	0	0	0
27ago.2025	08:00	0.61	0.61	0	0	0	0
27ago.2025	08:30	0.72	0.72	0	0	0	0
27ago.2025	09:00	0.72	0.72	0	0	0	0
27ago.2025	09:30	0.92	0.92	0	0	0	0
27ago.2025	10:00	0.92	0.92	0	0	0	0
27ago.2025	10:30	1.29	1.29	0	0	0	0
27ago.2025	11:00	1.29	1.27	0.02	0.1	0	0.1
27ago.2025	11:30	2.48	2.3	0.19	1.3	0	1.3
27ago.2025	12:00	2.48	2.12	0.36	5.8	0	5.8
27ago.2025	12:30	13.13	8.93	4.2	36.9	0	36.9
27ago.2025	13:00	13.13	6.33	6.8	132.6	0	132.6
27ago.2025	13:30	1.67	0.67	0.99	303.5	0	303.5
27ago.2025	14:00	1.67	0.65	1.02	529.3	0	529.3
27ago.2025	14:30	1.07	0.4	0.66	718.6	0	718.6
27ago.2025	15:00	1.07	0.39	0.67	812	0	812
27ago.2025	15:30	0.81	0.29	0.51	817.9	0	817.9
27ago.2025	16:00	0.81	0.29	0.52	757.3	0	757.3
27ago.2025	16:30	0.66	0.23	0.43	656.2	0	656.2
27ago.2025	17:00	0.66	0.23	0.43	543.3	0	543.3
27ago.2025	17:30	0.56	0.19	0.37	461.1	0	461.1

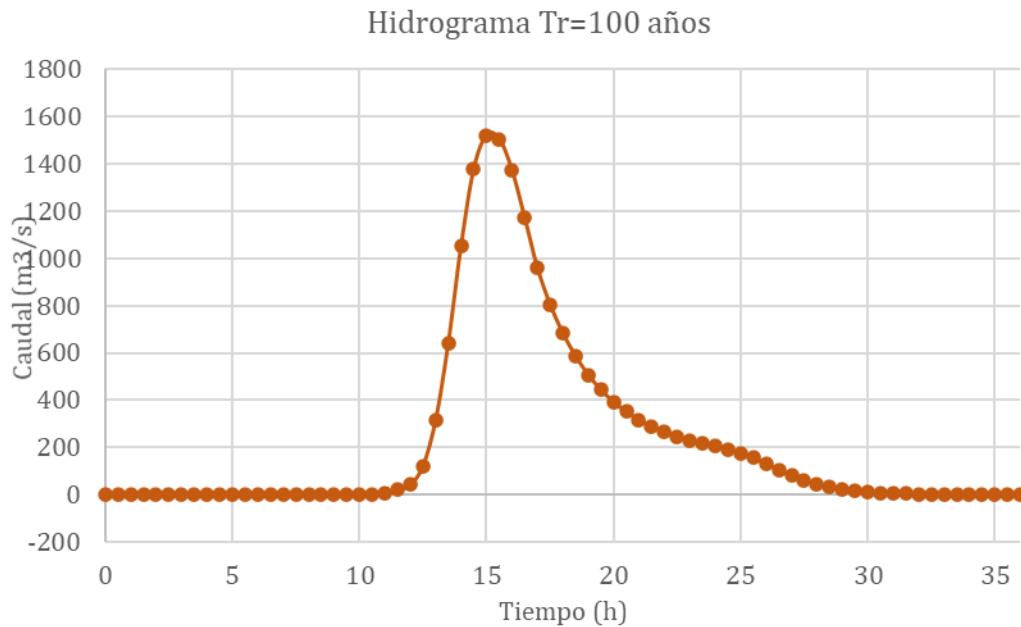
27ago.2025	18:00	0.56	0.19	0.37	395.8	0	395.8
27ago.2025	18:30	0.49	0.17	0.33	343.7	0	343.7
27ago.2025	19:00	0.49	0.16	0.33	299.3	0	299.3
27ago.2025	19:30	0.44	0.15	0.3	264.8	0	264.8
27ago.2025	20:00	0.44	0.14	0.3	235.8	0	235.8
27ago.2025	20:30	0.4	0.13	0.27	212.4	0	212.4
27ago.2025	21:00	0.4	0.13	0.27	193.2	0	193.2
27ago.2025	21:30	0.37	0.12	0.25	177.4	0	177.4
27ago.2025	22:00	0.37	0.12	0.25	164	0	164
27ago.2025	22:30	0.34	0.11	0.23	152.8	0	152.8
27ago.2025	23:00	0.34	0.11	0.23	143.2	0	143.2
27ago.2025	23:30	0.32	0.1	0.22	135.2	0	135.2
28ago.2025	00:00	0.32	0.1	0.22	128.1	0	128.1
28ago.2025	00:30	0	0	0	120.6	0	120.6
28ago.2025	01:00	0	0	0	111.3	0	111.3
28ago.2025	01:30	0	0	0	98.4	0	98.4
28ago.2025	02:00	0	0	0	82.7	0	82.7
28ago.2025	02:30	0	0	0	66.7	0	66.7
28ago.2025	03:00	0	0	0	51.4	0	51.4
28ago.2025	03:30	0	0	0	38.3	0	38.3
28ago.2025	04:00	0	0	0	27.8	0	27.8
28ago.2025	04:30	0	0	0	20.4	0	20.4
28ago.2025	05:00	0	0	0	15.1	0	15.1
28ago.2025	05:30	0	0	0	11.1	0	11.1
28ago.2025	06:00	0	0	0	8.1	0	8.1
28ago.2025	06:30	0	0	0	6	0	6
28ago.2025	07:00	0	0	0	4.3	0	4.3
28ago.2025	07:30	0	0	0	3.2	0	3.2
28ago.2025	08:00	0	0	0	2.3	0	2.3
28ago.2025	08:30	0	0	0	1.7	0	1.7
28ago.2025	09:00	0	0	0	1.2	0	1.2
28ago.2025	09:30	0	0	0	0.8	0	0.8
28ago.2025	10:00	0	0	0	0.6	0	0.6
28ago.2025	10:30	0	0	0	0.4	0	0.4
28ago.2025	11:00	0	0	0	0.3	0	0.3
28ago.2025	11:30	0	0	0	0.2	0	0.2
28ago.2025	12:00	0	0	0	0.1	0	0.1



Para un Tr de 100 años

Fecha	Hora	Precipitación (mm)	Pérdida (mm)	Excedente (mm)	Caudal Directo (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Base (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Total (m <sup>3</sup> /s)
27ago.2025	00:00				0	0	0
27ago.2025	00:30	0.43	0.43	0	0	0	0
27ago.2025	01:00	0.43	0.43	0	0	0	0
27ago.2025	01:30	0.46	0.46	0	0	0	0
27ago.2025	02:00	0.46	0.46	0	0	0	0
27ago.2025	02:30	0.49	0.49	0	0	0	0
27ago.2025	03:00	0.49	0.49	0	0	0	0
27ago.2025	03:30	0.53	0.53	0	0	0	0
27ago.2025	04:00	0.53	0.53	0	0	0	0
27ago.2025	04:30	0.58	0.58	0	0	0	0
27ago.2025	05:00	0.58	0.58	0	0	0	0
27ago.2025	05:30	0.65	0.65	0	0	0	0
27ago.2025	06:00	0.65	0.65	0	0	0	0
27ago.2025	06:30	0.73	0.73	0	0	0	0
27ago.2025	07:00	0.73	0.73	0	0	0	0
27ago.2025	07:30	0.84	0.84	0	0	0	0
27ago.2025	08:00	0.84	0.84	0	0	0	0
27ago.2025	08:30	1	1	0	0	0	0
27ago.2025	09:00	1	1	0	0	0	0
27ago.2025	09:30	1.27	1.25	0.02	0.1	0	0.1
27ago.2025	10:00	1.27	1.19	0.07	0.7	0	0.7
27ago.2025	10:30	1.78	1.6	0.18	2.9	0	2.9
27ago.2025	11:00	1.78	1.51	0.27	8.3	0	8.3
27ago.2025	11:30	3.44	2.68	0.75	20.5	0	20.5
27ago.2025	12:00	3.44	2.42	1.01	43.7	0	43.7
27ago.2025	12:30	18.16	9.69	8.47	122.2	0	122.2
27ago.2025	13:00	18.16	6.4	11.76	317.5	0	317.5
27ago.2025	13:30	2.3	0.66	1.64	643.5	0	643.5
27ago.2025	14:00	2.3	0.63	1.67	1052.8	0	1052.8
27ago.2025	14:30	1.47	0.39	1.08	1377.7	0	1377.7
27ago.2025	15:00	1.47	0.38	1.09	1521.7	0	1521.7
27ago.2025	15:30	1.12	0.28	0.83	1505.4	0	1505.4
27ago.2025	16:00	1.12	0.28	0.84	1373.4	0	1373.4
27ago.2025	16:30	0.91	0.22	0.69	1172.2	0	1172.2
27ago.2025	17:00	0.91	0.22	0.69	959.7	0	959.7
27ago.2025	17:30	0.78	0.18	0.59	805.7	0	805.7

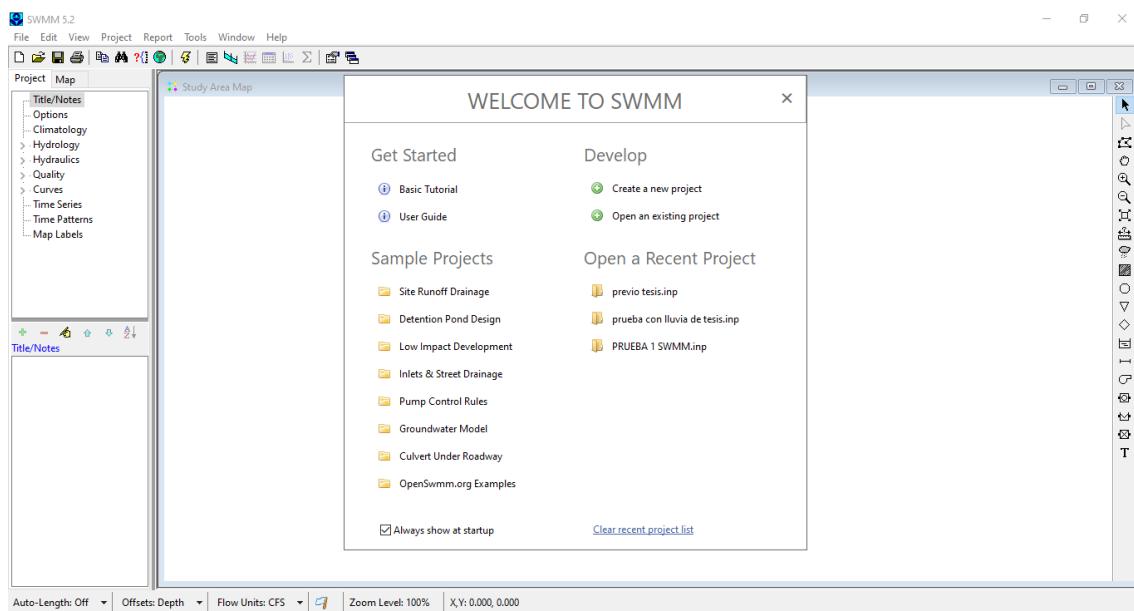
27ago.2025	18:00	0.78	0.18	0.6	684.8	0	684.8
27ago.2025	18:30	0.68	0.16	0.53	588.4	0	588.4
27ago.2025	19:00	0.68	0.16	0.53	507.7	0	507.7
27ago.2025	19:30	0.61	0.14	0.47	445.1	0	445.1
27ago.2025	20:00	0.61	0.14	0.47	393.2	0	393.2
27ago.2025	20:30	0.55	0.12	0.43	351.4	0	351.4
27ago.2025	21:00	0.55	0.12	0.43	317.6	0	317.6
27ago.2025	21:30	0.51	0.11	0.4	289.9	0	289.9
27ago.2025	22:00	0.51	0.11	0.4	266.7	0	266.7
27ago.2025	22:30	0.47	0.1	0.37	247.2	0	247.2
27ago.2025	23:00	0.47	0.1	0.37	230.9	0	230.9
27ago.2025	23:30	0.44	0.09	0.35	217.2	0	217.2
28ago.2025	00:00	0.44	0.09	0.35	205.2	0	205.2
28ago.2025	00:30	0	0	0	192.6	0	192.6
28ago.2025	01:00	0	0	0	177.2	0	177.2
28ago.2025	01:30	0	0	0	156.4	0	156.4
28ago.2025	02:00	0	0	0	131.2	0	131.2
28ago.2025	02:30	0	0	0	105.7	0	105.7
28ago.2025	03:00	0	0	0	81.4	0	81.4
28ago.2025	03:30	0	0	0	60.7	0	60.7
28ago.2025	04:00	0	0	0	44	0	44
28ago.2025	04:30	0	0	0	32.4	0	32.4
28ago.2025	05:00	0	0	0	23.9	0	23.9
28ago.2025	05:30	0	0	0	17.6	0	17.6
28ago.2025	06:00	0	0	0	12.9	0	12.9
28ago.2025	06:30	0	0	0	9.4	0	9.4
28ago.2025	07:00	0	0	0	6.9	0	6.9
28ago.2025	07:30	0	0	0	5	0	5
28ago.2025	08:00	0	0	0	3.6	0	3.6
28ago.2025	08:30	0	0	0	2.6	0	2.6
28ago.2025	09:00	0	0	0	1.9	0	1.9
28ago.2025	09:30	0	0	0	1.3	0	1.3
28ago.2025	10:00	0	0	0	0.9	0	0.9
28ago.2025	10:30	0	0	0	0.6	0	0.6
28ago.2025	11:00	0	0	0	0.4	0	0.4
28ago.2025	11:30	0	0	0	0.2	0	0.2
28ago.2025	12:00	0	0	0	0.1	0	0.1



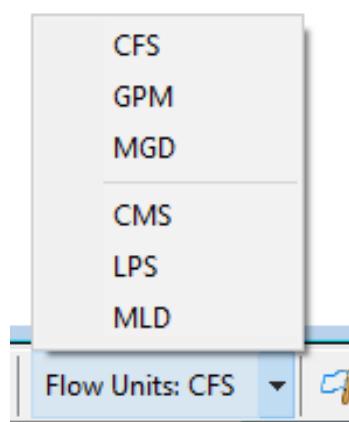
## Anexo 10

### Procedimiento de Simulación de SUDS en SWMM

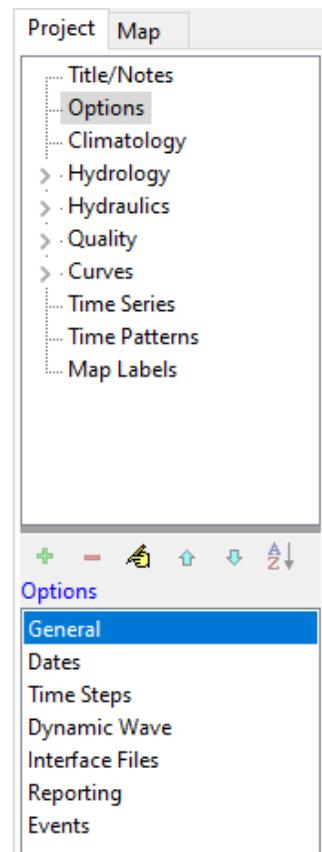
1. Una vez instalado el programa, se abre y se observa la interfaz principal; a continuación, se hace clic en la opción ‘Create a New Project’.



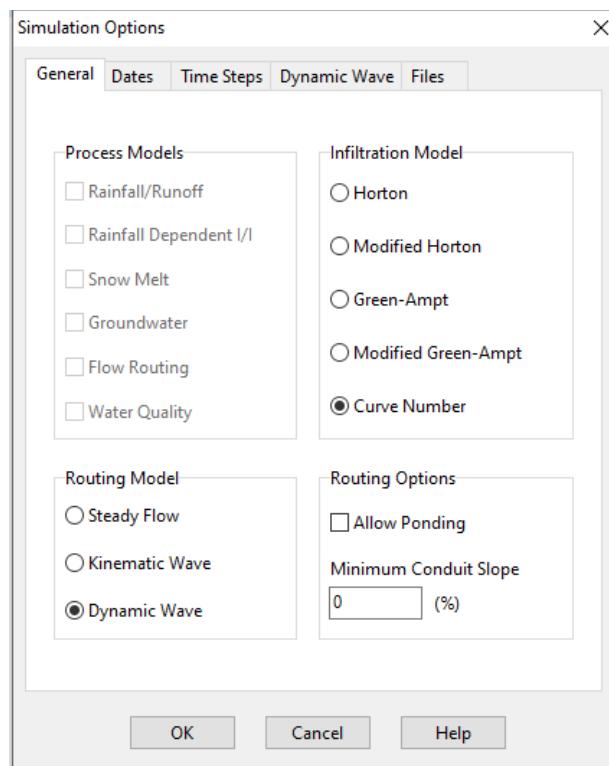
2. Posteriormente, se configuran las unidades de flujo a metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ). Para ello, en la parte inferior de la interfaz se hace clic en la flecha negra ubicada al lado de la opción ‘Flow Units: CFS’. Al desplegarse el cuadro, se selecciona la alternativa ‘CMS’, que corresponde a *Cubic Meters per Second* (metros cúbicos por segundo).



3. Seguidamente, se designa el modelo de infiltración en la parte izquierda de la interfaz, dentro de la sección ‘Project’. Para ello, se hace clic en ‘Options’, desplegándose un cuadro en la parte inferior de la sección, en el cual se da doble clic en ‘General’.



4. Aparece el cuadro ‘*Simulation Options*’, en el cual se selecciona ‘*Curve Number*’, que corresponde al modelo de infiltración del Número de Curva, y ‘*Dynamic Wave*’, que corresponde al modelo de enrutamiento de Onda Dinámica. Finalmente, se hace clic en ‘OK’.

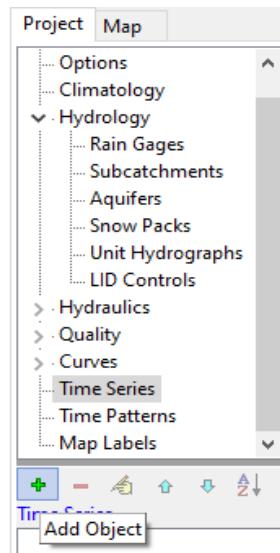


\* Para esta investigación se usó los datos de precipitación para un periodo de retorno de 25 años

Tiempo (h)	Precipitación (mm)
1	2.50
2	2.67
3	2.87
4	3.12
5	3.41
6	3.79
7	4.27
8	4.93
9	5.89
10	7.44
11	10.47
12	20.18
13	106.67
14	13.53
15	8.65
16	6.56
17	5.36
18	4.57
19	4.01
20	3.59
21	3.26
22	2.99

23	2.77	
24	2.58	

5. Se ingresan los datos de precipitación en la sección ‘Project’. Para ello, se da doble clic en ‘Curves’ y se selecciona ‘Time Series’. Luego, se hace clic en el símbolo ‘+’ de color verde.



6. Aparece el cuadro ‘Time Series Editor’, en el cual se escribe el nombre de la precipitación en ‘Time Series Name’. La precipitación se analiza en 24 horas, por lo que en la columna ‘Time (H:M)’ se ingresa desde la hora 1 hasta la hora 24. En la columna ‘Value’ se registran los valores de la precipitación (mm). Finalmente, se hace clic en ‘OK’

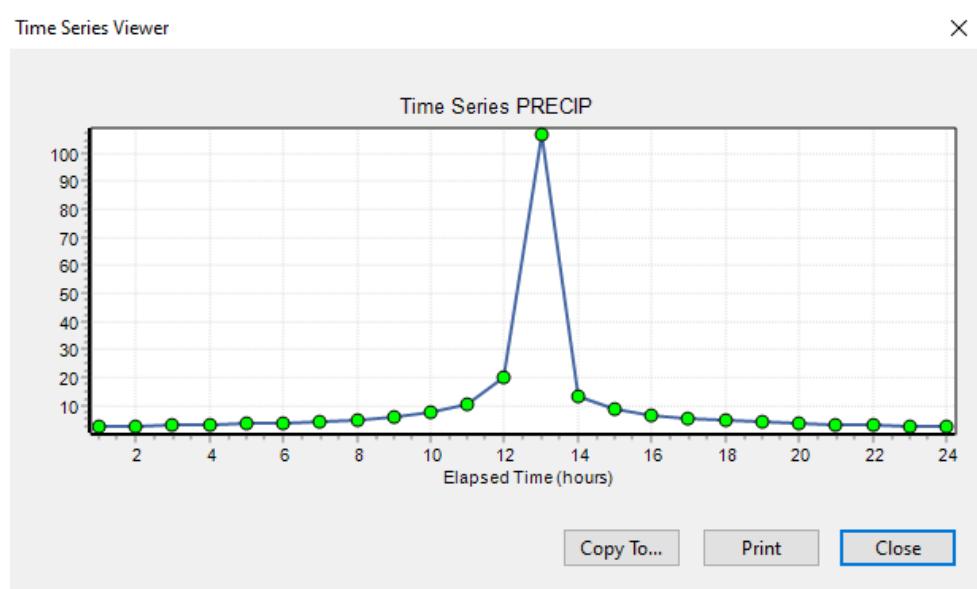
The screenshot shows the 'Time Series Editor' dialog box. In the 'Time Series Name' field, the text 'PRECIP' is entered. The 'Description' field contains a short description. There are two checkboxes: one unchecked for 'Use external data file named below' and one checked for 'Enter time series data in the table below'. Below these, a note states 'No dates means times are relative to start of simulation.' A table is displayed with three columns: 'Date (M/D/Y)', 'Time (H:M)', and 'Value'. The table contains the following data:

Date (M/D/Y)	Time (H:M)	Value
	1:00	2.5
	2:00	2.67
	3:00	2.87
	4:00	3.12
	5:00	3.41
	6:00	3.79
	7:00	4.27
	8:00	4.93
	9:00	5.89
	10:00	7.44
	11:00	10.47

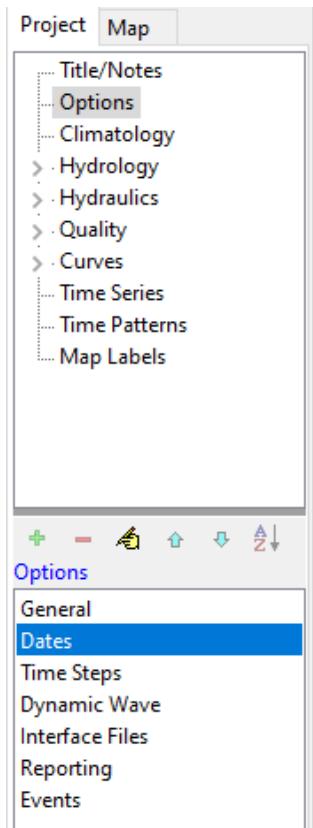
At the bottom right of the dialog box are buttons for 'View', 'OK', 'Cancel', and 'Help'.

\* Cabe mencionar que se puede visualizar el hietograma, dando click en “View”. Para

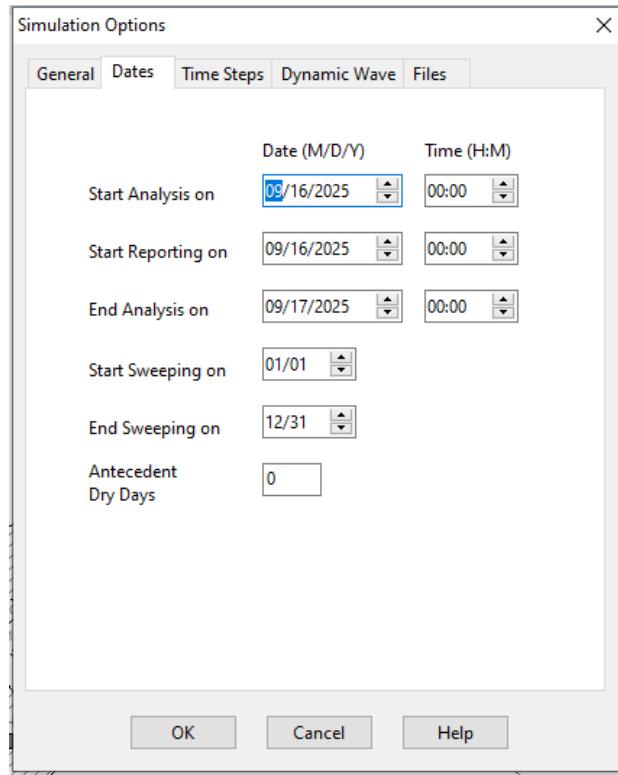
salir del hietograma, dar click en “Close”.



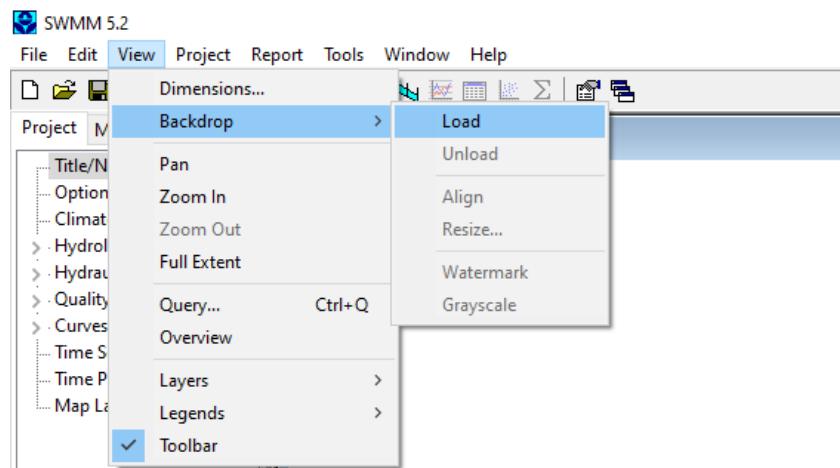
7. Se establece el horario para la simulación en la sección ‘*Project*’. Para ello, se hace clic en ‘*Options*’ y luego se da doble clic en ‘*Dates*’



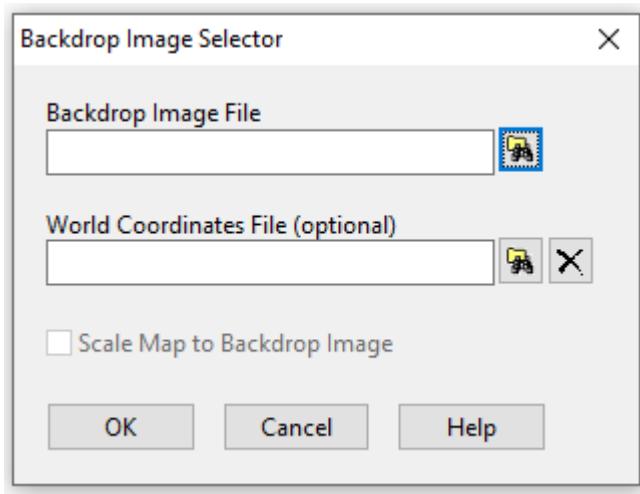
8. Aparece el cuadro ‘*Simulation Options*’, en el cual se edita la fila ‘*End Analysis on*’, que corresponde a la fecha y hora final de la simulación. Para el presente trabajo, al tratarse de un período de 24 horas, la fecha y hora de finalización es el 17/09/2025 a las 00:00.



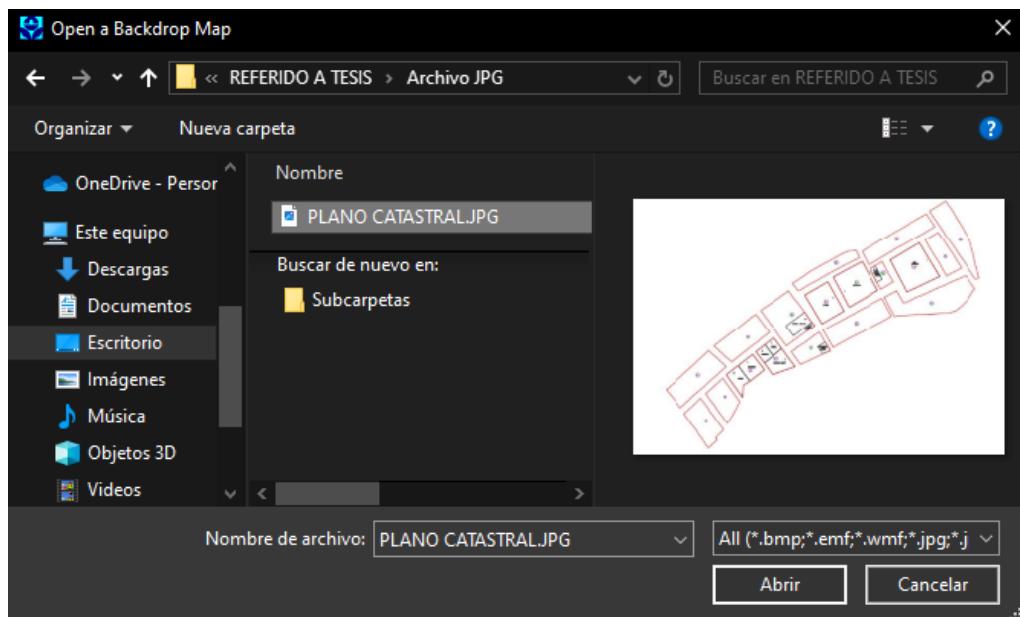
9. Para iniciar el trazado de la red en el programa SWMM, se cuenta con la opción de colocar una imagen de fondo que facilite un mejor dibujo y referencia espacial. En la parte superior de la interfaz, en la barra de menú, se hace clic en ‘View’, luego en ‘Backdrop’ y finalmente se selecciona ‘Load’.



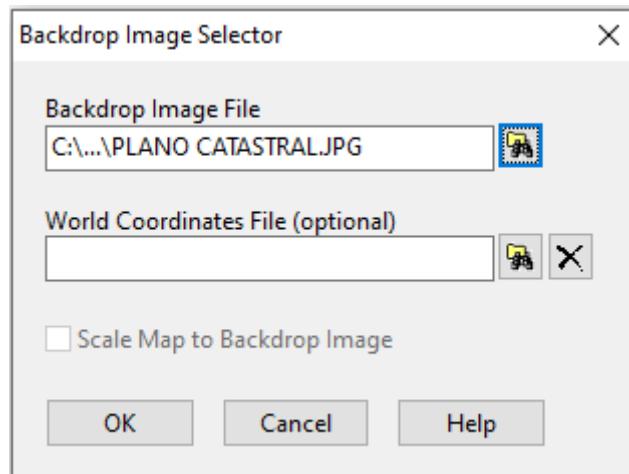
Aparece el cuadro “Backdrop Image Selector”, en la sección “Backdrop Image File” dar click en el símbolo que se encuentra al costado del rectángulo blanco.



Se selecciona la imagen y dar click en “Abrir”.

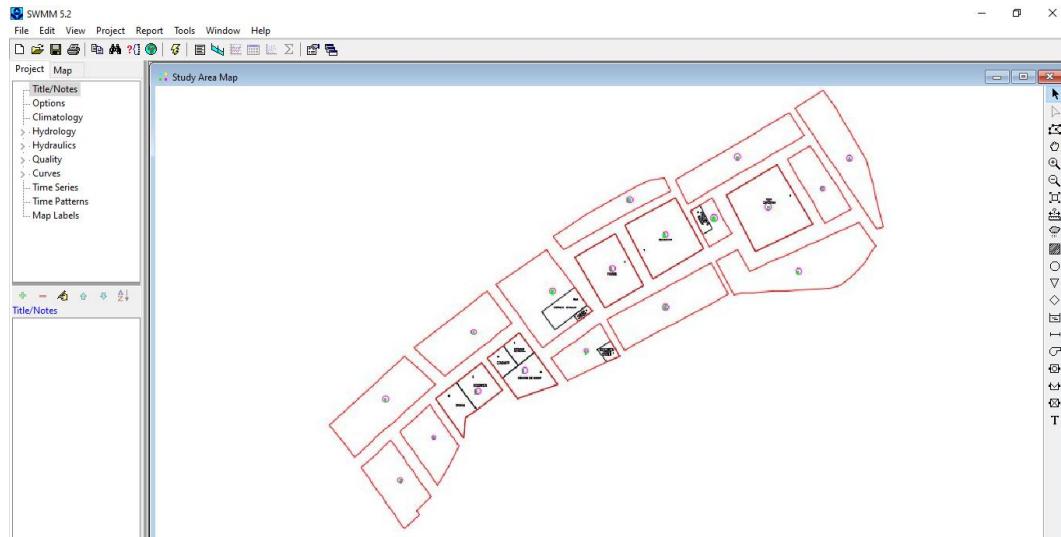


Al ya estar seleccionada la imagen, se da click en “OK”.

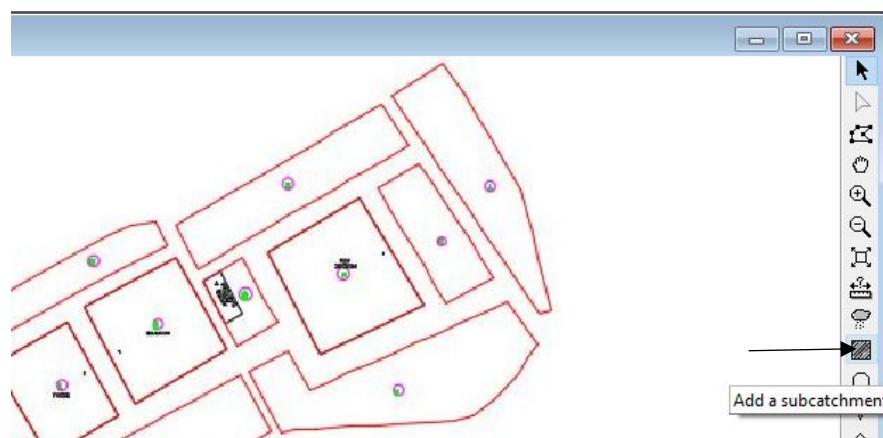


Se visualiza la correcta inserción de la imagen seleccionada. En este caso, se coloca

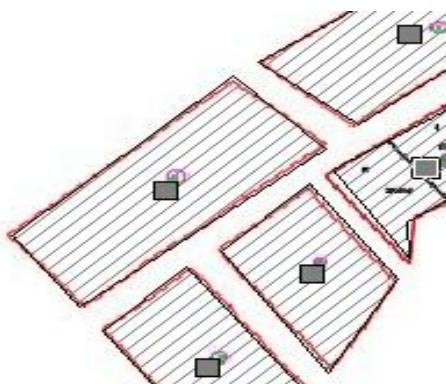
como fondo el plano con las manzanas del C.P. Santa Clemencia, debido a que dichas manzanas representan las subcuenca a analizar.



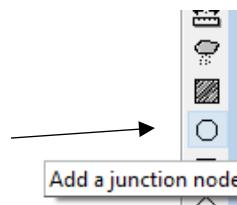
10. Para el trazado de las subcuenca, en la parte derecha de la interfaz se hace clic en el cuadrado de color negro.



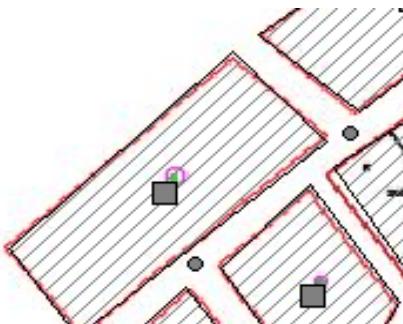
A continuación, se dibuja cada subcuenca con ayuda del plano, haciendo clic en cada punto. Para cerrar la figura de la subcuenca, se utiliza un clic derecho.



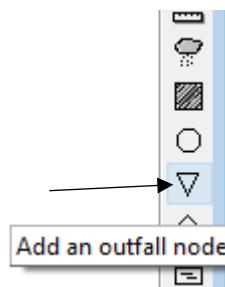
- Para el trazado de los nodos, se hace clic en el ícono de círculo, ubicado debajo del botón de dibujar subcuenca.



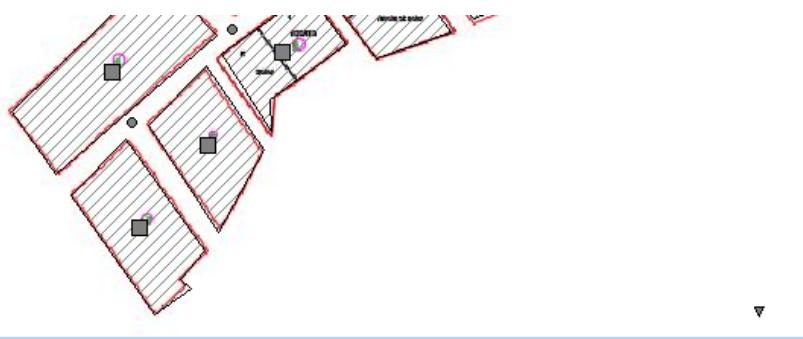
Luego, se insertan los nodos en la ubicación deseada con un solo clic. En este caso, se insertan dos nodos representados por círculos negros.



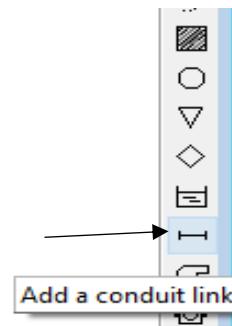
Para el trazado del nodo de desagüe, se hace clic en el símbolo indicado por la flecha negra.



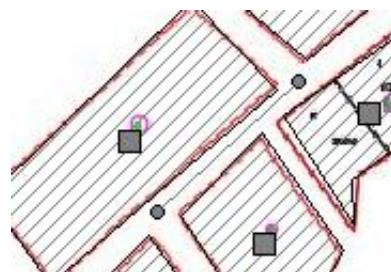
Luego, se inserta el nodo de desagüe en la ubicación deseada con un solo clic. Este nodo se representa con un triángulo negro invertido.



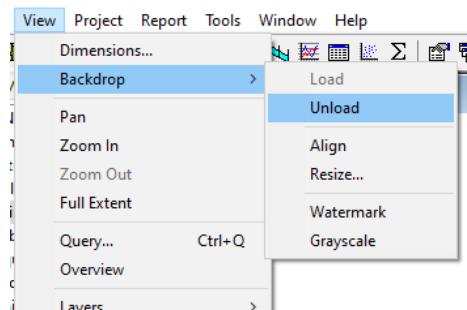
Para el trazado de los conductos o tuberías, se hace clic en el símbolo indicado por la flecha negra.



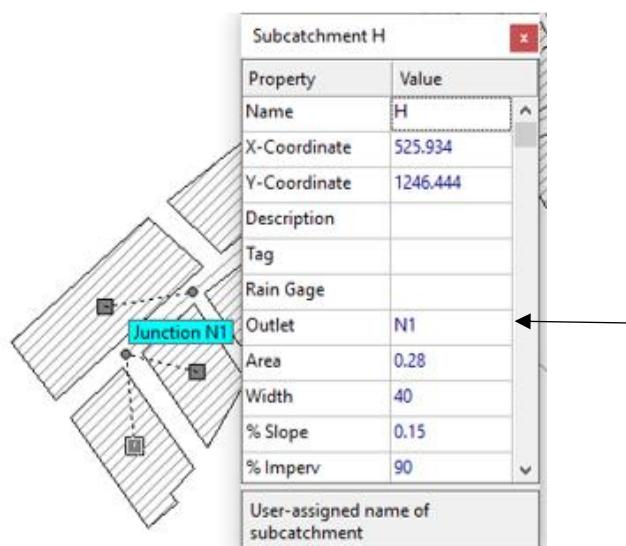
Luego, se dibuja cada tubería haciendo clic en el nodo inicial y posteriormente en el nodo final, con lo cual se crea la tubería.



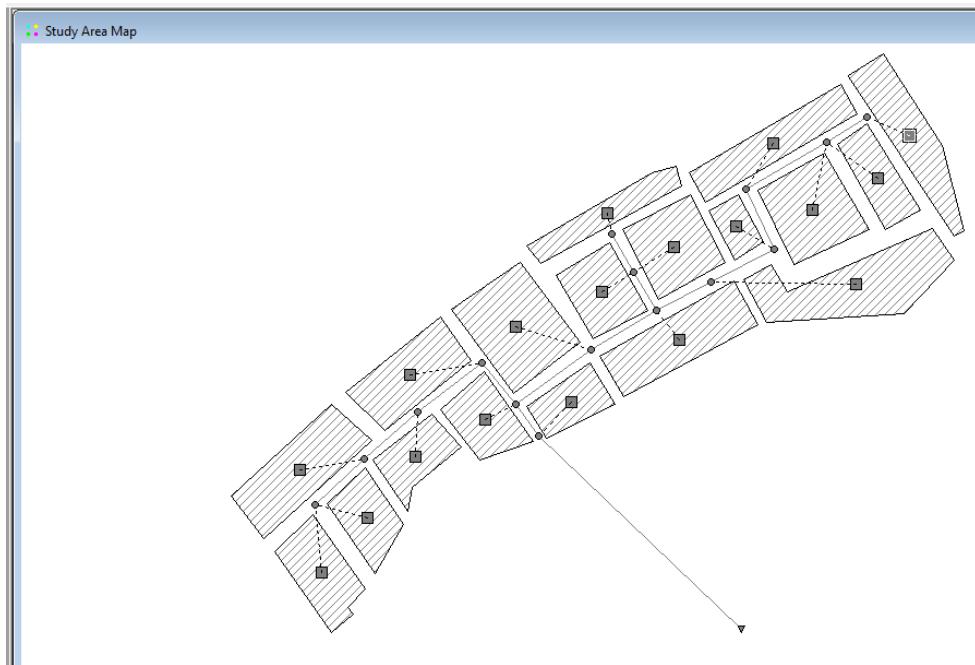
Una vez que se ha trazado la red de drenaje, para eliminar la imagen de fondo insertada se hace clic en el menú 'View', se selecciona 'Backdrop' y luego se hace clic en 'Unload'



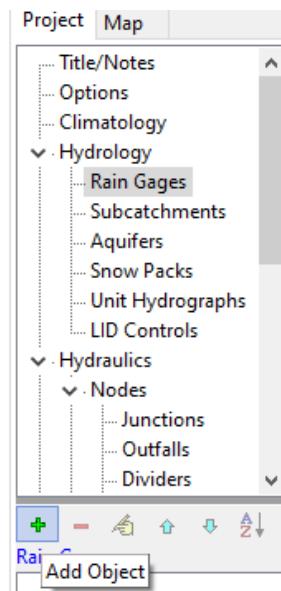
Para asignar el nodo a la subcuenca, se da doble clic en el centro de la subcuenca (cuadrado negro) y, en la opción 'Outlet', se escribe el número del nodo, en este caso 'N1'



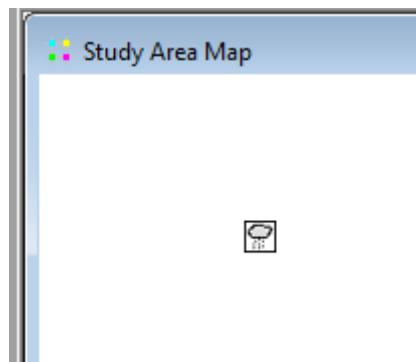
De esta manera, se observa la red de drenaje pluvial propuesta del C.P. Santa Clemencia, conformada por subcuenca, nodos, tuberías y el nodo de desagüe.



11. Para insertar el pluviómetro, en la sección ‘Project’ se da doble clic en ‘Hydrology’ y se selecciona ‘Rain Gages’. Luego, se hace clic en el símbolo ‘+’ de color verde.”



Se hace clic en cualquier punto del mapa para insertar el pluviómetro, el cual se representa con una nube. Luego, se da doble clic en la nube para agregar los datos pluviométricos.



Aparece el cuadro 'Rain Gage 1', en cuya sección 'TIME SERIES' se selecciona 'PRECIP', que corresponde a los datos de precipitación del presente trabajo. Asimismo, en 'Rain Units' se escoge la opción 'MM', que corresponde a milímetros.

Rain Gage 1	
Property	Value
Name	1
X-Coordinate	14781.956
Y-Coordinate	3054.160
Description	
Tag	
Rain Format	INTENSITY
Time Interval	1:00
Snow Catch Factor	1.0
Data Source	TIMESERIES
TIME SERIES:	
- Series Name	PRECIP
DATA FILE:	PRECIP
- File Name	
- Station ID	*
- Rain Units	MM

**Name of rainfall time series  
(double-click to edit time series)**

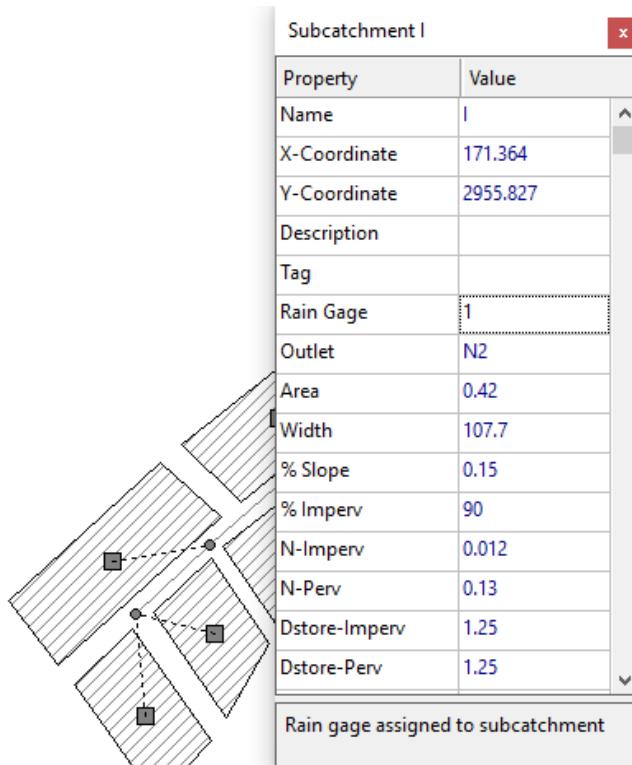
Una vez trazada la red, se procede a ingresar los parámetros correspondientes a cada subcuenca, nodo, tubería y nodo de desagüe.

\* Tener en consideración los siguientes parámetros para subcuenca:

SUBCUENCA / MZ	AREA (HA)	ANCHO (M)	PENDIENTE (%)	IMPERMEABILIDA	N-IMPERV	N-PERV	D-STORE IMPERV (mm)	D-STORE PERV (mm)
A	0.38	144.8	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25
B	0.57	143	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25
C	0.41	117.7	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25
D	0.19	27	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25
E	0.23	63	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25
F	0.21	58.4	0.15	30	0.012	0.13	2.5	2.5
G	0.23	40	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25
H	0.28	40	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25
I	0.42	107.7	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25
J	0.36	84.3	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25
K	0.46	60.65	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25
L	0.26	58.55	0.15	20	0.012	0.13	2.5	2.5
M	0.23	120.75	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25
N	0.34	59.6	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25
Ñ	0.10	40.6	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25
O	0.35	133.35	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25
P	0.40	59	0.15	30	0.012	0.13	2.5	2.5
Q	0.21	26.65	0.15	90	0.012	0.13	1.25	1.25

Se da doble clic en el centro de la subcuenca para editar sus parámetros, como en el caso de la subcuenca I. Asimismo, a cada subcuenca se le asigna el pluviómetro, para lo cual se

accede a la opción 'Rain Gage' y se selecciona 'I', que corresponde al pluviómetro creado

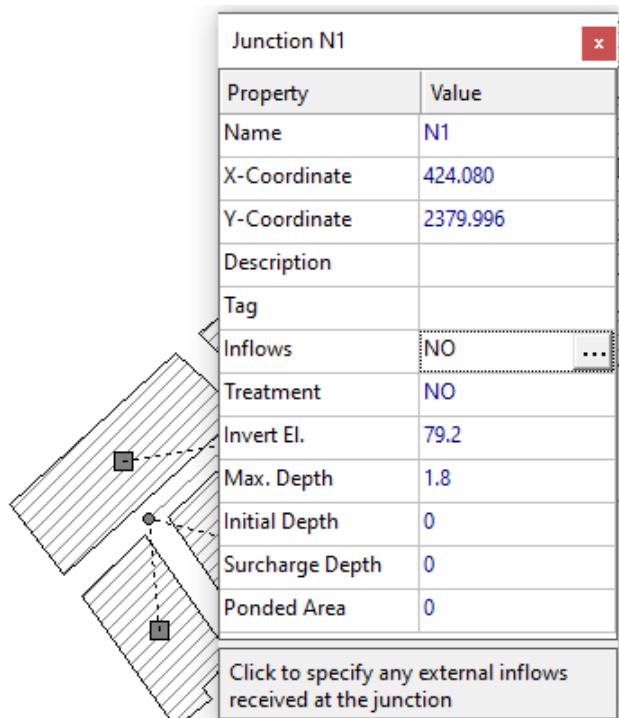


\* Tener en consideración los siguientes parámetros para nodos:

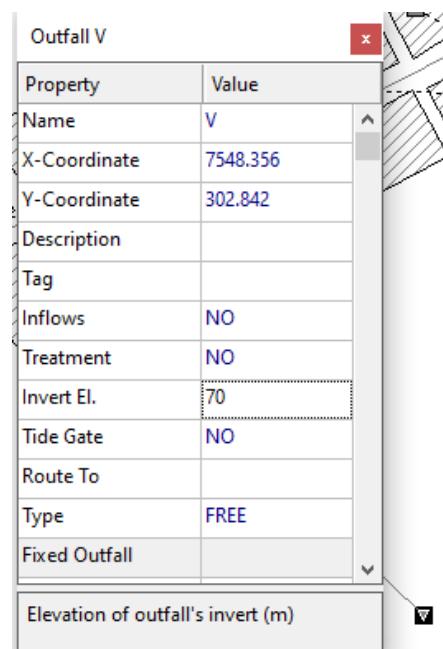
NODO	COTA FONDO (M.S.N.M)	PROFUNDIDAD (M)
N1	79.2	1.8
N2	78.2	1.8
N3	77.2	1.8
N4	77	2
N5	76.6	2.4
N6	76.5	2.5
N7	77	2
N8	78.4	1.6
N9	77.4	1.6
N10	77.2	1.8
N11	78	2

N12	78.2	1.8
N13	79.2	1.8
N14	79.4	1.6
N15	80.4	1.6

Se da doble clic en el nodo para editar sus parámetros, como en el caso del nodo N1.”



12. En el caso del nodo de descarga o desagüe, el sistema de drenaje propuesto presenta un punto de vertido hacia el río Lacramarca, con una cota de fondo de 70 m s. n. m.

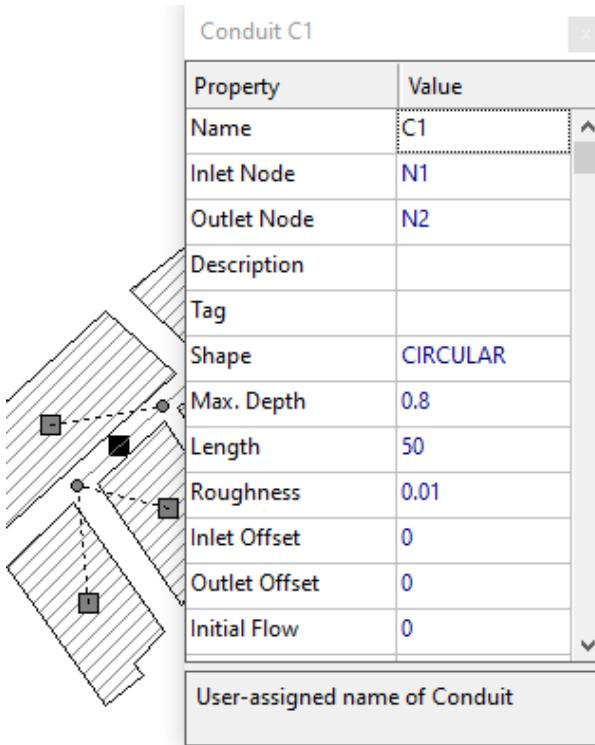


\* En el caso de los conductos o tuberías, se deben considerar los siguientes parámetros:

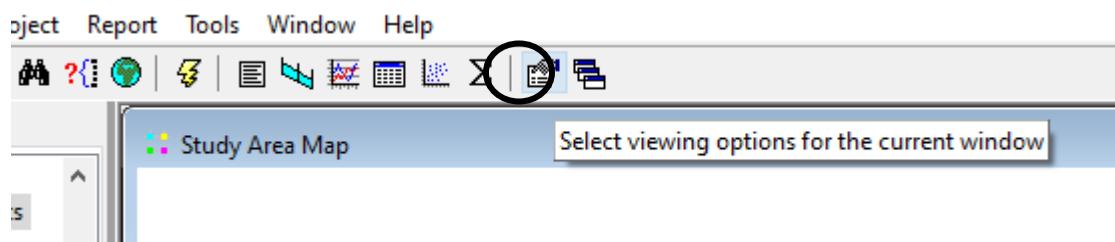
CONDUCTOS	NODO INICIAL	NODO FINAL	LONGITUD (m)	Coeficiente de rugosidad "n"	DIAMETRO (m)
C1	N1	N2	50	0.01	0.8
C2	N2	N3	55	0.01	0.8
C3	N3	N4	60	0.01	0.8
C4	N4	N5	40	0.01	1
C5	N5	N6	35	0.01	1
C6	N6	V	270	0.01	1.5
C7	N7	N5	70	0.01	1
C8	N10	N7	55	0.01	0.8
C9	N9	N10	30	0.01	0.6
C10	N8	N9	40	0.01	0.6
C11	N11	N10	50	0.01	0.8
C12	N12	N11	50	0.01	0.8
C13	N13	N12	50	0.01	0.8
C14	N14	N13	70	0.01	0.6
C15	N15	N14	35	0.01	0.6

Se da doble clic en el conducto para editar sus parámetros, como en el caso del conducto

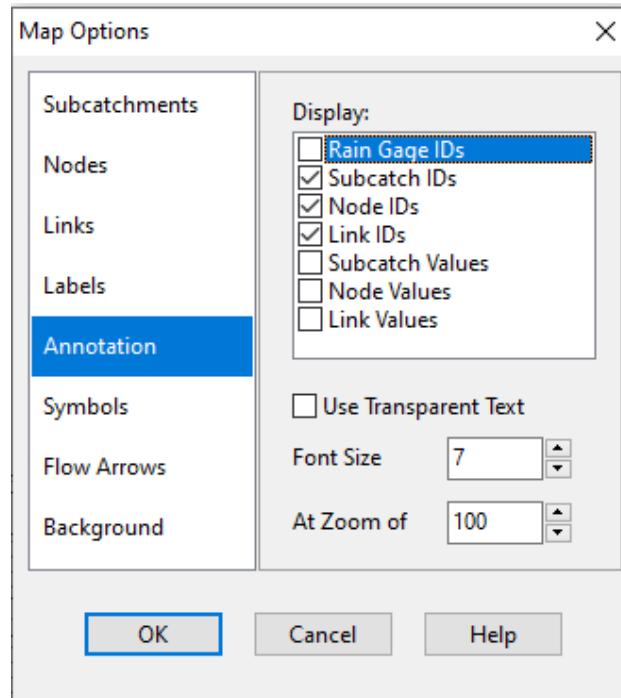
C1



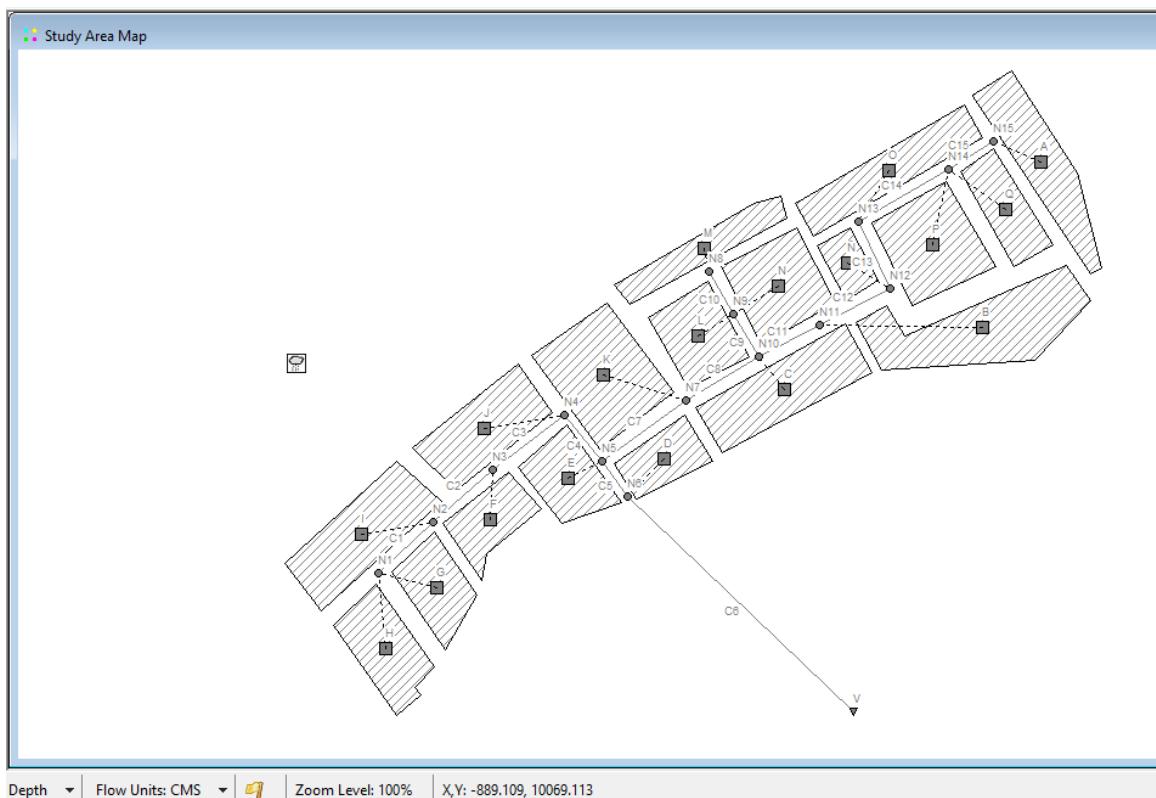
Una vez asignados los parámetros a cada elemento, se puede editar la presentación del mapa para lograr una mejor representación mediante etiquetas. Para ello, en la parte superior se hace clic en el símbolo señalado por el círculo negro.



Aparece el cuadro '*Map Options*', en el cual se hace clic en '*Annotation*'. Luego, se seleccionan las etiquetas '*IDs*' para subcuenca, nodo y conducto. Finalmente, se hace clic en '*OK*'.

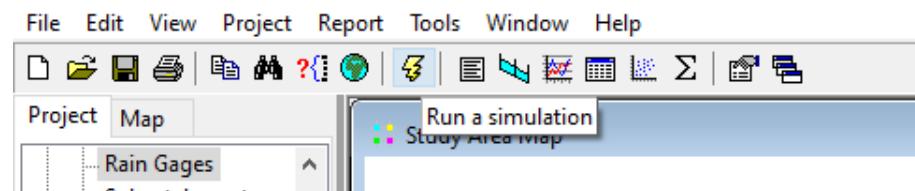


Entonces, la red de drenaje pluvial propuesta se visualiza de la siguiente manera:

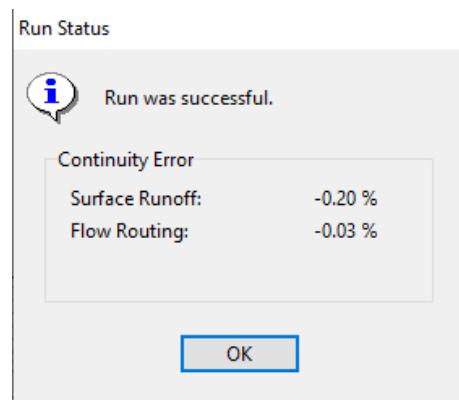


#### -Simulación

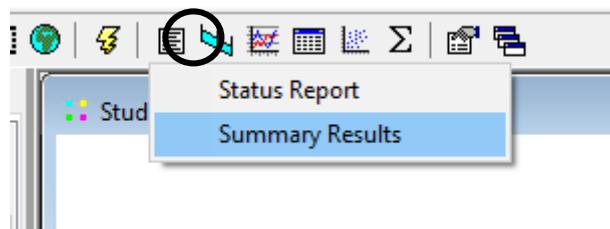
13. Para simular la red de drenaje pluvial, se da click en el símbolo de rayo.



Aparece el cuadro *Run Status*, el cual indica que la simulación es exitosa. Se observa que el error de continuidad es inferior a  $\pm 10\%$ , por lo cual la simulación es válida.



Para visualizar el resumen de resultados, se hace clic en el símbolo señalado por el círculo negro y se selecciona 'Summary Results'



Aparece el cuadro '*Summary Results*', el cual presenta seis secciones temáticas.

Summary Results				
Topic:	Subcatchment Runoff	Click a column header to sort the column.		
Sub	Subcatchment Runoff	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm
A	Node Depth	0.00	0.00	4.99
B	Node Inflow	0.00	0.00	4.99
	Outfall Loading			
	Link Flow			
	Flow Classification			

Se visualiza la tabla de resultados de escorrentía de las Subcuencas '*Subcatchment Runoff*'.

Summary Results										
Topic: Subcatchment Runoff										
Click a column header to sort the column.										
Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Imperv Runoff mm	Perv Runoff mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10^6 ltr	Peak Runoff CMS	Runoff Coeff
A	233.50	0.00	0.00	4.99	209.17	18.20	227.37	0.86	0.11	0.974
B	233.50	0.00	0.00	4.99	208.97	18.18	227.15	1.29	0.17	0.973
C	233.50	0.00	0.00	4.99	209.04	18.19	227.23	0.93	0.12	0.973
D	233.50	0.00	0.00	4.99	208.57	18.13	226.70	0.43	0.06	0.971
E	233.50	0.00	0.00	4.99	209.02	18.18	227.20	0.52	0.07	0.973
F	233.50	0.00	0.00	34.95	69.49	124.82	194.31	0.41	0.06	0.832
G	233.50	0.00	0.00	4.99	208.73	18.15	226.88	0.52	0.07	0.972
H	233.50	0.00	0.00	4.99	208.58	18.13	226.71	0.63	0.08	0.971
I	233.50	0.00	0.00	4.99	208.98	18.18	227.16	0.95	0.12	0.973
J	233.50	0.00	0.00	4.99	208.93	18.17	227.10	0.82	0.11	0.973
K	233.50	0.00	0.00	4.99	208.51	18.12	226.63	1.04	0.14	0.971
L	233.50	0.00	0.00	39.94	46.33	142.05	188.38	0.49	0.07	0.807
M	233.50	0.00	0.00	4.99	209.27	18.22	227.48	0.52	0.07	0.974
N	233.50	0.00	0.00	4.99	208.74	18.15	226.89	0.77	0.10	0.972
Ñ	233.50	0.00	0.00	4.99	209.19	18.21	227.40	0.23	0.03	0.974
O	233.50	0.00	0.00	4.99	209.17	18.20	227.37	0.80	0.10	0.974
P	233.50	0.00	0.00	34.95	69.46	123.77	193.22	0.77	0.11	0.828
Q	233.50	0.00	0.00	4.99	208.48	18.12	226.60	0.48	0.06	0.970

Se visualiza la tabla de resultados de profundidad del nodo 'Node Depth'.

Summary Results								
Topic: Node Depth								
Click a column header to sort the column.								
Node	Type	Average Depth Meters	Maximum Depth Meters	Maximum HGL Meters	Day of Maximum Depth	Hour of Maximum Depth	Maximum Reported Depth Meters	
N1	JUNCTION	0.04	0.13	79.33	0	14:00	0.13	
N2	JUNCTION	0.06	0.19	78.39	0	14:00	0.19	
N3	JUNCTION	0.10	0.32	77.52	0	14:00	0.32	
N4	JUNCTION	0.08	0.28	77.28	0	14:00	0.28	
N5	JUNCTION	0.21	0.78	77.38	0	14:00	0.78	
N6	JUNCTION	0.11	0.34	76.84	0	14:00	0.34	
N7	JUNCTION	0.14	0.51	77.51	0	14:00	0.51	
N10	JUNCTION	0.16	0.60	77.80	0	14:00	0.60	
N8	JUNCTION	0.03	0.09	78.49	0	14:00	0.09	
N9	JUNCTION	0.09	0.39	77.79	0	14:00	0.39	
N11	JUNCTION	0.09	0.28	78.28	0	14:00	0.28	
N12	JUNCTION	0.10	0.34	78.54	0	13:59	0.34	
N13	JUNCTION	0.07	0.22	79.42	0	14:00	0.22	
N14	JUNCTION	0.10	0.35	79.75	0	13:59	0.35	
N15	JUNCTION	0.04	0.12	80.52	0	14:00	0.12	
V	OUTFALL	0.11	0.34	70.34	0	14:00	0.34	

Se visualiza la tabla de resultados de Flujo de entrada del nodo 'Node Inflow'.

Node	Type	Maximum Lateral Inflow CMS	Maximum Total Inflow CMS	Day of Maximum Inflow	Hour of Maximum Inflow	Lateral Inflow Volume 10^6 ltr	Total Inflow Volume 10^6 ltr	Flow Balance Error %
N1	JUNCTION	0.150	0.150	0	14:00	1.16	1.16	0.007
N2	JUNCTION	0.124	0.274	0	14:00	0.953	2.11	0.014
N3	JUNCTION	0.059	0.332	0	14:00	0.408	2.52	0.037
N4	JUNCTION	0.106	0.438	0	14:00	0.817	3.33	0.013
N5	JUNCTION	0.068	1.582	0	14:00	0.522	12	0.026
N6	JUNCTION	0.056	1.638	0	14:00	0.43	12.5	0.032
N7	JUNCTION	0.135	1.077	0	14:00	1.04	8.18	0.017
N10	JUNCTION	0.121	0.942	0	14:00	0.931	7.14	0.031
N8	JUNCTION	0.068	0.068	0	14:00	0.523	0.523	-0.001
N9	JUNCTION	0.171	0.239	0	14:00	1.26	1.78	0.018
N11	JUNCTION	0.168	0.583	0	13:59	1.29	4.43	0.010
N12	JUNCTION	0.029	0.416	0	13:59	0.227	3.13	0.030
N13	JUNCTION	0.103	0.392	0	14:00	0.795	2.91	0.007
N14	JUNCTION	0.171	0.283	0	14:00	1.25	2.11	0.045
N15	JUNCTION	0.112	0.112	0	14:00	0.863	0.863	-0.000
V	OUTFALL	0.000	1.638	0	14:00	0	12.5	0.000

Se visualiza la tabla de resultados de Carga de desagüe 'Outfall Loading' :

Outfall Node	Flow Frequency %	Average Flow CMS	Maximum Flow CMS	Total Volume 10^6 ltr
V	97.48	0.246	1.638	12.455

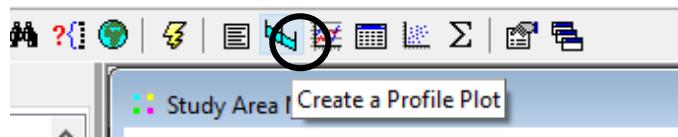
Se visualiza la tabla de resultados de Flujo de Conducto 'Link Flow' .

Link	Type	Maximum  Flow  CMS	Day of Maximum Flow	Hour of Maximum Flow	Maximum  Velocity  m/sec	Max / Full Flow	Max / Full Depth
C1	CONDUIT	0.150	0	14:00	2.10	0.06	0.20
C2	CONDUIT	0.274	0	14:00	2.04	0.12	0.32
C3	CONDUIT	0.332	0	14:00	2.03	0.33	0.38
C4	CONDUIT	0.438	0	14:00	1.09	0.14	0.53
C5	CONDUIT	1.582	0	14:00	3.49	0.95	0.56
C15	CONDUIT	0.112	0	14:00	1.26	0.08	0.39
C14	CONDUIT	0.289	0	14:00	2.20	0.68	0.47
C13	CONDUIT	0.386	0	14:00	2.47	0.16	0.35
C12	CONDUIT	0.415	0	14:00	2.28	0.38	0.39
C11	CONDUIT	0.583	0	14:00	2.05	0.27	0.55
C10	CONDUIT	0.068	0	14:00	1.12	0.05	0.41
C9	CONDUIT	0.239	0	14:00	1.00	0.37	0.83
C8	CONDUIT	0.942	0	14:00	2.53	0.91	0.69
C7	CONDUIT	1.077	0	14:00	2.01	0.46	0.65
C6	CONDUIT	1.638	0	14:00	5.37	0.11	0.23

Se visualiza la tabla de resultados de Clasificación de Flujo 'Flow Classification'.

Conduit	Adjusted/ Actual Length	Fully Dry	Upstrm Dry	Dnstrm Dry	Sub Critical	Super Critical	Upstrm Critical	Dnstrm Critical	Normal Flow Limited	Inlet Control
C1	1.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.95	0.00	0.00	0.96	0.00
C2	1.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.95	0.00	0.00	0.96	0.00
C3	1.00	0.04	0.00	0.00	0.02	0.94	0.00	0.00	0.05	0.00
C4	1.00	0.04	0.00	0.00	0.96	0.00	0.00	0.00	0.93	0.00
C5	1.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.95	0.00	0.00	0.82	0.00
C15	1.00	0.04	0.00	0.00	0.93	0.02	0.00	0.00	0.96	0.00
C14	1.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.95	0.00	0.00	0.03	0.00
C13	1.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.95	0.00	0.00	0.96	0.00
C12	1.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.95	0.00	0.00	0.05	0.00
C11	1.00	0.04	0.00	0.00	0.02	0.94	0.00	0.00	0.96	0.00
C10	1.00	0.04	0.00	0.00	0.93	0.03	0.00	0.00	0.96	0.00
C9	1.00	0.04	0.00	0.00	0.96	0.00	0.00	0.00	0.92	0.00
C8	1.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.95	0.00	0.00	0.16	0.00
C7	1.00	0.04	0.00	0.00	0.57	0.39	0.00	0.00	0.91	0.00
C6	1.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.95	0.00	0.00	0.61	0.00

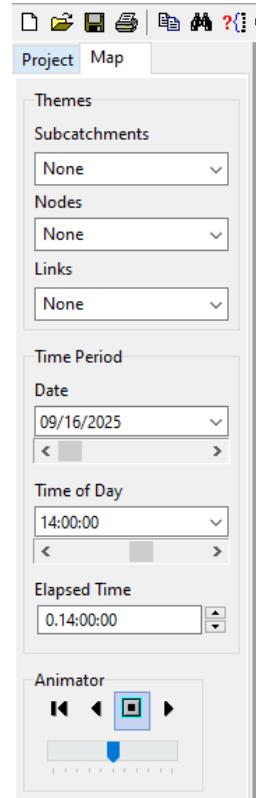
13. El programa SWMM también ofrece el gráfico de perfil de la red de drenaje modelada. Para ello, se hace clic en el símbolo señalado por el círculo negro.



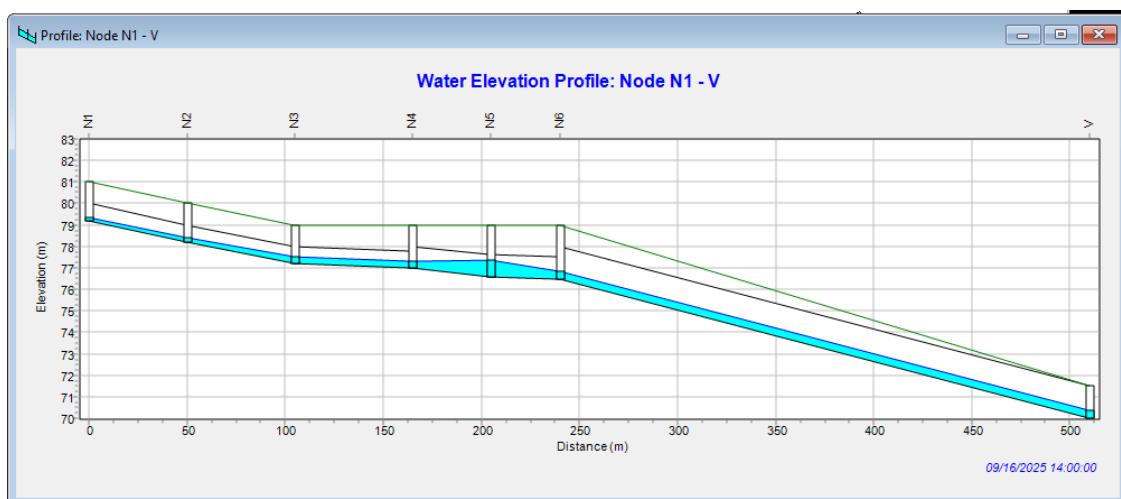
Aparece el cuadro 'Profile Plot Selection', en el cual se designa el nodo inicial y final para el cual se desea obtener el perfil. Se hace clic en el nodo inicial (N1) y luego en el símbolo '+' al costado de 'Start Node'. Se repite el mismo procedimiento para el nodo final (End Node), que corresponde al nodo de desagüe (V). A continuación, se hace clic en 'Find Path' para seleccionar automáticamente los conductos, los cuales se visualizan en 'Links in Profile', y finalmente se hace clic en 'OK'



Para observar la simulación durante las 24 horas, en la parte izquierda de la interfaz se hace clic en ‘Map’. En la sección ‘Time Period’ se pueden editar los tiempos; en ‘Date’ se ajustan las fechas y en ‘Time of Day’ la hora y el minuto, utilizando las flechas de ambos subtítulos para avanzar o retroceder el tiempo. Además, en el subtítulo ‘Animator’ se puede iniciar la simulación, pausarla, reiniciarla desde el inicio o retrocederla

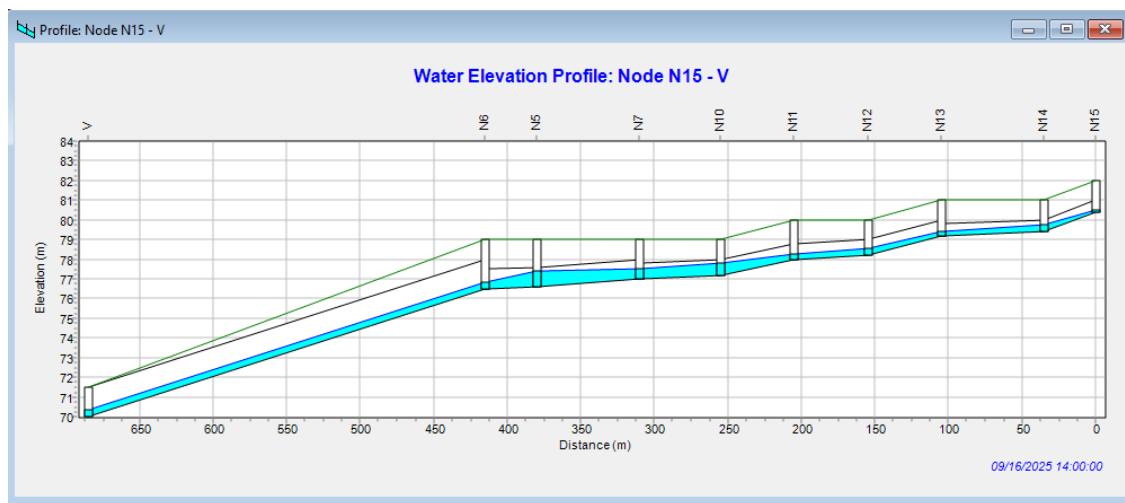


De esta manera, se visualiza el gráfico de perfil del tramo N1–V a las 14 horas, momento en el cual se alcanza el caudal máximo.

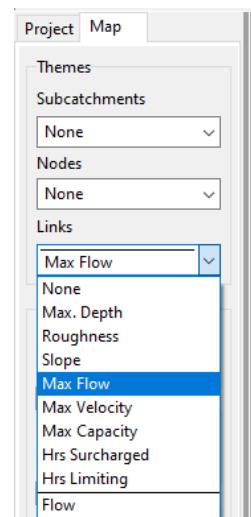


Se visualiza el gráfico de perfil del tramo N1–V a las 14 horas, momento en el cual se

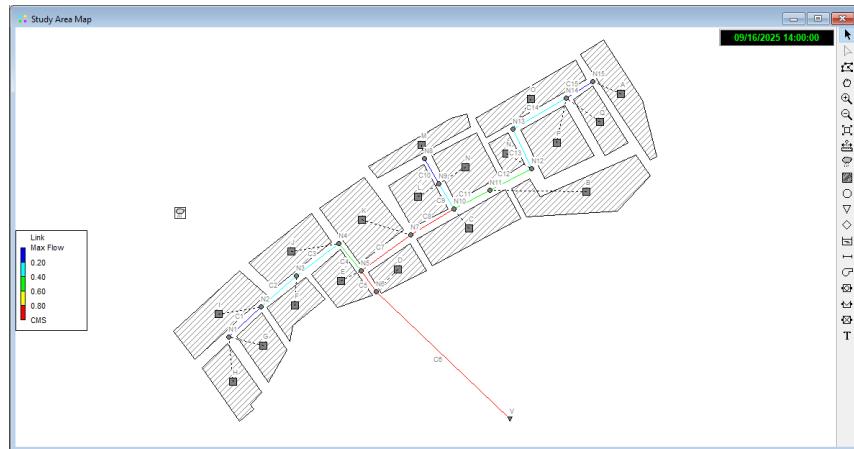
alcanza el caudal máximo.



También se pueden visualizar los resultados como mapas con leyenda. En ‘Map’, dentro de la sección ‘Themes’, se brindan opciones para Subcuenca, Nodos y Conductos. Por ejemplo, para observar el flujo máximo en los conductos, se selecciona ‘Max Flow’ en el subtítulo ‘Links’.

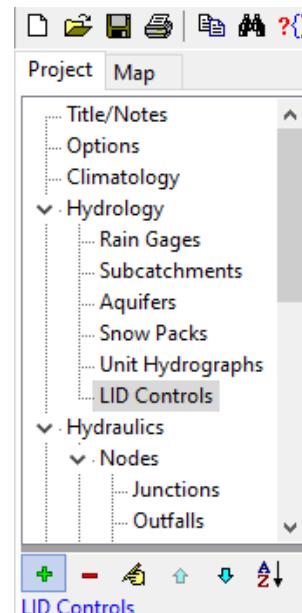


Se visualiza de la siguiente manera el mapa de flujo máximo de la red de drenaje pluvial propuesta.

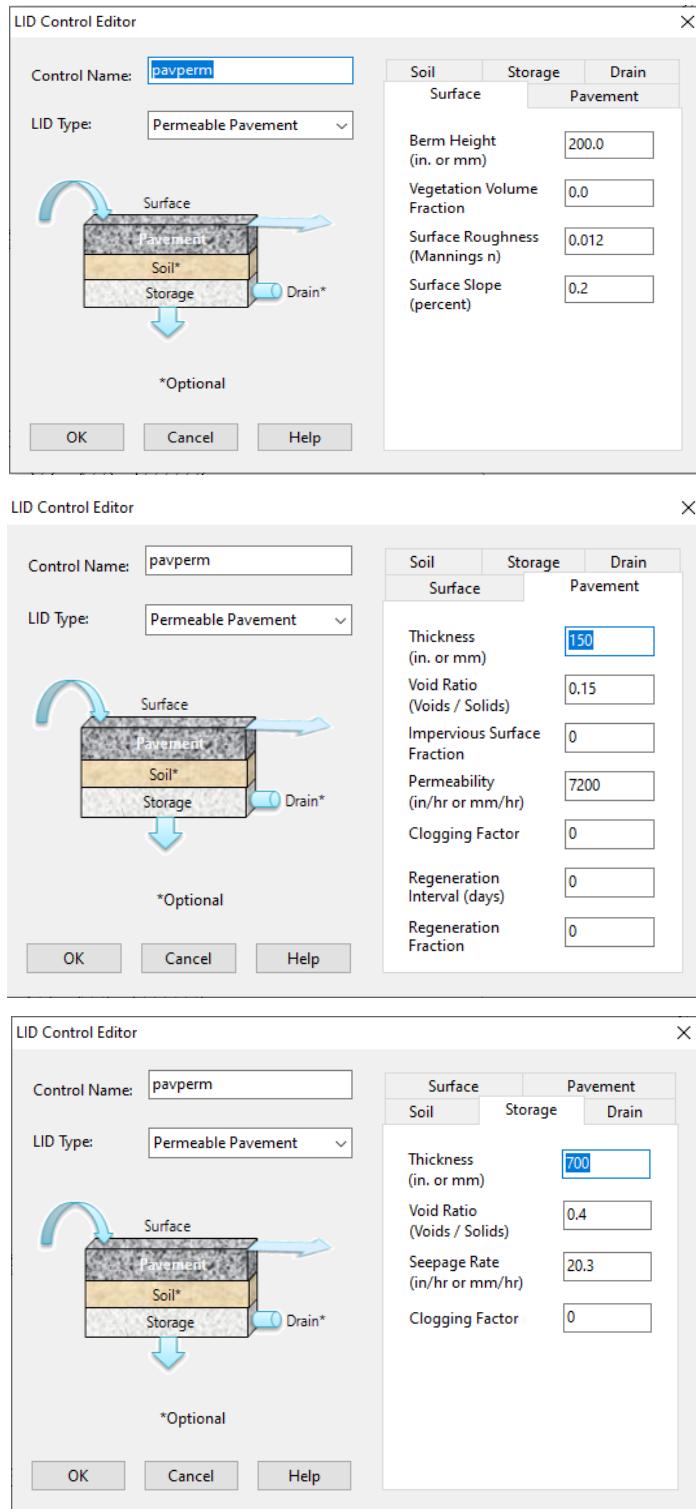


14. Una vez realizado el diseño según el DOEE, se ingresan en SWMM los parámetros calculados para el pavimento permeable y la zanja de infiltración.

Para ingresar los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), en la parte izquierda de la interfaz, dentro de la sección '*Project*', se selecciona '*LID Controls*' y se hace clic en el símbolo '+' de color verde.

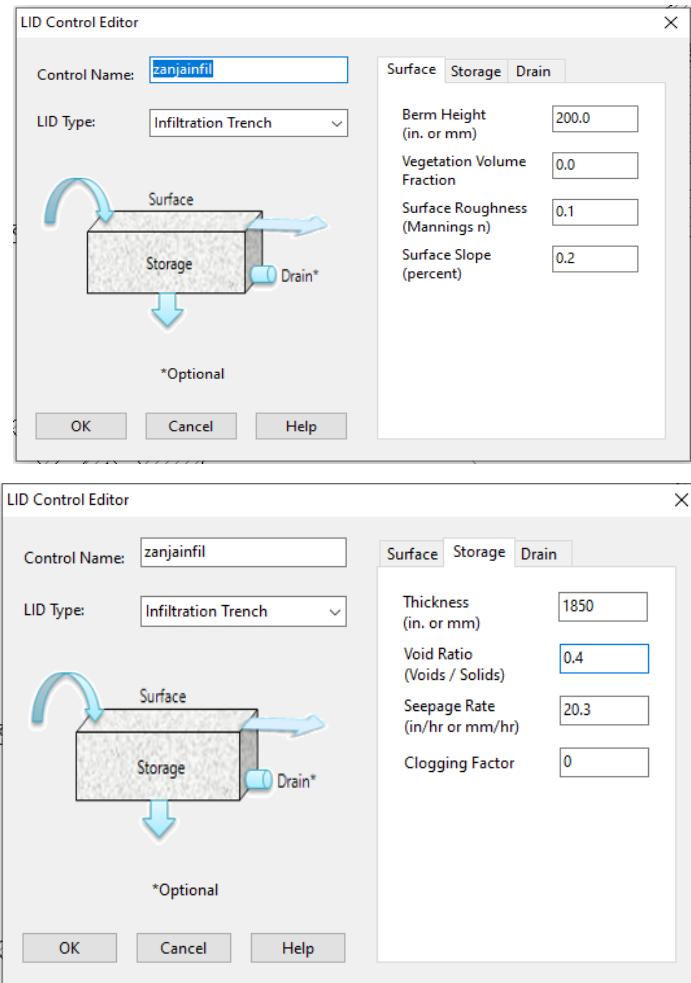


Aparece el cuadro '*LID Control Editor*', en el cual se ingresa el nombre del SUDS, en este caso 'pavperm', y en LID Type se selecciona 'Permeable Pavement'. A continuación, se ingresan los parámetros de las capas del pavimento permeable diseñado: Surface, Pavement y Storage. Finalmente, se hace clic en 'OK'.

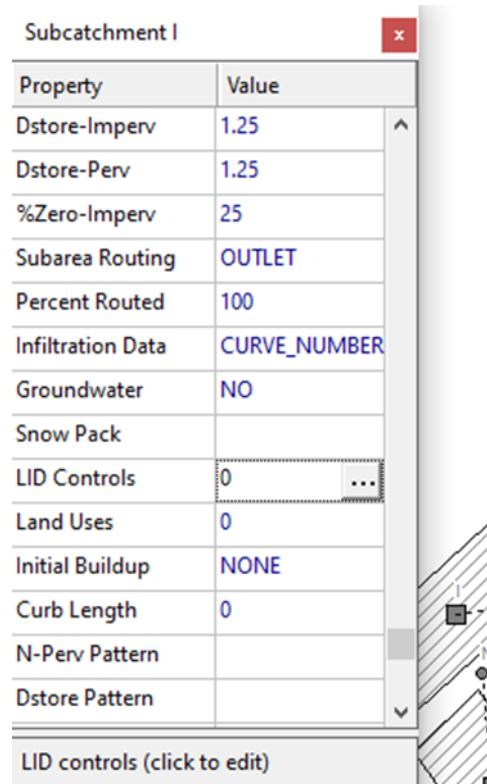


Para la zanja de infiltración, se hace clic nuevamente en el símbolo '+' de color verde.

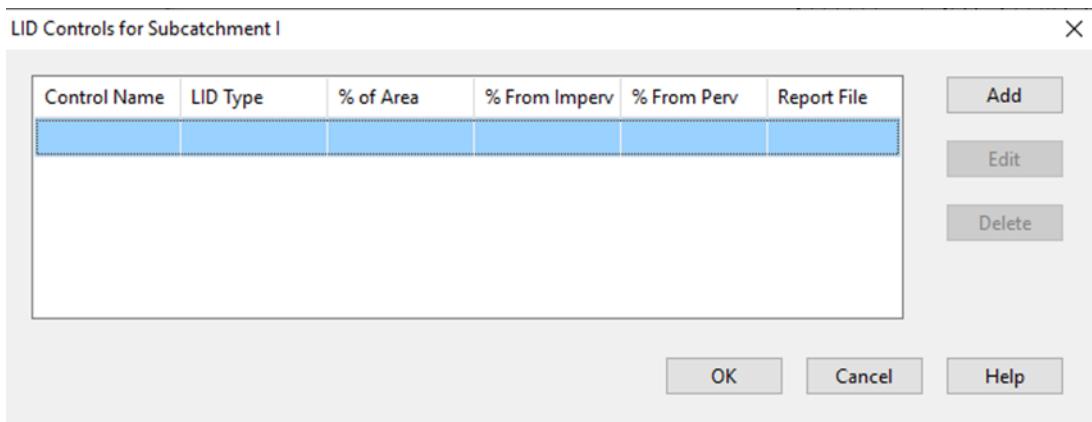
Aparece el cuadro '*LID Control Editor*', en el cual se ingresa el nombre del SUDS, en este caso '*zanjainfil*', y en *LID Type* se selecciona '*Infiltration Trench*'. A continuación, se ingresan los parámetros de las capas de la zanja de infiltración diseñada: *Surface* y *Storage*.



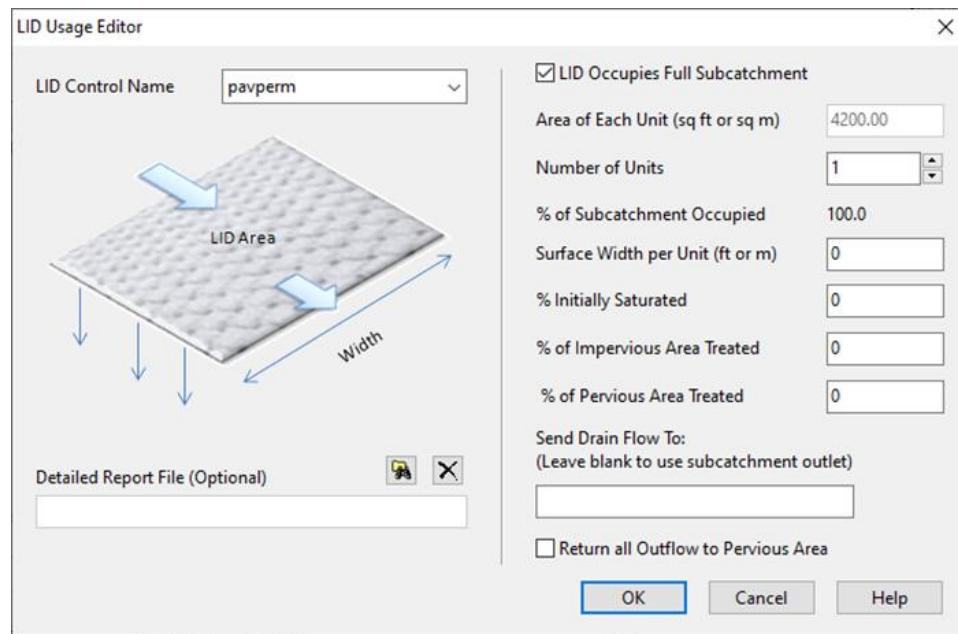
Para el estudio comparativo, se plantea que ambos SUDS se apliquen a las mismas subcuenca y estén ubicados en los mismos jirones (Tupac Amaru, Yawar Huaca, Manco Cápac). Para ello, se da doble clic en el centro de la subcuenca y, en '*LID Controls*', se hace clic en los puntos suspensivos.



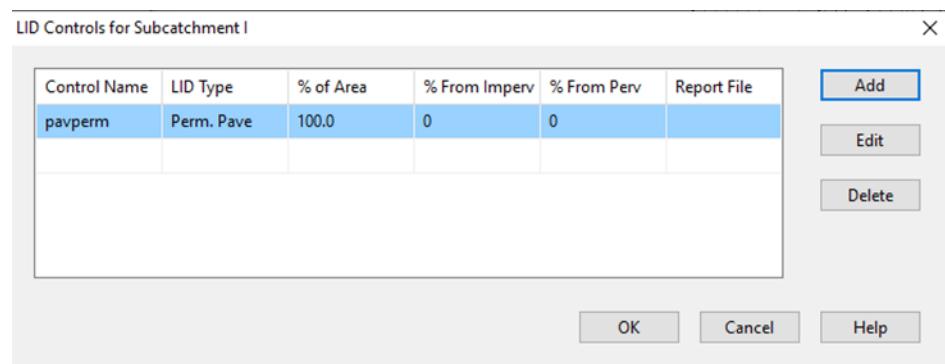
Aparece el cuadro 'LID Controls for Subcatchment I', en el cual se hace clic en 'Add'.



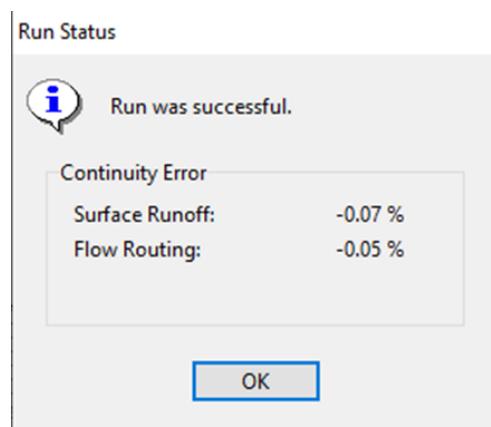
Aparece el cuadro '*LID Usage Editor*'. Para comenzar, se selecciona el SUDS '*pavperm*' previamente ingresado y se activa la opción '*LID Occupies Full Subcatchment*', dado que es el único SUDS en esa subcuenca para efectos de la comparación. Finalmente, se hace clic en '*OK*'.



Se corrobora que el SUDS seleccionado sea el correcto y, a continuación, se hace clic en 'OK' para finalizar.



Una vez asignados los SUDS a las subcuenas, se realiza la simulación. Se observa que esta es exitosa y válida.



Se obtienen los siguientes resultados. Se visualiza la tabla de resultados de escorrentía de las subcuenas, denominada '*Subcatchment Runoff*'.

Summary Results										
Topic: Subcatchment Runoff		Click a column header to sort the column.								
Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Imperv Runoff mm	Perv Runoff mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10^6 ltr	Peak Runoff CMS	Runoff Coeff
A	233.50	0.00	0.00	4.99	209.17	18.20	227.37	0.86	0.11	0.974
B	233.50	0.00	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
C	233.50	0.00	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
D	233.50	0.00	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
E	233.50	0.00	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
F	233.50	0.00	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
G	233.50	0.00	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
H	233.50	0.00	0.00	4.99	208.58	18.13	226.71	0.63	0.08	0.971
I	233.50	0.00	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
J	233.50	0.00	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
K	233.50	0.00	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
L	233.50	0.00	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
M	233.50	0.00	0.00	4.99	209.27	18.22	227.48	0.52	0.07	0.974
N	233.50	0.00	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Ñ	233.50	0.00	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
O	233.50	0.00	0.00	4.99	209.17	18.20	227.37	0.80	0.10	0.974
P	233.50	0.00	0.00	34.95	69.46	123.77	193.22	0.77	0.11	0.828
Q	233.50	0.00	0.00	4.99	208.48	18.12	226.60	0.48	0.06	0.970

-Se visualiza la tabla de resultados de rendimiento del LID, denominada 'LID Performance'.

Summary Results										
Topic: LID Performance		Click a column header to sort the column.								
Subcatchment	LID Control	Total Inflow mm	Evap Loss mm	Infil Loss mm	Surface Outflow mm	Drain Outflow mm	Initial Storage mm	Final Storage mm	Continuity Error %	
B	pavperm	233.50	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	pavperm	233.50	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
D	pavperm	233.50	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E	pavperm	233.50	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	pavperm	233.50	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
G	pavperm	233.50	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I	pavperm	233.50	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
J	pavperm	233.50	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	pavperm	233.50	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
L	pavperm	233.50	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N	pavperm	233.50	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ñ	pavperm	233.50	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Se visualiza la tabla de resultados de profundidad de los nodos, denominada 'Node Depth'

Node	Type	Average Depth Meters	Maximum Depth Meters	Maximum HGL Meters	Day of Maximum Depth	Hour of Maximum Depth	Maximum Reported Depth Meters
N1	JUNCTION	0.03	0.10	79.30	0	14:00	0.10
N2	JUNCTION	0.03	0.10	78.30	0	14:00	0.10
N3	JUNCTION	0.05	0.16	77.36	0	14:00	0.16
N4	JUNCTION	0.03	0.11	77.11	0	14:00	0.11
N5	JUNCTION	0.12	0.39	76.99	0	14:00	0.39
N6	JUNCTION	0.06	0.20	76.70	0	14:01	0.20
N7	JUNCTION	0.09	0.31	77.31	0	13:59	0.31
N10	JUNCTION	0.11	0.38	77.58	0	13:59	0.37
N8	JUNCTION	0.03	0.09	78.49	0	14:00	0.09
N9	JUNCTION	0.04	0.16	77.56	0	13:58	0.16
N11	JUNCTION	0.07	0.23	78.23	0	14:00	0.23
N12	JUNCTION	0.10	0.33	78.53	0	14:00	0.33
N13	JUNCTION	0.06	0.22	79.42	0	13:59	0.22
N14	JUNCTION	0.10	0.35	79.75	0	14:00	0.35
N15	JUNCTION	0.04	0.12	80.52	0	14:00	0.12
V	OUTFALL	0.06	0.20	70.20	0	14:01	0.20

Se visualiza la tabla de resultados de flujo de entrada del nodo, denominada 'Node Inflow'.

Node	Type	Maximum Lateral Inflow CMS	Maximum Total Inflow CMS	Day of Maximum Inflow	Hour of Maximum Inflow	Lateral Inflow Volume 10^6 ltr	Total Inflow Volume 10^6 ltr	Flow Balance Error %
N1	JUNCTION	0.082	0.082	0	14:00	0.634	0.634	0.008
N2	JUNCTION	0.000	0.082	0	14:00	0	0.634	0.021
N3	JUNCTION	0.000	0.082	0	14:00	0	0.634	0.049
N4	JUNCTION	0.000	0.082	0	14:00	0	0.634	0.026
N5	JUNCTION	0.000	0.548	0	14:00	0	4.06	0.032
N6	JUNCTION	0.000	0.544	0	14:00	0	4.06	0.042
N7	JUNCTION	0.000	0.464	0	13:59	0	3.43	0.028
N10	JUNCTION	0.000	0.470	0	13:59	0	3.43	0.037
N8	JUNCTION	0.068	0.068	0	14:00	0.523	0.523	0.000
N9	JUNCTION	0.000	0.068	0	14:00	0	0.523	0.031
N11	JUNCTION	0.000	0.386	0	14:00	0	2.9	0.012
N12	JUNCTION	0.000	0.386	0	13:59	0	2.91	0.031
N13	JUNCTION	0.103	0.390	0	13:59	0.795	2.91	0.006
N14	JUNCTION	0.171	0.283	0	14:00	1.25	2.11	0.046
N15	JUNCTION	0.112	0.112	0	14:00	0.863	0.863	-0.003
V	OUTFALL	0.000	0.542	0	14:01	0	4.06	0.000

Se visualiza la tabla de resultados de carga de desagüe, denominada 'Outfall Loading'.

Summary Results				
Topic: Outfall Loading				
Outfall Node	Flow Frequency %	Avgverage Flow CMS	Maximum Flow CMS	Total Volume 10^6 ltr
V	96.40	0.079	0.542	4.055

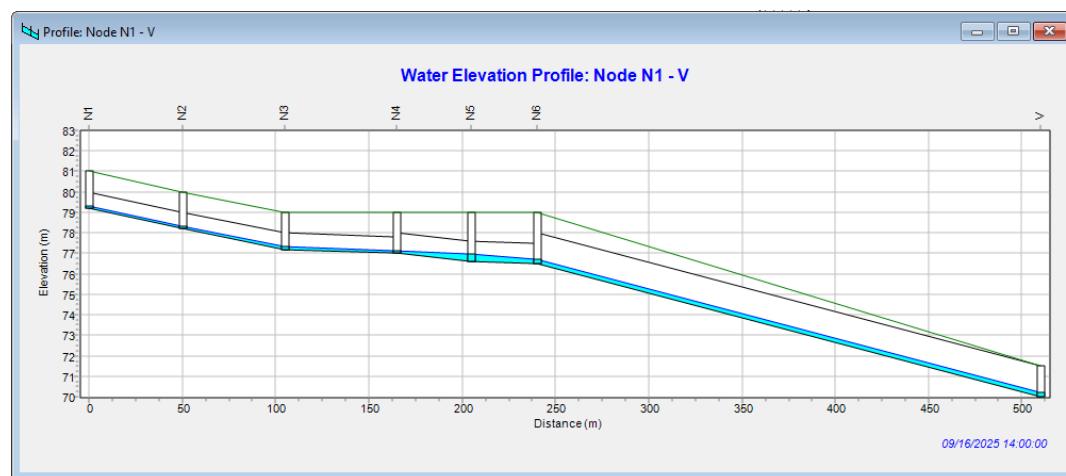
Se visualiza la tabla de resultados de flujo de conducto, denominada '*Link Flow*'.

Summary Results								
Topic: Link Flow								
Link	Type	Maximum  Flow  CMS	Day of Maximum Flow	Hour of Maximum Flow	Maximum  Velocity  m/sec	Max / Full Flow	Max / Full Depth	
C1	CONDUIT	0.082	0	14:00	2.20	0.03	0.13	
C2	CONDUIT	0.082	0	14:00	1.55	0.04	0.16	
C3	CONDUIT	0.082	0	14:00	1.48	0.08	0.17	
C4	CONDUIT	0.082	0	14:00	0.55	0.03	0.25	
C5	CONDUIT	0.544	0	14:00	2.79	0.33	0.30	
C15	CONDUIT	0.112	0	14:00	1.26	0.08	0.39	
C14	CONDUIT	0.288	0	14:00	2.19	0.67	0.47	
C13	CONDUIT	0.386	0	13:59	2.56	0.16	0.34	
C12	CONDUIT	0.386	0	14:00	2.48	0.35	0.35	
C11	CONDUIT	0.386	0	14:00	2.27	0.18	0.38	
C10	CONDUIT	0.068	0	14:00	1.84	0.05	0.22	
C9	CONDUIT	0.084	0	13:59	0.71	0.13	0.44	
C8	CONDUIT	0.464	0	13:59	2.28	0.45	0.43	
C7	CONDUIT	0.465	0	14:00	1.91	0.20	0.35	
C6	CONDUIT	0.542	0	14:01	3.87	0.04	0.13	

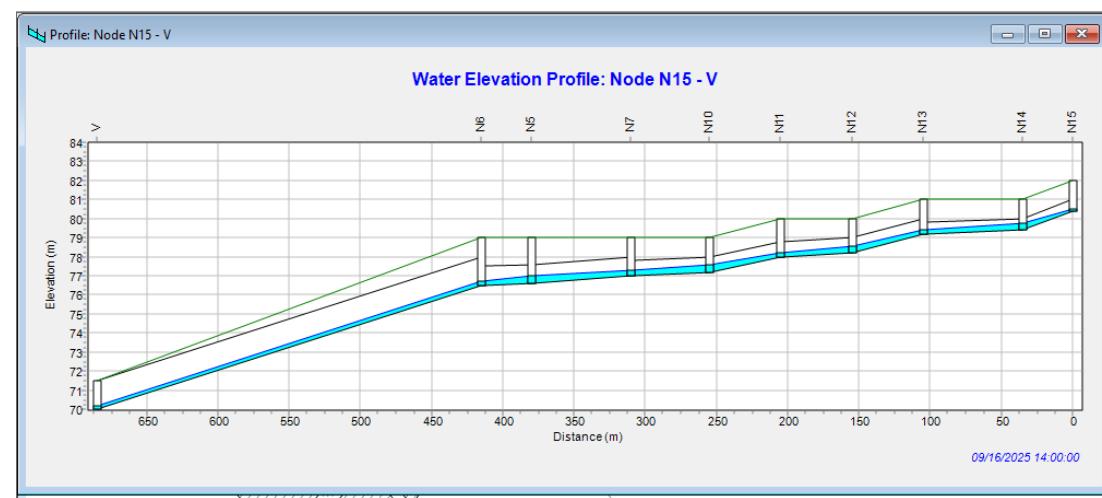
Se visualiza la tabla de resultados de clasificación de flujo, denominada '*Flow Classification*'.

Summary Results											
		Topic: Flow Classification									
Conduit	Adjusted/ Actual Length	Fully Dry	Upstrm Dry	Dnstrm Dry	Sub Critical	Super Critical	Upstrm Critical	Dnstrm Critical	Normal Flow Limited	Inlet Control	
C1	1.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.96	0.00	0.00	0.95	0.00	
C2	1.00	0.04	0.00	0.00	0.02	0.94	0.00	0.00	0.96	0.00	
C3	1.00	0.04	0.00	0.00	0.02	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00	
C4	1.00	0.04	0.00	0.00	0.96	0.00	0.00	0.00	0.96	0.00	
C5	1.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.95	0.00	0.00	0.22	0.00	
C15	1.00	0.04	0.00	0.00	0.93	0.02	0.00	0.00	0.96	0.00	
C14	1.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.95	0.00	0.00	0.03	0.00	
C13	1.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.96	0.00	0.00	0.96	0.00	
C12	1.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.95	0.00	0.00	0.05	0.00	
C11	1.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.95	0.00	0.00	0.96	0.00	
C10	1.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.96	0.00	0.00	0.96	0.00	
C9	1.00	0.04	0.00	0.00	0.96	0.00	0.00	0.00	0.93	0.00	
C8	1.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.95	0.00	0.00	0.06	0.00	
C7	1.00	0.04	0.00	0.00	0.21	0.75	0.00	0.00	0.91	0.00	
C6	1.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.95	0.00	0.00	0.56	0.00	

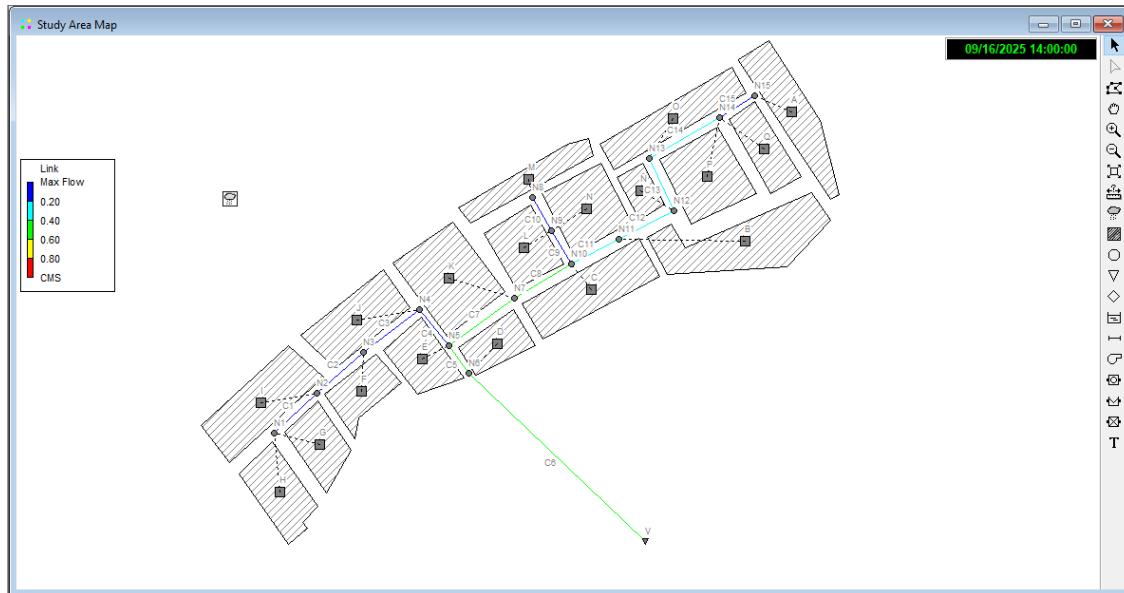
Se visualiza el gráfico de perfil del tramo N1–V a las 14 horas, momento en el cual se alcanza el caudal máximo, aplicando el SUDS de pavimento permeable.



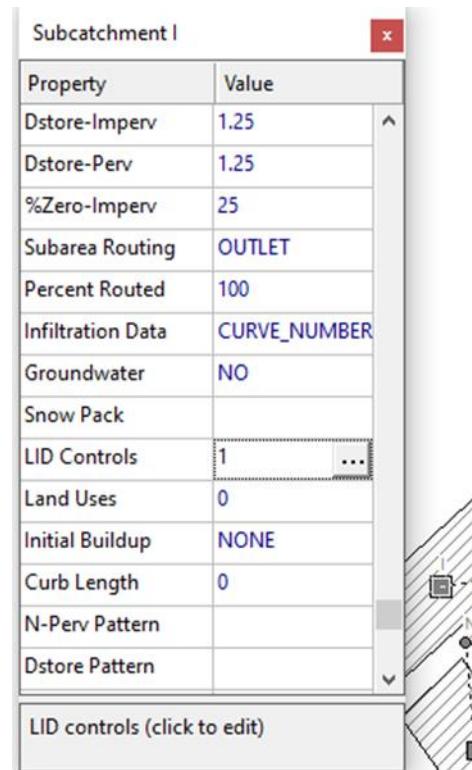
Se visualiza el gráfico de perfil del tramo N15–V a las 14 horas, momento en el cual se alcanza el caudal máximo, aplicando el SUDS de pavimento permeable.



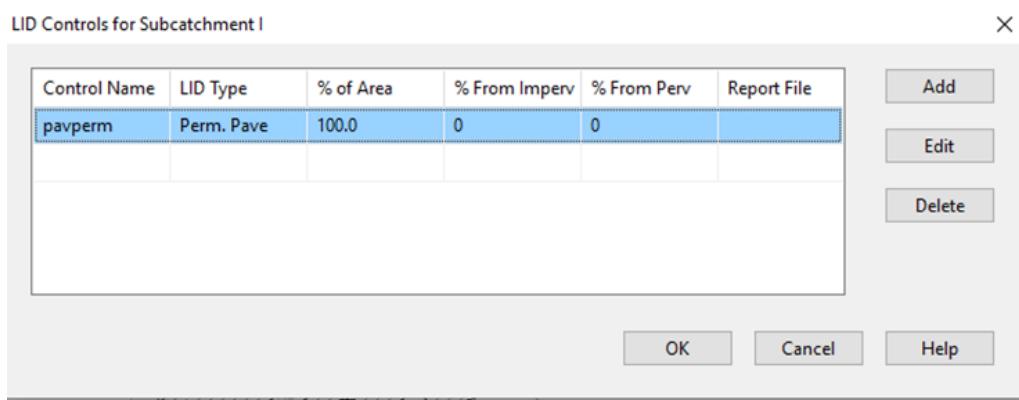
Se visualiza el mapa de flujo máximo de la red de drenaje pluvial propuesta, aplicando el SUDS de pavimento permeable.



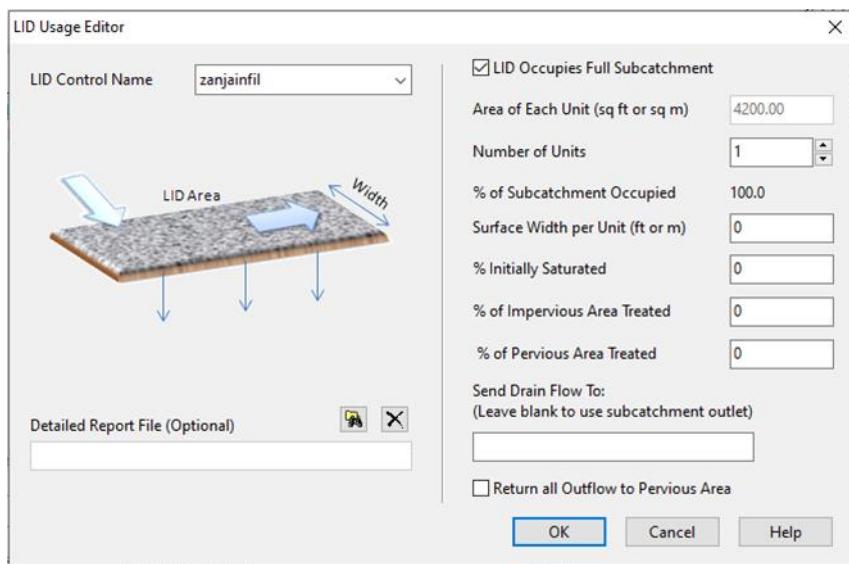
14. Se reemplaza el SUDS de pavimento permeable por el SUDS de zanja de infiltración. Para ello, se da doble clic en el centro de la subcuenca y, en '*LID Controls*', se hace clic en los puntos suspensivos.



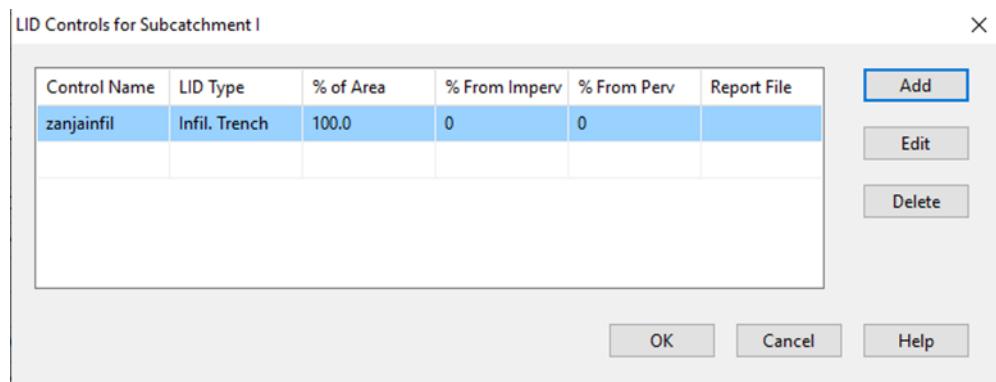
Aparece el cuadro '*LID Controls for Subcatchment I*'. Se hace clic en '*Delete*' para eliminar el SUDS de pavimento permeable y, a continuación, se selecciona '*Add*' para agregar el SUDS de zanja de infiltración.



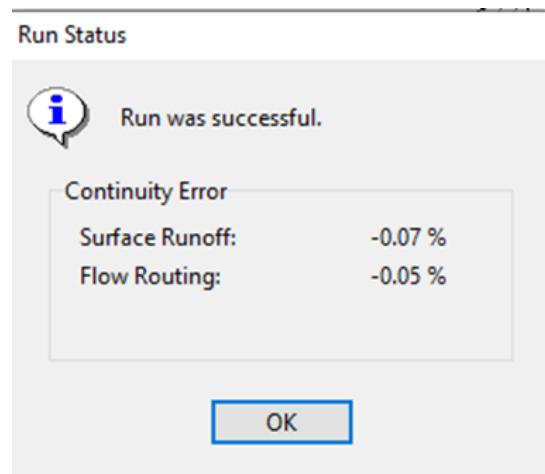
Aparece el cuadro ‘LID Usage Editor’. Se selecciona el SUDS ‘zanjainfil’ previamente ingresado y se activa la opción ‘LID Occupies Full Subcatchment’, dado que es el único SUDS en esa subcuenca para efectos de la comparación. Finalmente, se hace clic en ‘OK’.



Se corrobora que el SUDS seleccionado sea el correcto y, a continuación, se hace clic en ‘OK’ para finalizar.



Una vez asignados los SUDS a las subcuenca, se realiza la simulación. Se observa que esta es exitosa y válida.



Se obtienen los siguientes resultados. Se visualiza la tabla de resultados de escorrentía de las subcuenas, denominada '*Subcatchment Runoff*'.

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Imperv Runoff mm	Perv Runoff mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10^6 ltr	Peak Runoff CMS	Runoff Coeff
A	233.50	0.00	0.00	4.99	209.17	18.20	227.37	0.86	0.11	0.974
B	233.50	0.00	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
C	233.50	0.00	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
D	233.50	0.00	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
E	233.50	0.00	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
F	233.50	0.00	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
G	233.50	0.00	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
H	233.50	0.00	0.00	4.99	208.58	18.13	226.71	0.63	0.08	0.971
I	233.50	0.00	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
J	233.50	0.00	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
K	233.50	0.00	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
L	233.50	0.00	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
M	233.50	0.00	0.00	4.99	209.27	18.22	227.48	0.52	0.07	0.974
N	233.50	0.00	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Ñ	233.50	0.00	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
O	233.50	0.00	0.00	4.99	209.17	18.20	227.37	0.80	0.10	0.974
P	233.50	0.00	0.00	34.95	69.46	123.77	193.22	0.77	0.11	0.828
Q	233.50	0.00	0.00	4.99	208.48	18.12	226.60	0.48	0.06	0.970

Se visualiza la tabla de resultados de rendimiento del LID, denominada '*LID Performance*'.

Subcatchment	LID Control	Total Inflow mm	Evap Loss mm	Infil Loss mm	Surface Outflow mm	Drain Outflow mm	Initial Storage mm	Final Storage mm	Continuity Error %
B	zanjainfil	233.50	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	zanjainfil	233.50	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
D	zanjainfil	233.50	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E	zanjainfil	233.50	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	zanjainfil	233.50	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
G	zanjainfil	233.50	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I	zanjainfil	233.50	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
J	zanjainfil	233.50	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	zanjainfil	233.50	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
L	zanjainfil	233.50	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N	zanjainfil	233.50	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ñ	zanjainfil	233.50	0.00	233.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Se visualiza la tabla de resultados de profundidad de los nodos, denominada '*Node Depth*'

Node	Type	Average Depth Meters	Maximum Depth Meters	Maximum HGL Meters	Day of Maximum Depth	Hour of Maximum Depth	Maximum Reported Depth Meters
N1	JUNCTION	0.03	0.10	79.30	0	14:00	0.10
N2	JUNCTION	0.03	0.10	78.30	0	14:00	0.10
N3	JUNCTION	0.05	0.16	77.36	0	14:00	0.16
N4	JUNCTION	0.03	0.11	77.11	0	14:00	0.11
N5	JUNCTION	0.12	0.39	76.99	0	14:00	0.39
N6	JUNCTION	0.06	0.20	76.70	0	14:01	0.20
N7	JUNCTION	0.09	0.31	77.31	0	13:59	0.31
N10	JUNCTION	0.11	0.38	77.58	0	13:59	0.37
N8	JUNCTION	0.03	0.09	78.49	0	14:00	0.09
N9	JUNCTION	0.04	0.16	77.56	0	13:58	0.16
N11	JUNCTION	0.07	0.23	78.23	0	14:00	0.23
N12	JUNCTION	0.10	0.33	78.53	0	14:00	0.33
N13	JUNCTION	0.06	0.22	79.42	0	13:59	0.22
N14	JUNCTION	0.10	0.35	79.75	0	14:00	0.35
N15	JUNCTION	0.04	0.12	80.52	0	14:00	0.12
V	OUTFALL	0.06	0.20	70.20	0	14:01	0.20

- Se visualiza la tabla de resultados de flujo de entrada del nodo, denominada '*Node Inflow*'.

**Summary Results**

Topic: **Node Inflow** Click a column header to sort the column.

Node	Type	Maximum Lateral Inflow CMS	Maximum Total Inflow CMS	Day of Maximum Inflow	Hour of Maximum Inflow	Lateral Inflow Volume 10^6 ltr	Total Inflow Volume 10^6 ltr	Flow Balance Error %
N1	JUNCTION	0.082	0.082	0	14:00	0.634	0.634	0.008
N2	JUNCTION	0.000	0.082	0	14:00	0	0.634	0.021
N3	JUNCTION	0.000	0.082	0	14:00	0	0.634	0.049
N4	JUNCTION	0.000	0.082	0	14:00	0	0.634	0.026
N5	JUNCTION	0.000	0.548	0	14:00	0	4.06	0.032
N6	JUNCTION	0.000	0.544	0	14:00	0	4.06	0.042
N7	JUNCTION	0.000	0.464	0	13:59	0	3.43	0.028
N10	JUNCTION	0.000	0.470	0	13:59	0	3.43	0.037
N8	JUNCTION	0.068	0.068	0	14:00	0.523	0.523	0.000
N9	JUNCTION	0.000	0.068	0	14:00	0	0.523	0.031
N11	JUNCTION	0.000	0.386	0	14:00	0	2.9	0.012
N12	JUNCTION	0.000	0.386	0	13:59	0	2.91	0.031
N13	JUNCTION	0.103	0.390	0	13:59	0.795	2.91	0.006
N14	JUNCTION	0.171	0.283	0	14:00	1.25	2.11	0.046
N15	JUNCTION	0.112	0.112	0	14:00	0.863	0.863	-0.003
V	OUTFALL	0.000	0.542	0	14:01	0	4.06	0.000

Se visualiza la tabla de resultados de carga de desagüe, denominada '*Outfall Loading*'.

**Summary Results**

Topic: **Outfall Loading** Click a column header to sort the column.

Outfall Node	Flow Frequency %	Average Flow CMS	Maximum Flow CMS	Total Volume 10^6 ltr
V	96.40	0.079	0.542	4.055

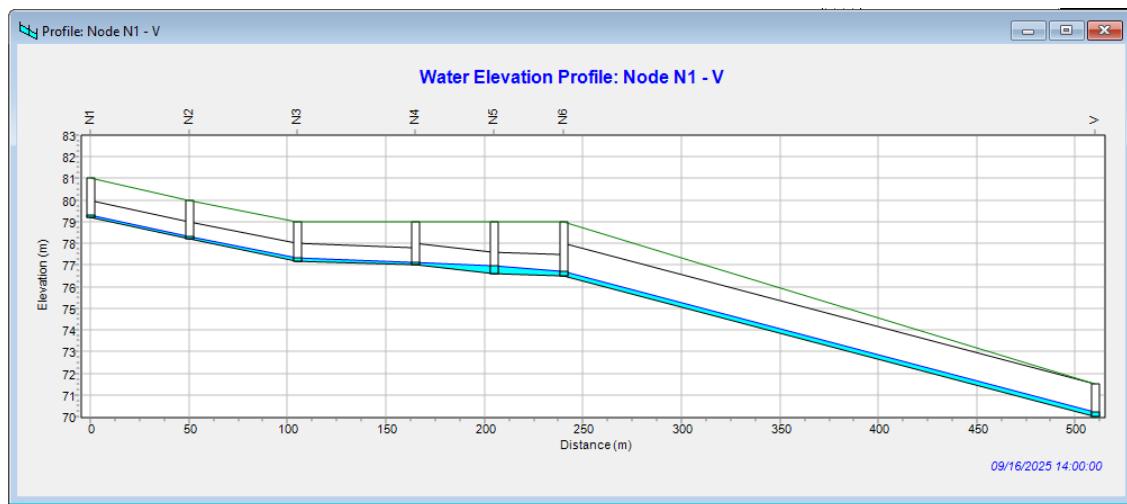
Se visualiza la tabla de resultados de flujo de conducto, denominada '*Link Flow*'.

Summary Results								
Topic: Link Flow		Click a column header to sort the column.						
Link	Type	Maximum  Flow  CMS	Day of Maximum Flow	Hour of Maximum Flow	Maximum  Velocity  m/sec	Max / Full Flow	Max / Full Depth	
C1	CONDUIT	0.082	0	14:00	2.20	0.03	0.13	
C2	CONDUIT	0.082	0	14:00	1.55	0.04	0.16	
C3	CONDUIT	0.082	0	14:00	1.48	0.08	0.17	
C4	CONDUIT	0.082	0	14:00	0.55	0.03	0.25	
C5	CONDUIT	0.544	0	14:00	2.79	0.33	0.30	
C15	CONDUIT	0.112	0	14:00	1.26	0.08	0.39	
C14	CONDUIT	0.288	0	14:00	2.19	0.67	0.47	
C13	CONDUIT	0.386	0	13:59	2.56	0.16	0.34	
C12	CONDUIT	0.386	0	14:00	2.48	0.35	0.35	
C11	CONDUIT	0.386	0	14:00	2.27	0.18	0.38	
C10	CONDUIT	0.068	0	14:00	1.84	0.05	0.22	
C9	CONDUIT	0.084	0	13:59	0.71	0.13	0.44	
C8	CONDUIT	0.464	0	13:59	2.28	0.45	0.43	
C7	CONDUIT	0.465	0	14:00	1.91	0.20	0.35	
C6	CONDUIT	0.542	0	14:01	3.87	0.04	0.13	

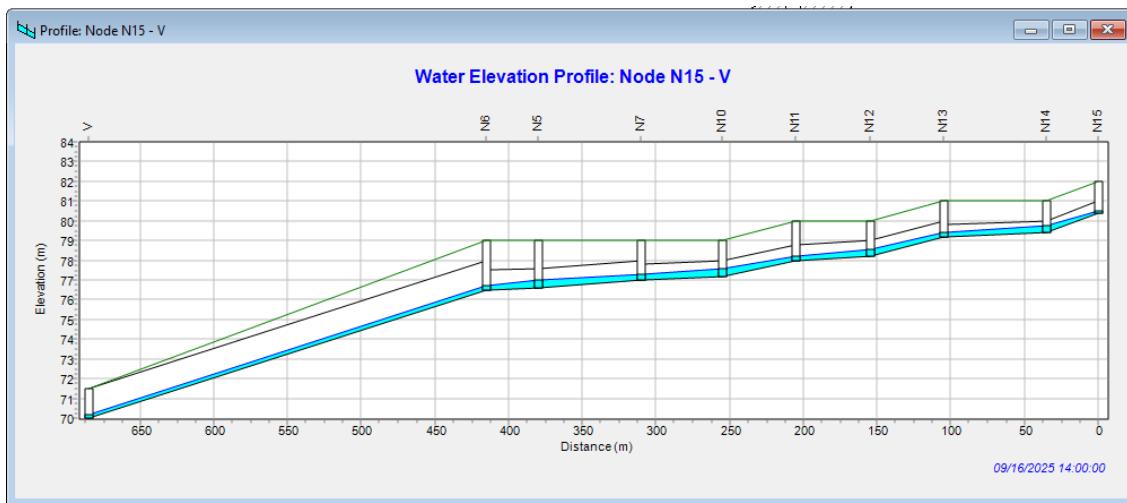
-Se visualiza la tabla de resultados de clasificación de flujo, denominada 'Flow Classification'.

Summary Results										
Topic: Flow Classification		Click a column header to sort the column. Flow class frequencies are fraction of all time steps.								
Conduit	Adjusted/Actual Length	Fully Dry	Upstrm Dry	Dnstrm Dry	Sub Critical	Super Critical	Upstrm Critical	Dnstrm Critical	Normal Flow Limited	Inlet Control
C1	1.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.96	0.00	0.00	0.95	0.00
C2	1.00	0.04	0.00	0.00	0.02	0.94	0.00	0.00	0.96	0.00
C3	1.00	0.04	0.00	0.00	0.02	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00
C4	1.00	0.04	0.00	0.00	0.96	0.00	0.00	0.00	0.96	0.00
C5	1.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.95	0.00	0.00	0.22	0.00
C15	1.00	0.04	0.00	0.00	0.93	0.02	0.00	0.00	0.96	0.00
C14	1.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.95	0.00	0.00	0.03	0.00
C13	1.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.96	0.00	0.00	0.96	0.00
C12	1.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.95	0.00	0.00	0.05	0.00
C11	1.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.95	0.00	0.00	0.96	0.00
C10	1.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.96	0.00	0.00	0.96	0.00
C9	1.00	0.04	0.00	0.00	0.96	0.00	0.00	0.00	0.93	0.00
C8	1.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.95	0.00	0.00	0.06	0.00
C7	1.00	0.04	0.00	0.00	0.21	0.75	0.00	0.00	0.91	0.00
C6	1.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.95	0.00	0.00	0.56	0.00

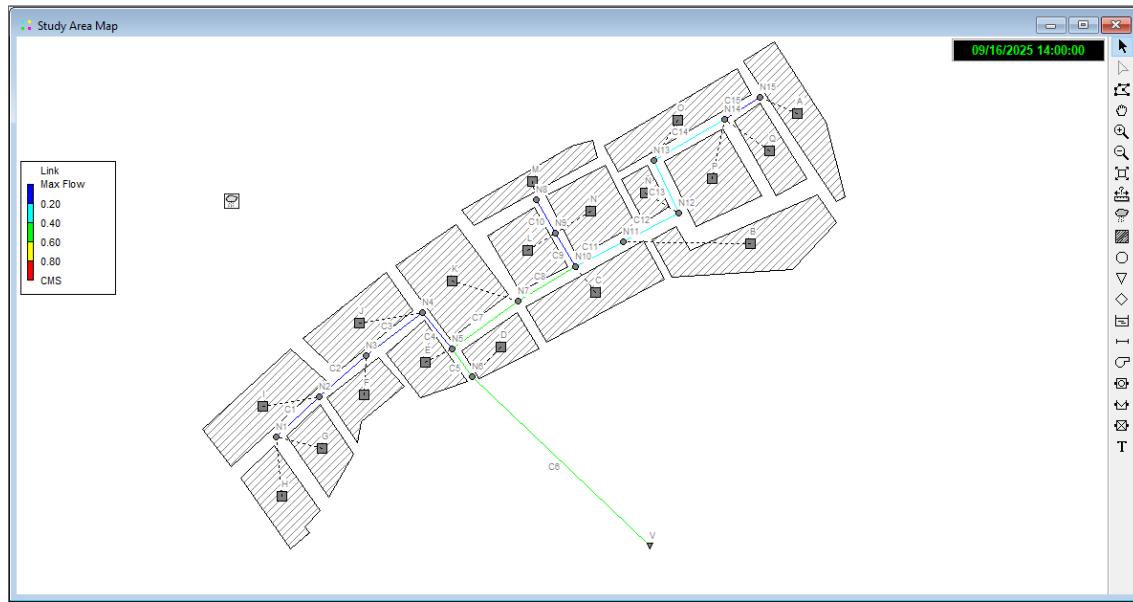
Se visualiza el gráfico de perfil del tramo N1–V a las 14 horas, momento en el cual se alcanza el caudal máximo, aplicando el SUDS de zanja de infiltración.



Se visualiza el gráfico de perfil del tramo N15–V a las 14 horas, momento en el cual se alcanza el caudal máximo, aplicando el SUDS de zanja de infiltración.



Se visualiza el mapa de flujo máximo de la red de drenaje pluvial propuesta, aplicando el SUDS de zanja de infiltración.



## Anexo 11

### *Procedimiento de Diseño de SUDS*

#### **a. Área de la superficie del Pavimento Permeable**

-Del plano catastral, se calcula el área donde se aplicará pavimento permeable:

JIRÓN	LARGO (m)	ANCHO (m)	AREA PAV (m2)
TUPAC AMARU	153.2	7	1072.40
YAWAR HUACA	116.5	7	815.50
MANCO CAPAC	229.9	6	1379.40

-Sumando lo obtenido en los tres jírones, se obtiene un área total de 3267.30 m2.

#### **b. Área de la superficie de la Zanja de Infiltración**

-Del plano catastral, se calcula el área donde se aplicará zanja de infiltración:

SUBCUENCA	LARGO (M)	ANCHO (M)	AREA (M2)
I	56.87	0.8	45.50
G	40	0.8	32.00
F	58.4	0.8	46.72
J	84.3	0.8	67.44
E	40	0.8	32.00
<i>JR TUPAC AMARU</i>			223.66
J	40	0.3	12.00
K	77.2	0.3	23.16
D	27	0.3	8.10
E	63	0.3	18.90
<i>JR YAWAR HUACA</i>			62.16
K2	60	1.8	108.00

D2	60	1.8	108.00
L	44	1.8	79.20
C	117.7	1.8	211.86
N	57.75	1.8	103.95
Ñ	25.7	1.8	46.26
B	24.4	1.8	43.92
<i>JR MANCO CAPAC</i>			701.19

-Sumando lo obtenido en los tres jirones, se obtiene un área total de 987.01 m<sup>2</sup>.

### c. Volumen de Escurrimiento de diseño ( $V_{wq}$ )

-De la tabla de resultados obtenidos de SWMM, se presenta:

Subcuenca	Volumen total de Escurrimiento	
	(10 <sup>6</sup> L)	Volumen total de Escurrimiento (m <sup>3</sup> )
A	0.86	860
B	1.29	1290
C	0.93	930
D	0.43	430
E	0.52	520
F	0.41	410
G	0.52	520
H	0.63	630
I	0.95	950
J	0.82	820
K	1.04	1040
L	0.49	490

M	0.52	520
N	0.77	770
Ñ	0.23	230
O	0.8	800
P	0.77	770
Q	0.48	480
PROMEDIO		692.22

-El volumen de escurrimiento de diseño es 692.22 m<sup>3</sup>.

#### d. Permeabilidad

El estudio de suelos del presente trabajo determinó que el tipo de suelo de Santa Clemencia es Arena Mal Graduada (SP). Entonces, se utilizó la siguiente tabla de Minnesota Stormwater Manual (2021)

Hydrologic soil group	Infiltration rate (inches/hour)	Infiltration rate (centimeters/hour)	Soil textures	Corresponding Unified Soil Classification <sup>1</sup>
A	Although a value of 1.63 inches per hour (4.14 centimeters per hour) may be used, it is <b>Highly recommended</b> that you conduct field infiltration tests or amend soils. <sup>b</sup> See <a href="#">Guidance for amending soils with rapid or high infiltration rates</a> and <a href="#">Determining soil infiltration rates</a> .			gravel sandy gravel GW - Well-graded gravels, fine to coarse gravel GP - Poorly graded gravel
	1.63 <sup>a</sup>	4.14	silty gravels gravely sands sand	GM - Silty gravel SW - Well-graded sand, fine to coarse sand
	0.8	2.03	sand loamy sand sandy loam	SP - Poorly graded sand
B	0.45	1.14	silty sands	SM - Silty sand
	0.3	0.76	loam, silt loam	MH - Elastic silt
C	0.2	0.51	Sandy clay loam, silts	ML - Silt
D	0.06	0.15	clay loam silty clay loam sandy clay silty clay clay	GC - Clayey gravel SC - Clayey sand CL - Lean clay OL - Organic silt CH - Fat clay  OH - Organic clay, organic silt

-Entonces la permeabilidad del suelo de Santa Clemencia es 2.03 cm/h, equivalente a 0.000564 cm/s y 20.30 mm/h.

-Por lo tanto, la permeabilidad de diseño para los SUDS es 0.000282 cm/s.

## e. Diseño de pavimento permeable

### - Datos

Volumen de escurrimiento de diseño ( $V_{wq}$ ) = 692.22 m<sup>3</sup>

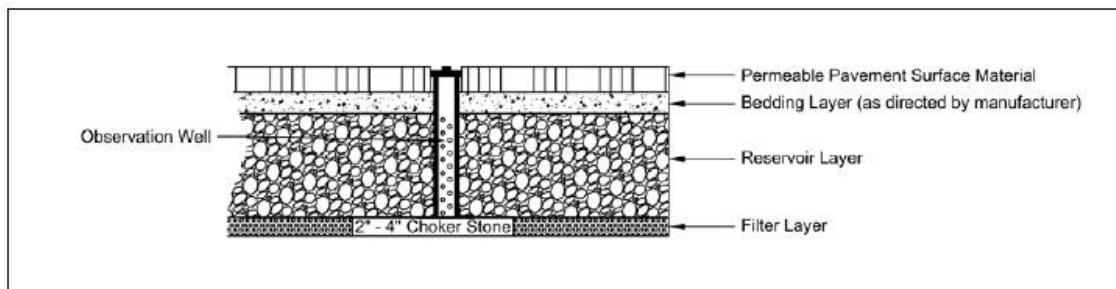
Permeabilidad del suelo ( $K$ ) = 0.000564 cm/s

Permeabilidad de diseño ( $K_d$ ) = 0.000282 cm/s

Área de la superficie del pavimento permeable ( $A_{pavperm}$ ) = 3267.30 m<sup>2</sup>

### - Procedimiento

El diseño es en base al Stormwater Management Guidebook (2020), elaborado por Department Of Energy and Environment (DOEE) Se presenta la sección típica de un pavimento permeable:



### - Restricciones

-El Stormwater Management Guidebook (2020) señala que:

Pendiente máxima del pavimento permeable ( $S_{max}$ ) = 5 %

### - Diseño de la capa superficial (Surface)

-Stormwater Management Guidebook (2020) indica:

**Table 3-11 Permeable Pavement Specifications for a Variety of Typical Surface Materials**

Material	Specification	Notes
Permeable Pavers (PP)	Void content, thickness, and compressive strength vary based on type and manufacturer  Open void fill media: aggregate, topsoil and grass, coarse sand, etc	Reservoir layer required to support the structural load.
Pervious Concrete (PC)	Void content: 15–20% Thickness: Typically 4–8 inches Compressive strength: 2.8–28 MPa Open void fill media: None	May not require a reservoir layer to support the structural load, but a layer may be included to increase the storage or infiltration.
Porous Asphalt (PA)	Void content: 15–20% Thickness: Typically 3–7 inches (depending on traffic load) Open void fill media: None	Reservoir layer required to support the structural load.

-Se considera al concreto permeable (PC) como material de la superficie, entonces:

$$\text{Relación de vacíos (e)} = 0.15$$

$$\text{Espesor} = 0.15 \text{ m}$$

$$\text{Resistencia a la Compresión} = 280 \text{ kg/cm}^2$$

Para las demás capas, Stormwater Management Guidebook (2020) señala:

**Table 3-12 Material Specifications for Typical Layers Beneath the Pavement Surface**

Material	Specification	Notes
Bedding Layer	PC: 3–4 inches of No. 57 stone if No. 2 stone is used for Reservoir Layer PA: 3–4 inches of No. 57 stone PP: Follow manufacturer specifications	ASTM D448 size No. 57 stone (i.e., 1/2 to 1-1/2 inches in size). Must be washed clean and free of fines (no more than 2% passing the No. 200 sieve)
Reservoir Layer	PC: No. 57 stone or No. 2 stone PA: No. 2 stone PP: Follow manufacturer specifications	ASTM D448 size No. 57 stone; No. 2 Stone (i.e., 3/4 to 3 inches in size). Depth is based on the pavement structural and hydraulic requirements. Must be washed clean and free of fines. Other appropriate materials may be used if accepted by DOEE.
Underdrain	Use 4- to 6-inch diameter perforated PVC pipe (or equivalent corrugated HDPE may be used for smaller load-bearing applications), with 3 or 4 rows of 3/8-inch perforations at 6 inches on center. Perforated pipe installed for the full length of the permeable pavement cell, and non-perforated pipe, as needed, used to connect with the storm drain system. T's and Y's should be installed as needed, depending on the underdrain configuration. Extend cleanout pipes to the surface.	
Infiltration Sump (optional)	An aggregate storage layer below the underdrain invert. The material specifications are the same as Reservoir Layer.	
Filter Layer (optional)	The underlying native soils should be separated from the stone reservoir by a 2- to 4-inch layer of choker stone (e.g., No. 8).	
Geotextile (optional)	Use an appropriate geotextile fabric for both sides and/or bottom that complies with AASHTO M-288 Class 2 requirements and has a permeability of at least an order of magnitude (10 times) higher than the soil subgrade permeability. Low-permeability geotextile fabric may be used as a check dam material.	
Impermeable Liner (optional)	Where appropriate, use PVC geomembrane liner or equivalent.	
Observation Well	Use a perforated 4- to 6-inch vertical PVC pipe (AASHTO M-252) with a lockable cap, installed flush with the surface.	

#### **- Diseño de la capa de asiento (Bedding layer)**

Entonces:

$$\text{Espesor} = 0.10 \text{ m}$$

$$\text{Material} = \text{Piedra N}^{\circ}57$$

#### **- Diseño de la capa de almacenamiento (Reservoir layer)**

Entonces:

Material = Piedra N°2

Stormwater Management Guidebook (2020) señala que la profundidad máxima de la capa de almacenamiento se determina mediante:

$$d_{max} = \frac{K_d \times T_{max}}{e}$$

Donde:

$d_{max}$  : Profundidad máxima de la capa de almacenamiento

$K_d$  : Permeabilidad de diseño (cm/s)

$T_{max}$  : Tiempo de drenado máximo (48 h)

$e$  : Relación de vacíos del material de la capa de reservorio (0.4)

Por lo tanto:

$$d_{max} = 1.22 \text{ m}$$

Stormwater Management Guidebook (2020) señala que la profundidad mínima de la capa de almacenamiento se determina mediante:

$$d_{min} = \frac{V_{wq}}{A_{pavperm} \times e}$$

Donde:

$V_{wq}$  : Volumen de escurrimiento de diseño ( $\text{m}^3$ )

$A_{pavperm}$  : Área de la superficie del pavimento permeable ( $\text{m}^2$ )

$e$  : Relación de vacíos del material de la capa de reservorio (0.4)

Por lo tanto:

$$d_{min} = 0.53 \text{ m}$$

Por criterios constructivos Stormwater Management Guidebook (2020) indica que se considera un borde libre de 0.10 m y que la profundidad mínima de la capa de almacenamiento debe ser mínimo 0.60 m, por lo tanto,  $d = 0.60 \text{ m}$ .

**- Diseño de la capa filtrante (Filter Layer)**

Entonces:

Espesor = 0.10 m

Material = Piedra N°8

**- Diseño del pozo de observación (Observation Well)**

Entonces:

Material = Tubería PVC perforada

Diámetro = 0.15 m

Perforaciones = 3 o 4 filas de perforaciones ( $\Phi 3/8"$ ) cada 0.15 m. Solo en la capa de reservorio.

Distancia entre pozos = 15 m

**- Tabla resumen**

<b>GENERAL</b>	
Área	3267.30 m <sup>2</sup>
<b>CAPA SUPERFICIAL (SURFACE)</b>	
Material	Concreto
Relación de Vacíos (e)	0.2
Espesor	0.15 m
f'c	280 kg/cm <sup>2</sup>
<b>CAPA DE ASIENTO (BEDDING LAYER)</b>	
Espesor	0.1 m
Material	Piedra N°57
<b>CAPA DE ALMACENAMIENTO (RESERVOIR LAYER)</b>	
Material	Piedra N°2
Espesor	0.60 m

Borde Libre	0.10 m
<b>CAPA FILTRANTE (FILTER LAYER)</b>	
Espesor	0.10 m
Material	Piedra N°8
<b>POZO DE OBSERVACIÓN (OBSERVATION WELL)</b>	
Material	Tubería PVC perforada
Diámetro	0.15 m
Perforaciones	3 o 4 filas de perforaciones $(\Phi 3/8")$ cada 0.15 m. Solo en la capa de reservorio.
Distancia entre pozos	15 m

**- Tabla de parámetros ingresados al SWMM**

<b>SURFACE</b>	
Berm Height	200 mm
Vegetation Volume Fraction	0
Surface Roughness (n)	0.012
Surface Slope	0.2 %
<b>PAVEMENT</b>	
Thickness	150 mm
Void Ratio	0.15
Impervious Surface Fraction	0
Permeability	7200 mm/h

<b>STORAGE</b>	
Thickness	700 mm
Void Ratio	0.4
Seepage Rate	20.30 mm/h

## f. DISEÑO DE ZANJA DE INFILTRACIÓN

### - Datos

Volumen de escurrimiento de diseño ( $V_{wq}$ ) = 692.22 m<sup>3</sup>

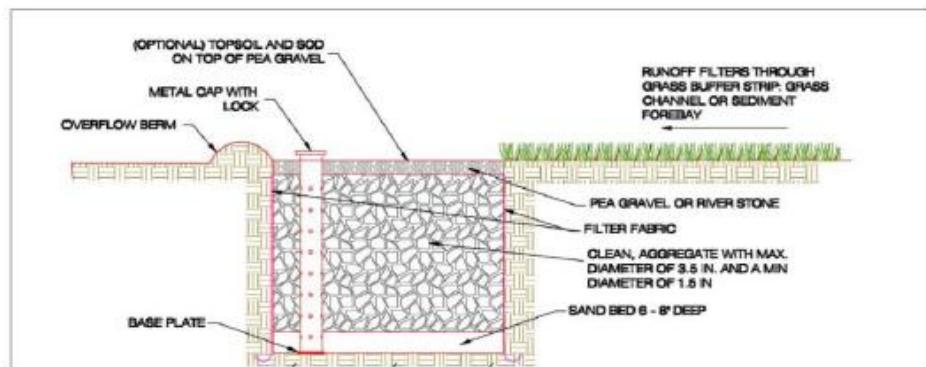
Permeabilidad del suelo ( $K$ ) = 0.000564 cm/s

Permeabilidad de diseño ( $K_d$ ) = 0.000282 cm/s

Área de la superficie de zanja de infiltración ( $A_{zanjainfil}$ ) = 987.01 m<sup>2</sup>

### - Procedimiento

El diseño es en base al Stormwater Management Guidebook (2020), elaborado por Department Of Energy and Environment (DOEE) Se presenta la sección típica de una zanja de infiltración:



### - Restricciones

-El Stormwater Management Guidebook (2020) señala que:

Pendiente máxima de la zanja de infiltración ( $S_{max}$ ) = 6 %

Para las capas de la zanja de infiltración, Stormwater Management Guidebook (2020)

señala:

**Table 3.30 Infiltration Material Specifications**

Material	Specification	Notes	
Surface Layer (optional)	Topsoil and grass layer		
Surface Stone	Install a 3-inch layer of river stone or pea gravel.	Provides an attractive surface cover that can suppress weed growth.	
Stone Layer	Aggregate with a maximum diameter of 3.5 inches and a minimum diameter of 1.5 inches. Stone must be washed clean and free of fines (no more than 2% passing the No. 200 sieve).		
Observation Well	Install a vertical 6-inch Schedule 40 PVC perforated pipe, with a lockable cap and anchor plate.	Install one per 50 feet of length of infiltration practice.	
Overflow Collection Pipe (optional)	Use 4- or 6-inch rigid schedule 40 PVC pipe, with three or four rows of 3/8-inch perforations at 6 inches on center.		
Trench Bottom	Install a 6- to 8-inch sand layer (e.g., ASTM C-33, 0.02–0.04 inch in diameter)		
Geotextile Fabric (sides only)	An appropriate geotextile fabric that complies with AASHTO M-288 Class 2, latest edition, requirements and has a permeability of at least an order of magnitude (10 times) higher than the soil subgrade permeability must be used.		

### - Diseño de la capa superficial (Surface Stone)

Entonces:

$$\text{Espesor} = 0.075 \text{ m}$$

Material = Piedra de río (Cantos rodados) menor a 6"

### - Diseño de la capa de almacenamiento (Stone layer)

Entonces:

Material = Agregado (1.5" - 3.5"). Piedra lavada y libre de finos (Menos del 2% pasa la malla N° 200).

Stormwater Management Guidebook (2020) señala que la profundidad máxima de la capa de almacenamiento se determina mediante:

$$d_{max} = \frac{K_d \times T_{max}}{e}$$

Donde:

$d_{max}$  : Profundidad máxima de la capa de almacenamiento

$K_d$  : Permeabilidad de diseño (cm/s)

$T_{max}$  : Tiempo de drenado máximo (72 h)

$e$  : Relación de vacíos del material de la capa de reservorio (0.4)

Por lo tanto:

$$d_{max} = 1.83 \text{ m}$$

Stormwater Management Guidebook (2020) señala que el área mínima de la superficie de la zanja de infiltración se determina mediante:

$$A_{min} = \frac{V_{wq}}{d_{max} \times e}$$

Donde:

$V_{wq}$  : Volumen de escurrimiento de diseño ( $m^3$ )

$d_{max}$  : Profundidad máxima de la capa de reservorio (m)

e : Relación de vacíos del material de la capa de reservorio (0.4)

Por lo tanto:

$$A_{min} = 947.21 \text{ m}^2$$

Teniendo en cuenta que  $A_{zanja infil} = 987.01 \text{ m}^2$ , es mayor al mínimo, se confirma que es válido el área de la superficie de la zanja de infiltración del presente trabajo.

Entonces, la profundidad de la capa de reservorio es:

$$d = 1.75 \text{ m}$$

Es menor que  $d_{max} = 1.83 \text{ m}$ , por lo que es válido.

Por criterios constructivos Stormwater Management Guidebook (2020) indica que se considera un borde libre de 0.10 m.

#### **g. Diseño del fondo de la zanja (Trench Bottom)**

Entonces:

$$\text{Espesor} = 0.15 \text{ m}$$

Material = Arena con especificaciones ASTM C-33, 0.02" – 0.04"

#### **h. Diseño del pozo de observación (Observation well)**

Entonces:

Material = Tubería PVC perforada

$$\text{Diámetro} = 0.15 \text{ m}$$

Perforaciones = 3 o 4 filas de perforaciones ( $\Phi 3/8"$ ) cada 0.15 m. Solo en la capa de

reservorio.

Distancia entre pozos = 15 m

**- Tabla resumen**

<b>GENERAL</b>	
Área	987.01 m <sup>2</sup>
<b>CAPA SUPERFICIAL (SURFACE STONE)</b>	
Espesor	0.075 m
Material	Piedra de río (Cantos rodados) menor a 6"
<b>CAPA DE ALMACENAMIENTO (STONE LAYER)</b>	
Material	Agregado (1.5" - 3.5").  Piedra lavada y libre de finos (Menos del 2% pasa la malla N° 200).
Espesor	1.75 m
Borde Libre	0.10 m
<b>FONDO DE LA ZANJA (TRENCH BOTTOM)</b>	
Espesor	0.15 m
Material	Arena con especificaciones ASTM C-33, 0.02" – 0.04"
<b>POZO DE OBSERVACIÓN (OBSERVATION WELL)</b>	
Material	Tubería PVC perforada
Diámetro	0.15 m

Perforaciones	3 o 4 filas de perforaciones (Φ 3/8") cada 0.15 m. Solo en la capa de reservorio.
Distancia entre pozos	15 m

**i. Tabla de parámetros ingresados al SWMM**

<b>SURFACE</b>	
Berm Height	200 mm
Vegetation Volume Fraction	0
Surface Roughness (n)	0.1
Surface Slope	0.2 %
<b>STORAGE</b>	
Thickness	1850 mm
Void Ratio	0.4
Seepage Rate	20.30 mm/h

## **Anexo 12**

### *Planos*

- Relación de Planos:

- T-01: Cuenca Hidrográfica del Río Lacamarca
- T-02: Uso de Suelo de la Cuenca Hidrográfica del Río Lacamarca
- T-03: Textura de Suelo de la Cuenca Hidrográfica del Río Lacamarca
- T-04: CN Interpolado de la Cuenca Hidrográfica del Río Lacamarca
- T-05: Ubicación y Localización del C.P. Santa Clemencia
- T-06: Propuesta de Pavimento Permeable en el C.P. Santa Clemencia
- T-07: Propuesta de Zanja de Infiltración en el C.P. Santa Clemencia