UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE ESCORRENTÍA PARA EL DRENAJE PLUVIAL URBANO MEDIANTE LA SIMULACIÓN DE LLUVIAS EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO CIVIL

RAMIREZ PEREZ, SILVIA MELANY

Pucallpa – Perú

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 09-2026

GRADUANDO :
RAMIREZ PEREZ, Silvia Melany

TEMA : ***"DETERMINACION DEL CAUDAL DE ESCORRENTÍA PARA EL DRENAJE PLUVIAL URBANO MEDIANTE LA SIMULACION DE LLUVIAS EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI."***

ASESOR : Dr. David Abel GONZALEZ MANRIQUE DE LARA

CRITERIOS	PUNTAJE			
	3	2	1	0
I- PRESENTACION				
* MOTIVACION		X		
* TONO DE VOZ		X		
* CALIDAD DE MATERIAL AUDIOVISUAL	X			
II- DESARROLLO DE CONTENIDO				
* SECUENCIA	X			
* DOMINIO DE VOZ		X		
* USO ADECUADO DEL MATERIAL		X		
* VALIDEZ DE LOS HALLAZGOS		X		
III- ABSOLUCION DE PREGUNTAS				
* RESPONDE A LAS PREGUNTAS FORMULADAS POR EL JURADO		X		
IV- APORTE CIENTIFICO Y TECNOLOGICO				
* AL DESARROLLO DE LA COMUNIDAD		X		
* A LA PROFESION		X		

EVALUACION

• EXCELENCIA	26 A 30 PUNTOS
• UNANIMIDAD	21 A 25 PUNTOS
• MAYORIA	16 A 20 PUNTOS
• DESAPROBADO	15 A MENOS

CALIFICACION FINAL:
PUNTAJE : **22** / 30

CONCLUSIONES:
APROBADO POR : **UNANIMIDAD**
DESAPROBADO POR :

JURADO EVALUADOR

Dr. Horacio SORIANO ALAVA
PRESIDENTE

Dr. Devyn Omar DONAYRE HERNANDEZ
MIEMBRO

Mg. Mijael Gabriel MERCADO ROJAS
MIEMBRO

M.SC. CLOTILDE RÍOS HIDALGO DE CERNA
SECRETARIA ACADÉMICA

PUCALLPA, 27 DE ENERO DEL 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

TESIS TITULADO: "DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE ESCORRENTÍA PARA EL DRENAJE URBANO MEDIANTE LA SIMULACIÓN DE LLUVIAS EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI"

ELABORADO POR: Bach. SILVIA MELANY RAMIREZ PEREZ

APROBADO POR:

Dr. HORACIO SORIANO ALAVA
PRESIDENTE

Dr. DEVYN OMAR DONAYRE HERNÁNDEZ
MIEMBRO

Mg. MIJAEL GABRIEL MERCADO ROJAS
MIEMBRO

Dr. DAVID ABEL GONZALEZ MANRIQUE DE LARA
ASESOR DE TESIS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Nº V/773-2025.

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que el trabajo académico de investigación, titulado:

"DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE ESCORRENTÍA PARA EL DRENAJE PLUVIAL URBANO MEDIANTE LA SIMULACIÓN DE LLUVIAS EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI"

Autor(es)	:	RAMIREZ PEREZ, SILVIA MELANY
Facultad	:	INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL
Escuela	:	ING. CIVIL
Asesor(a)	:	Dr. GONZALEZ MANRIQUE DE LARA, DAVID ABEL

Presenta un **porcentaje de similitud de 8%**, verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO,

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que todo trabajo de investigación no debe superar el 10%. **En tal sentido, se declara, que el presente trabajo de investigación presenta un porcentaje aceptable de similitud,** procediéndose a emitir la presente Constancia de Originalidad de Trabajo de Investigación (COTI) a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 16/12/2025

Dr. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, SILVIA MELANY RAMIREZ PÉREZ.

Autor de la tesis titulada : DETERMINACION DEL CAUDAL DE ESCORRENTIA PARA EL DRENAJE PLUVIAL URBANO MEDIANTE LA SIMULACION DE LLUVIAS EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI.

Sustentada el año 2026

Asesor(a): DR. DAVID ABEL GONZALES MANRIQUE DE LARA.

Facultad: INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

Escuela Profesional: INGENIERIA CIVIL

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 27 / 01 / 2026

Email: ingmelanye7@gmail.com Firma:

Teléfono: 993080410 DNI: 47031268

DEDICATORIA

A Dios por su infinita bondad, por
guiarme en el buen camino e iluminar
mi vida.
A mi madre, Reyna María Pérez Pérez,
por su amor incondicional, por su fuerza,
por ser mi mayor ejemplo de perseverancia
e impulso a lo largo de este proceso
de formación universitaria.
Cada sacrificio que ha hecho
y cada palabra de aliento que me ha brindado
han sido la luz que me ha guiado
en momentos de incertidumbre.
Gracias por creer en mí
cuando a veces dudaba de mí misma,
por estar a mi lado
y por motivarme a seguir adelante.
Este logro no es solo mío; es nuestro.
Gracias por ser mi inspiración
y mi mayor apoyo ante las diversas adversidades
que se me presentan.
Con todo mi amor,

Melany Ramirez

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios, por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesaria para culminar esta etapa tan importante de mi vida.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han hecho posible la realización de mi tesis, que marca un importante hito en mi formación académica y profesional.

A mis padres, por su amor incondicional, su apoyo constante y por ser mi mayor motivación. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y por acompañarme en cada paso de este camino.

A mi familia, por estar siempre presentes, por sus palabras de aliento y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles. Su confianza en mí ha sido un pilar en mi vida que siempre llevaré en mi corazón.

Agradecer también a mi casa de estudio “Universidad Nacional de Ucayali”, a mis formadores Ingenieros Civiles (docentes), personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por ayudarme a llegar al punto en el que me encuentro.

A mi asesor de tesis, por su orientación, paciencia y dedicación durante el desarrollo de este trabajo. Sus conocimientos y consejos fueron fundamentales para arribar a este resultado.

Finalmente, agradezco a todas las personas e instituciones que, de una u otra manera, aportaron a la realización de este proyecto. Cada aporte fue valioso y significativo.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento.

RESUMEN

La presente investigación abarca la evaluación del sistema de drenaje pluvial urbano en la Universidad Nacional de Ucayali, dado los problemas de inundación superficial y encharcamiento que experimenta durante los eventos de lluvias intensas. Para ello se diseñó una investigación aplicada, de nivel descriptivo-explicativo, y un diseño pre experimental de laboratorio, con el simulador de lluvias se buscó determinar el efecto de la simulación de lluvias en la determinación del caudal de escorrentía y la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano en el campus universitario. Los resultados de la topografía indican que el terreno tiene una pendiente promedio de 0.9% y zonas críticas sin posibilidad de drenaje, lo que favorece el encharcamiento y acumulación de agua en sectores específicos. El estudio hidrológico reveló que para un evento de precipitación de 138 mm/hora con un periodo de retorno de 50 años, el caudal pico de escorrentía alcanza un valor de 4.46 m3/s, considerando el coeficiente de escorrentía más crítico de los ensayos de simulación de lluvias en suelos arcilloso. El modelamiento hidráulico del sistema, con la implementación de los SUDS (jardines, depósitos de filtración, zanjas vegetales), obtuvo una reducción del 64% de la acumulación de agua en áreas vulnerables. Se concluye que la implementación de este tipo de estrategias sostenibles para la mitigación de problemas de inundación urbana puede mejorar la eficiencia del drenaje pluvial urbano en el campus universitario.

Palabras clave: Caudal de escorrentía, SUDS, simulador de lluvia.

ABSTRACT

This research studies the urban stormwater drainage system at the National University of Ucayali, due to the difficulties it faces during heavy rainfall events, such as surface flooding and waterlogging. An applied, descriptive-explanatory study was conducted using a pre-experimental laboratory design. A rainfall simulator was used to determine how simulated rainfall impacted both runoff flow measurements and the effectiveness of the urban stormwater drainage system within the university campus. Topographic findings show that the terrain has an average slope of 0.9% and critical areas with no drainage options, which leads to water accumulation and pooling in specific zones. The hydrological study revealed that for a rainfall event of 138 mm/hour with a 50-year return period, the peak runoff reaches a value of 4.46 m^3/s, considering the most critical runoff coefficient from rainfall simulation tests on clay soils. Hydraulic modeling of the system, with the implementation of SUDS (vegetated gardens, infiltration basins, and vegetated trenches), resulted in a 64% reduction in water accumulation in vulnerable areas. It is concluded that implementing this type of sustainable strategy for mitigating urban flooding problems can improve the efficiency of urban stormwater drainage on the university campus.

Keywords: Runoff flow, SUDS, rainfall simulator.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.. vi

AGRADECIMIENTO vii

RESUMEN…….....viii

ABSTRACT……..... ix

ÍNDICE GENERAL x

ÍNDICE DE TABLAS.....xiii

ÍNDICE DE FIGURAS..... xvi

INTRODUCCIÓN..... xix

CAPÍTULO I….. 20

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 20

1.1. DESCRIPCIÓN Y FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA 20

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....22

1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....22

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS 22

1.3. OBJETIVOS.....23

1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....23

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 23

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....23

1.5. LIMITACIONES Y ALCANCES 25

1.6. HIPÓTESIS.....25

1.6.1. HIPÓTESIS GENERAL 25

1.6.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....25

1.7. SISTEMA DE VARIABLES, DIMENSIONES E INDICADORES 26

1.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.....26

1.7.2. VARIABLE DEPENDIENTE.....26

CAPITULO II MARCO TEÓRICO.....29

2.1. ANTECEDENTES O REVISIÓN DE ESTUDIOS REALIZADOS. 29

2.2. BASES TEÓRICAS. 34
2.2.1. Teorías sobre la hidrología urbana..... 34
2.2.2. Teorías e instrumentos para medir las precipitaciones. 40
2.2.3. Teorías sobre las cuencas urbanas. 44
2.2.4. Teorías para la determinación del caudal de escorrentía. 49
2.2.5. Teorías sobre la simulación de lluvias. 80
2.2.6. Marco normativo para diseño de sistemas de drenaje urbano. 83
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS 84
CAPITULO III METODOLOGÍA..... 86
3.1. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS UTILIZADAS 86
3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN 86
3.1.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN 87
3.1.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN..... 87
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA..... 94
3.2.1. POBLACIÓN. 94
3.2.2. MUESTRA..... 95
3.3. PROCEDIMIENTO. 96
CAPITULO IV PRESENTACIÓN DE RESULTADOS..... 99
4.1. Resultados del trabajo de campo. 99
4.1.1. Características topográficas. 99
4.1.2. Estudio de Mecánica de Suelos. 100
4.1.3. Datos hidrológicos. 102
4.2. Prueba de datos dudosos (Método Water Resources Councill). 104
4.2.1. Análisis estadístico de datos hidrológicos. 106
4.2.2. Pruebas de bondad de ajuste Kolmogorov – Smirnov..... 112
4.2.3. Determinación del caudal de escorrentía con simulación de lluvias. 129
4.3. Prueba de análisis de varianza. 148
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 148

CONCLUSIONES 153

RECOMENDACIONES O SUGERENCIAS 155

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....156

ANEXOS…… 160

Anexo N°01 – Matriz de consistencia 161

Anexo N°02 – Instrumento de recolección.....163

Anexo N°03 – Base de datos hidrológicos de la Estación Meteorológica Manual UNU-SENAMHI.....164

Anexo N°04 – Panel fotográfico 165

Anexo N°05 – Planos.....186

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Matriz operacional de la variable Caudal de escorrentía.* 27

Tabla 2 *Matriz operacional de la variable Eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano.* 28

Tabla 3 *Coeficiente de Manning para escorrentía superficial.* 46

Tabla 4 *Valores de periodo de retorno T en años.* 64

Tabla 5 *Coeficientes de duración de lluvias entre 48 horas y una hora.* 72

Tabla 6 *Coeficientes de escorrentía por el método racional.* 79

Tabla 7 *Formato de Guía de observación para caudal de escorrentía.* 94

Tabla 8 *Resultados de análisis granulométrico del suelo.* 100

Tabla 9 *Resultados de índice de plasticidad y contenido de humedad del suelo.* 101

Tabla 10 *Precipitación máxima en 24 horas (P24), por año, en la ciudad de Pucallpa, 2004-2025*. 102

Tabla 11 *Registro histórico de precipitación máxima en 24 horas en la ciudad de Pucallpa, 2004-2025.* 103

Tabla 12 *Valores Kn para la prueba de datos dudosos.* 105

Tabla 13 *Modelos de distribución de datos de precipitaciones pluviales.* 106

Tabla 14 *Prueba de Bondad de Ajuste Kolmogorov-Smirnov.* 112

Tabla 15 *Valor crítico "d" para la prueba de bondad Kolmogorov-Smirnov.* 113

Tabla 16 *Precipitaciones máximas anuales en 24 horas.* 119

Tabla 17 *Valores de los parámetros "a" y "n" para las subzonas.* 122

Tabla 18 *Valores de precipitaciones para duraciones menores a 24 horas.* 125

Tabla 19 *Valores de intensidades para duraciones menores a 24 horas.* 126

Tabla 20 *Valores de precipitación de diseño por método del bloque alterno.* 128

Tabla 21 *Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°01 en muestra N°01 – suelo arcilloso.* 130

Tabla 22 *Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°02 en muestra N°01 – suelo arcilloso.* 131

Tabla 23 *Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°03 en muestra N°01 – suelo arcilloso.* 132

Tabla 24 *Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°01 en muestra N°02 – suelo afirmado.* 133

Tabla 25 *Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°02 en muestra N°02 – suelo afirmado.* 134

Tabla 26 *Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°03 en muestra N°02 – suelo afirmado.* 135

Tabla 27 *Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°01 en muestra N°03 – suelo con vegetación ligera.* 136

Tabla 28 *Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°02 en muestra N°03 – suelo con vegetación ligera.* 137

Tabla 29 *Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°03 en muestra N°03 – suelo con vegetación ligera.* 138

Tabla 30 *Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°01 en muestra N°04 – suelo con hojarasca.* 139

Tabla 31 *Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°02 en muestra N°04 – suelo con hojarasca.* 140

Tabla 32 *Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°03 en muestra N°04 – suelo con hojarasca.* 141

Tabla 33 *Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°01 en muestra N°05 – suelo con pastizal.* 142

Tabla 34 *Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°02 en muestra N°05 – suelo con pastizal.* 143

Tabla 35 *Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°03 en muestra N°05 – suelo con pastizal.* 144

Tabla 36 *Resultados de ensayo de simulación de lluvias en muestra N°01 – suelo arcilloso.* 145

Tabla 37 *Resultados de ensayo de simulación de lluvias en muestra N°02 – suelo afirmado.* 145

Tabla 38 *Resultados de ensayo de simulación de lluvias en muestra N°03 – suelo con vegetación ligera.* 146

Tabla 39 *Resultados de ensayo de simulación de lluvias en muestra N°04 – suelo con hojarasca.* 147

Tabla 40 *Resultados de ensayo de simulación de lluvias en muestra N°05 – suelo con pastizal.* 147

Tabla 41 *Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA).* 148

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Diagrama del ciclo hidrológico.* 36

Figura 2 *Diagrama del fenómeno de evaporación.* 36

Figura 3 *Diagrama del fenómeno de condensación.* 37

Figura 4 *Diagrama del fenómeno de precipitación.* 38

Figura 5 *Diagrama del fenómeno de infiltración.* 39

Figura 6 *Diagrama del fenómeno de escorrentía.* 40

Figura 7 *Visualización del equipo pluviómetro.* 41

Figura 8 *Visualización del equipo pluviógrafo.* 42

Figura 9 *Modelo de red de drenaje según Horton-Strahler.* 47

Figura 10 *Árbol de bifurcación de la Red de drenaje según B. Shreve.* 48

Figura 11 *Clasificación de suelos según Índice de Grupo.* 56

Figura 12 *Clasificación de los suelos basado en AASHTO M-145* 56

Figura 13 *Riesgo de una excedencia del evento de diseño durante vida útil.* 63

Figura 14 Ejemplo de curvas Intensidad – Duración – Frecuencia. 71

Figura 15 *Ejemplo de Hietograma de diseño.* 76

Figura 16 *Representación de evolución de tormentas según el tiempo.* 81

Figura 17 *Discretización de eventos de tormentas.* 82

Figura 18 *Frontis del campus universitario.* 86

Figura 19 *Esquema gráfica del simulador de lluvia del laboratorio.* 88

Figura 20 *Esquema gráfica de la regadera del simulador de lluvias.* 89

Figura 21 *Esquema gráfica del soporte ajustable y armazón del terreno, del simulador de lluvias.* 90

Figura 22 *Vista satelital de la Universidad Nacional de Ucayali.* 95

Figura 23 *Esquema gráfico de las superficies de escorrentía.* 96

Figura 24 *Vista satelital de la Estación Meteorológica de la Universidad Nacional de Ucayali.* 97

Figura 25 *Levantamiento topográfico del campus de la Universidad Nacional de Ucayali.* 99
Figura 26 *Gráfica de Tiempo por Precipitación máxima en 24 horas.* 104
Figura 27 *Ajuste estadístico para la Distribución Normal.* 107
Figura 28 *Ajuste estadístico para la Distribución Gumbel.* 108
Figura 29 *Ajuste estadístico para la Distribución Log Normal.* 109
Figura 30 *Ajuste estadístico para la Distribución Pearson Tipo III.* 110
Figura 31 *Ajuste estadístico para la Distribución Pearson Tipo III.* 111
Figura 32 *Gráfica de Prueba de Bondad Modelo Distribución Normal.* 114
Figura 33 *Gráfica de Prueba de Bondad Modelo Distribución Gumbel.* 115
Figura 34 *Gráfica de Prueba de Bondad Modelo Distribución Log Normal.* 116
Figura 35 *Gráfica de Prueba de Bondad Modelo Distribución Pearson III.* 117
Figura 36 *Gráfica de Prueba de Bondad Modelo Distribución Log Pearson III.* 118
Figura 37 *Precipitación máxima anual para diferentes periodos de retorno.* 120
Figura 38 *Mapa de regiones hidrológicas del Perú.* 121
Figura 39 *Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia.* 127
Figura 40 *Hietograma de precipitación de diseño para T=50 años.* 129
Figura 41 *Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°01 en suelo arcilloso.* 130
Figura 42 *Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°02 en suelo arcilloso.* 131
Figura 43 *Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°03 en suelo arcilloso.* 132
Figura 44 *Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°01 en suelo afirmado.* 133
Figura 45 *Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°02 en suelo afirmado.* 134
Figura 46 *Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°03 en suelo afirmado.* 135
Figura 47 *Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°01 en suelo con vegetación ligera.* 136
Figura 48 *Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°02 en suelo con vegetación ligera.* 137

Figura 49 *Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°03 en suelo con vegetación ligera.* 138

Figura 50 *Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°01 en suelo con hojarasca.* 139

Figura 51 *Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°02 en suelo con hojarasca.* 140

Figura 52 *Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°03 en suelo con hojarasca.* 141

Figura 53 *Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°01 en suelo con pastizal.* 142

Figura 54 *Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°02 en suelo con pastizal.* 143

Figura 55 *Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°03 en suelo con pastizal.* 144

INTRODUCCIÓN

El drenaje pluvial urbano constituye un desafío crítico en la gestión de infraestructura de las ciudades, especialmente en zonas tropicales o con alta intensidad de precipitación como Pucallpa. La Universidad Nacional de Ucayali (UNU), como un conglomerado urbano con diferentes áreas impermeables (aulas, pabellones, pistas, veredas, oficinas administrativas), experimenta de manera recurrente problemas de inundación superficial y encharcamiento durante los eventos de lluvia intensa en la región. Esto no solo afecta la transitabilidad y la calidad del entorno académico, sino que también pone en riesgo la infraestructura y la salubridad.

La causa principal de estos problemas radica en la deficiente o desactualizada capacidad de su sistema de drenaje pluvial para gestionar el caudal de escorrentía generado. Tradicionalmente, el diseño de estos sistemas se basa en métodos que, si bien son probados (como el Método Racional), pueden no reflejar de manera precisa la compleja hidrología superficial de un campus en crecimiento, que se caracteriza por una topografía plana, abundantes áreas verdes y una creciente impermeabilización del suelo.

En el CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, se describe y fundamenta el problema en el contexto global y local, planteando los objetivos e hipótesis de la investigación.

En el CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO, se explica las definiciones básicas de los términos y variables utilizados en la operacionalización de las variables.

En el CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN, se menciona el diseño y esquema de la investigación, así como el tratamiento de datos.

En el CAPÍTULO IV: PRESENTACION DE RESULTADOS, se muestran los resultados obtenidos de los ensayos experimentales y el análisis de datos hidrológicos y geoespaciales. Se analiza los resultados y se discute en base a los antecedentes previos del estudio del arte.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN Y FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA

En los últimos años, se ha reportado un incremento de los problemas de drenaje en zonas urbanas. Algunos países como España presentan un sistema de alcantarillado combinado, es decir, para el diseño de la red se suma dos factores: aguas residuales y aguas pluviales por escorrentía.

En un contexto global, estos problemas están asociados a eventos de precipitación extrema que han aumentado en todo el mundo tanto en frecuencia como en intensidad, según el IPCC (2021), este incremento en las temperaturas globales debido al cambio climático ha intensificado el ciclo hidrológico, alterando los patrones de lluvia en muchas ciudades, lo que tiene como consecuencia un aumento de la vulnerabilidad de las infraestructuras de drenaje, ya que afectan su capacidad de drenaje y generan problemas de inundaciones en las ciudades.

En el contexto latinoamericano, los eventos de lluvia extrema también generan problemas en la capacidad de drenaje de la infraestructura de drenaje, sumado a una débil gestión del manejo de aguas pluviales en el casco urbano y el riesgo de inundaciones, tiene como consecuencia los problemas de inundaciones recurrentes en distintos países, debido a que en el casco urbano de varios municipios “no existe un adecuado diseño del sistema de drenaje pluvial” (Lara Tineo, 2022). Se evidencian que las redes de drenaje pluvial son insuficientes para evacuar toda la escorrentía que reciben dentro de la cuenca urbana, estas condiciones sumadas con el crecimiento urbano, implica que haya cambios en el uso del suelo, estos cambios aumentan la escorrentía superficial, lo que tiene como consecuencia los problemas de inundaciones recurrentes en las vías y viviendas del casco urbano.

En el Perú, existe un aumento de los problemas de inundaciones en zonas urbanas, muchas ciudades han sido identificadas como zonas de riesgo por su elevado

nivel de peligro y su nivel de vulnerabilidad muy alta en relación a las inundaciones pluviales, además, en distintas ciudades se ha identificado la colmatación de la infraestructura de drenaje pluvial y la red de alcantarillado, generando un problema mayor debido a los malos olores del desagüe, sustancias peligrosas y aguas negras que llegan a la red de drenaje pluvial, veredas y vías, lo que ocasiona grandes pérdidas económicas por la limpieza de la red pública y una afectación directa muy grave a la salud pública, estos problemas son asociados a un crecimiento urbano desordenado, falta de planificación y estrategias adecuadas para la gestión de las aguas pluviales y la insuficiente inversión de los municipios en una adecuada infraestructura de alcantarillado (Lara Tineo, 2022).

La ciudad de Pucallpa, ubicada en la región amazónica del Perú, es especialmente vulnerable a lluvias intensas debido a su topografía plana y su rápido crecimiento urbano, en suma, la falta de infraestructura adecuada para el drenaje pluvial. En algunos estudios de zonas con condiciones tropicales indican que la urbanización sin un adecuado diseño de sistema de drenaje incrementa los caudales de escorrentía, superando la capacidad de las infraestructuras existentes y generando anegamientos crónicos.

Entre las causas identificadas al problema, se encuentran la falta de infraestructura de drenaje adecuada, la deforestación en zonas periurbanas y el incremento de áreas impermeables. Estas condiciones provocan una rápida concentración del escurrimiento superficial, elevando el riesgo de colapsos en el drenaje urbano (Chow et al., 1988).

Las consecuencias de un mal drenaje urbano son daños a la infraestructura vial, pérdidas económicas por interrupciones en el transporte, afectaciones a la salud pública y deterioro de la calidad de vida de los habitantes.

La simulación de lluvias como estrategia para el diseño de sistemas de drenaje urbano podría permitir predecir los caudales de escorrentía con mayor precisión, facilitando el diseño de sistemas de drenaje más eficientes. Según Beven (2012), se ha

demostrado que la modelación hidrológica con herramientas computacionales permite evaluar el impacto de diferentes escenarios climáticos y de urbanización sobre la escorrentía.

En ese contexto, las alternativas de solución a este problema son la aplicación de modelos de simulación de lluvias para mejorar el diseño de los sistemas de drenaje urbano, o la implementación de infraestructura verde. El modelo de simulación hidrológica permitirá simular distintos escenarios de lluvias con diferentes caudales para evaluar la respuesta del sistema de drenaje. Con relación a esto, Beven destaca que la simulación de lluvias es una herramienta eficaz para estimar la variabilidad del caudal de escorrentía y optimizar infraestructuras hidráulicas.

Además, la utilización de software especializado en ingeniería hidráulica e hidrogeológica como HEC-HMS y SWMM ha demostrado ser fundamental para el diseño y evaluación de sistemas de drenaje urbano.

Según Mays, estos modelos proporcionan estimaciones precisas del comportamiento hidrológico bajo diferentes condiciones climáticas y escenarios de urbanización.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

- ¿Cómo influye la simulación de lluvias en la determinación del caudal de escorrentía y la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano en la Universidad Nacional de Ucayali?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Qué efecto tienen las características topográficas del terreno en la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano de la Universidad Nacional de Ucayali?
- ¿Qué efecto tiene el análisis y modelos físicos de simulación de lluvias en la evaluación de la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano existente del campus universitario?

- ¿Qué efecto tiene la implementación de sistemas de drenaje urbano sostenibles (SUDS) en la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano existente del campus universitario?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar el efecto de la simulación de lluvias en la determinación del caudal de escorrentía y la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano en la Universidad Nacional de Ucayali.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las características topográficas del terreno y su influencia en la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano de la Universidad Nacional de Ucayali.
- Analizar el efecto de la implementación de modelos físicos de simulación de lluvias en la evaluación de la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano existente del campus universitario.
- Evaluar el efecto de la implementación de sistemas de drenaje urbano sostenibles (SUDS) en la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano del campus universitario.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La investigación se justifica basado en que la simulación de lluvias puede ser una solución técnica, eficiente y económica al problema de redes de drenaje insuficientes, gracias a la evolución y la disponibilidad de modelos de cálculo cada vez más detallados del comportamiento de las precipitaciones.

Esta investigación es importante para mejorar la eficiencia de los sistemas de drenaje urbano en ciudades con climas tropicales húmedos como es el caso de la ciudad de Pucallpa.

Desde un enfoque práctico, la simulación de lluvias intensas podría contribuir a diseñar sistemas de drenaje pluviales adaptados a escenarios climáticos extremos, reduciendo riesgos de inundaciones.

Metodológicamente, la investigación generará datos empíricos valiosos para la calibración y validación de modelos hidrológicos aplicados en regiones con precipitaciones recurrentes.

Bajo ese contexto, los beneficios del proyecto se pueden expresar claramente en cinco aspectos.

a) Beneficio económico: Reducción de costos asociados a inundaciones y optimización del diseño de drenajes urbanos.

b) Beneficio metodológico: Desarrollo y validación de modelos de simulación hidrológica para su aplicación en zonas urbanas con precipitaciones intensas como en nuestra región.

c) Beneficio social: Impacto en las inundaciones pluviales en zonas críticas del campus universitario, contribuyendo con la comunidad, así mismo brindará un enfoque en la mitigación de proliferación de vectores contaminantes producto de la acumulación de aguas pluviales relacionado a enfermedades derivadas del agua estancada.

d) Beneficio ambiental: Implementación de soluciones basadas en infraestructura verde para mejorar la resiliencia urbana, con una política ambiental y reducir el impacto de la urbanización generada en la cuenca hidrográfica del campus universitario.

e) Beneficio tecnológico: Integración de herramientas de modelado hidrológico avanzadas en la planificación del drenaje pluvial urbano.

El estudio es viable dado que se cuenta con bases de datos pluviográficos, herramientas e instrumentos de modelación y simulación hidrológica y acceso a información geoespacial para la identificación y caracterización de la zona.

1.5. LIMITACIONES Y ALCANCES

1.5.1 LIMITACIONES

La falta de cercanía de proyectos hidráulicos y políticas hidrológicas responsables obliga a enfocarnos en lo que tenemos y podemos mejorar. Se optó la cuenca hidrográfica del campus universitario.

Fue crucial para la investigación el apoyo brindado por la Universidad Nacional de Ucayali, se contó con los equipos de laboratorio, el acceso limitado al campus universitario y la información pluviográfica de la estación más cercana.

1.5.2 ALCANCES

El presente estudio tiene un alcance descriptivo-explicativo, basado en la modelación hidrológica y simulación de precipitaciones pluviales, para determinar el caudal de escorrentía de manera no probabilística.

El área de estudio abarca el campus universitario que se encuentra limitado por la carretera C.F.B. y la Av. Túpac Amaru.

Los objetivos de la investigación comprenden la simulación de lluvias con los equipos de laboratorio de la universidad, apoyándose con poderosas herramientas computacionales para el procesamiento y análisis de datos.

Se tuvo al alcance la estación meteorológica más cercana ubicado en el campus de la segunda etapa de la Universidad, la Estación Meteorológica UNU-SENAMHI, el cual brinda la información pluviográfica y meteorológica de los instrumentos que cuentan.

1.6. HIPÓTESIS

1.6.1. HIPÓTESIS GENERAL

- El efecto de la simulación de lluvias en la determinación del caudal de escorrentía sí tiene un impacto significativo en la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano en la Universidad Nacional de Ucayali.

1.6.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- Las características topográficas del terreno influyen significativamente en la

eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano en la Universidad Nacional de Ucayali.

- La implementación de modelos físicos de simulación de lluvias influye en la evaluación de la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano existente del campus universitario.
- La implementación de sistemas de drenaje urbano sostenibles (SUDS) tiene un impacto positivo en la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano del campus universitario.

1.7. SISTEMA DE VARIABLES, DIMENSIONES E INDICADORES

1.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

La variable independiente es la “Determinación del caudal de escorrentía”, y sus características:

X1: Características topográficas.

X2: Estudio de Mecánica de Suelos.

X3: Estudio hidrológico.

X4: Volumen.

X5: Tiempo de simulación.

X6: Caudal de escorrentía.

1.7.2. VARIABLE DEPENDIENTE

La variable dependiente es la “Eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano” en el campus universitario.

Tabla 1

Matriz operacional de la variable Caudal de escorrentía.

Variable	Definición operacional	Dimensión	Sub dimensión	Indicador	Unidad	Tipo de variable	Escala	Instrumento
Variable Independiente: Determinación del caudal de escorrentía	"Volumen de agua de lluvia que fluye sobre la superficie del terreno hacia un sistema de drenaje, generado por una precipitación que excede la capacidad de infiltración del suelo y la retención superficial" (Bonilla, Ramón & Ramón, 2022).	Características topográficas	Datos geoespaciales	Pendiente	m/m	Cuantitativa	Razón continua	Curvas de nivel, QGIS
		Estudio de Mecánica de Suelos		Granulometría Límites de Atterberg	% %	Cuantitativa	Razón continua	Tamices, balanza y probeta graduada
		Estudio Hidrológico	Datos meteorológicos	Precipitación pluvial	mm/h	Cuantitativa	Razón continua	Data meteorológica de estación del SENAMHI
		Volumen		Cantidad de material recogida después del ensayo	L	Cuantitativa	Razón continua	Probeta graduada
		Tiempo de simulación		Duración de la simulación de lluvia del ensayo	segundo	Cuantitativa	Razón continua	Cronómetro
		Caudal de escorrentía		Cantidad de agua que se desplaza por la superficie de muestra durante el ensayo	mL	Cuantitativa	Razón continua	Simulador de lluvias, probeta graduada y cronómetro

Nota. EMM: Estación Meteorológica Manual. Elaboración propia.

Tabla 2

Matriz operacional de la variable Eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano.

Variable	Definición operacional	Dimensión	Sub dimensión	Indicador	Unidad	Tipo de variable	Escala	Instrumento
Eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano	Es un diseño con modelamiento hidráulico que imitan el proceso hidrológico natural y a su vez complementan el drenaje tradicional para la gestión del máximo caudal y precipitaciones, los SUDS se clasifican según su función hidrológica que pueden realizar.	Carga hidráulica	Caudal de diseño	Coeficiente de escorrentía Intensidad de precipitación Área de cuenca	m3/s	Cuantitativa	Razón continua	H-Canales
		Diseño del sistema de drenaje pluvial urbano		Porcentaje de eficiencia	%	Cuantitativa	Razón continua	SWMM

Nota. Elaboración propia.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES O REVISIÓN DE ESTUDIOS REALIZADOS.

2.1.1. Antecedentes internacionales.

Bonilla Granados, Ramón Valencia & Ramón Valencia (2022), informa en su documento denominado “Sistemas de drenaje urbano – Sumideros de captación de aguas lluvias”, acerca de diferentes metodologías para el diseño de sumideros de captación en sistemas de drenaje urbano en Colombia. Su documento contiene un marco normativo, una guía técnica y práctica para el diseño de este tipo de estructuras con el objetivo de captación de escorrentía superficial en zona urbana, a través de objetivos específicos como analizar diferentes metodologías de cálculo de caudal de escorrentía superficial, aplicar método de FHWA 1984 y 2013 en un caso práctico, evaluar la eficiencia hidráulica de distintos tipos de sumideros (rejilla, laterales, etc.) y proponer criterios de diseño adaptados a contextos urbanos latinoamericanos. Realizaron un estudio de tipo aplicado, con enfoque técnico y normativo, con un diseño de desarrollo de un caso práctico de estudio para validar las metodologías. Los resultados indicaron que la metodología FHWA 2013 ofrece mayor precisión en el diseño de sumideros laterales en vías urbanas con alta pendiente, además, se demostró que una correcta selección del tipo de sumidero y su ubicación puede reducir significativamente el riesgo de inundaciones.

García Del Villar (2020), en su estudio denominado “Escorrentía urbana”, buscó analizar las causas y consecuencias de las inundaciones urbanas provocadas por lluvias torrenciales y proponer soluciones sostenibles que se aproximen al ciclo natural del agua. Para ello aplicó un estudio de tipo reflexivo y propositivo, con enfoque técnico y ambiental. Los resultados evidenciaron una alta impermeabilización en la ciudad, lo que agrava los efectos de lluvias intensas. Se concluyó que los sistemas tradicionales de drenaje son insuficientes ante eventos

extremos, lo que plantea y propone una gestión integral del agua urbana, destacando la importancia de reintegrar el ciclo natural del agua en el diseño urbano para enfrentar los desafíos del cambio climático.

Monge Jeremías & Aguilar Pereira (2008), en su estudio desarrollado en el proyecto microcuenca Plantón-Pacayas, España, tuvo como objetivo cuantificar la escorrentía, infiltración y pérdida del suelo generados con simulador de lluvia. Realizaron una prueba de un terreno con pendiente elevada de 52.5%, cobertura vegetal de 5%, intensidad de lluvia de 3.7 mm/min, obteniendo la curva de escorrentía-infiltración en un periodo de 13 minutos, y una pérdida de suelo de 14.4 g; en otra prueba de un terreno con pendiente de 49%, cobertura vegetal (pasto) de 70%, intensidad de lluvia de 12.8 mm/min, obteniendo la curva de escorrentía-infiltración en un periodo de 1 minuto, y una pérdida de suelo de 14.54 g, finalmente, concluyeron el rango de intensidades de lluvia calibrado va desde 3.59 mm/min hasta los 13.14 mm/min, elaboraron un manual de operación del simulador de lluvia para determinar la escorrentía, infiltración y pérdida del suelo del terreno bajo condiciones de campo en distintos lugares o áreas geográficas que se encuentren dentro del rango de intensidades de lluvia calibrado, recomendando utilizar a nivel académico como extensivo.

Moreno Pulido, Roa Granja & Vela Prieto (2021), en su tesis titulada “Análisis para la implementación de sistema urbano de drenaje sostenible para mitigación de riesgo por rebosamiento del alcantarillado en el barrio Santa Cecilia de la localidad de Suba”, plantearon y buscaron un sistema urbano de drenaje sostenible óptimo para mitigar el riesgo de inundación por rebosamiento del alcantarillado en el barrio Santa Cecilia. Realizaron una investigación aplicada, con enfoque mixto (teórico-práctico). Los resultados demostraron que con la simulación con el software SWMM, la implementación de SUDS puede reducir hasta un 35% el caudal pico en eventos de lluvia intensa. Se concluyó que los jardines de lluvia y

zanjas de infiltración son soluciones viables y adaptables al entorno urbano del barrio Santa Cecilia.

Peña Castañeda & Rodríguez Muñoz (2020), en su artículo titulado “Modelo físico del equipo de simulador de lluvia para medir en el laboratorio la erosión hídrica por escorrentía superficial en el suelo”, tuvo como objetivo diseñar y evaluar la eficiencia de un simulador de lluvia para representar el fenómeno de precipitación y medir la erosión hídrica por escorrentía superficial en suelos preparados en laboratorio. Para ello aplicaron un estudio de tipo aplicado, con un diseño experimental, presentaron un simulador de tipo goteo y utilizaron una muestra de material granular tamizado por las mallas 2” y ¾”, el material pasante fue compactado con una energía estándar, la muestra fue colocada en una bandeja con pendiente 30° y el equipo fue calibrado. Los resultados indicaron que el simulador permitió reproducir lluvias de forma controlada, de manera versátil y económico, ideal para prácticas de laboratorio en ingeniería civil y agronomía.

Pérez Hurtado (2020), en su estudio titulado “Uso de los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en el Municipio de Paipa”, tuvo como finalidad evaluar el uso de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) para el manejo del agua lluvia en el área urbana del municipio de Paipa, para el estudio se evaluaron las estructuras: cuencas secas de drenaje, tanques de almacenamiento, zonas de bio-retención, alcorques inundables, cunetas verdes, zanjas de infiltración y pavimentos permeables. Los resultados indicaron que las estructuras planteadas y analizadas dentro del área urbana del municipio mediante el uso del software “SWMM”, lograron una reducción en los caudales pico y volumen de escorrentía, validando los principios de los SUDS para mejorar el manejo de aguas de lluvia y optimizar el funcionamiento de las redes de alcantarillado en Colombia.

2.1.2. Antecedentes nacionales.

Chuquimango Chilón (2022), en su investigación denominada “Evaluación del sistema de drenaje pluvial del sector La Molina distrito de Baños del Inca –

Cajamarca", evaluó el sistema de drenaje pluvial de un sector distrital en el departamento de Cajamarca, una región con un clima templado y seco, para identificar deficiencias y proponer alternativas de solución que mitiguen los problemas de inundación, a través de objetivos específicos como diagnosticar el estado actual del sistema de drenaje pluvial, determinar la capacidad hidráulica de las cunetas, identificar puntos críticos de acumulación de agua y proponer alternativas técnicas para mejorar el sistema de evacuación pluvial. Para ello realizó un estudio de tipo aplicado, con enfoque cuantitativo y diseño no experimental. Los resultados demostraron que las cunetas existentes no tienen capacidad suficiente para evacuar el caudal generado por lluvias intensas, se identificaron zonas críticas donde el agua se acumula debido a pendientes inadecuadas y obstrucción de sumideros, se propusieron alternativas que incluye el rediseño de cunetas con mayor sección hidráulica, implementación de rejillas transversales y mantenimiento preventivo. Se concluyó que una intervención técnica adecuada puede reducir significativamente el riesgo de inundaciones y mejorar la calidad de vida de los habitantes del sector.

Lara Tineo (2022), en su estudio nombrado "Análisis comparativo de los softwares WaterCAD y SWMM para el diseño del sistema de drenaje pluvial", tuvo la finalidad de comparar dos herramientas de simulación (softwares WaterCAD y SWMM) para determinar la mejor alternativa de diseño de drenaje pluvial en zonas altamente inundables. Para ello realizó una investigación con un enfoque cuantitativo, descriptivo y comparativo, estructurado en varias fases, recolección de datos topográficos, análisis hidrológico y diseño hidrológico usando los softwares WaterCAD y SWMM, comparación técnica de resultados y evaluación económica. Los resultados demostraron que el software WaterCAD tuvo mayor precisión, más versatilidad, y tener una interfaz más amigable que permitieron diseñar sistemas funcionales. Se concluyó que el software SWMM al ser de código libre representa

una alternativa más económica para gobiernos locales con recursos limitados, sin comprometer la calidad del diseño.

Lezama Tisnado & Rodríguez De La Sota (2020), en su tesis titulada “Una revisión de los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS) aplicados a nivel mundial”, tuvieron como objetivo de su estudio para analizar técnicas de sistemas de drenaje urbano sostenible como pavimentos permeables, techos verdes y jardines de lluvia, evaluando su efectividad y sus beneficios en la reducción de escorrentía urbana. En sus conclusiones, arribaron en beneficios estéticos y ambientales en el agua, el aire y suelo, ya que mejoran la calidad del aire, mitigan el ruido y embellecen los paisajes (p.7).

Palomino Remón & Hernández Fernández (2023), en su investigación titulada “Criterios de diseño de canaletas de techos para drenaje urbano en la ciudad de Huancayo”, tuvieron el objetivo de elaborar criterios técnicos adecuados para el diseño de canaletas de techos en edificaciones urbanas de Huancayo, considerando las condiciones climáticas locales y la normativa vigente, a través de objetivos específicos como analizar la infraestructura actual de techos y sistemas de drenaje pluvial en la ciudad, caracterizar las tormentas de diseño típicas, evaluar la normativa técnica aplicable y propuesta de recomendaciones de diseño adaptadas a las condiciones locales. Realizaron una investigación aplicada, con enfoque cuantitativo y diseño no experimental, conformado en cinco etapas, Diagnóstico, Caracterización de lluvias, Normativa, Cálculo y Propuesta de criterios técnicos para el diseño eficiente de canaletas en techos urbanos. Los resultados revelaron que muchas edificaciones en Huancayo presentan deficiencias en el dimensionamiento de canaletas, lo que genera desbordes frecuentes durante lluvias intensas, las tormentas de diseño analizadas mostraron intensidades superiores a las consideradas en diseños convencionales, lo que evidencia la necesidad de actualizar los criterios técnicos, propusieron secciones mínimas recomendadas para canaletas según el área de captación y la intensidad de lluvia.

Se concluyó que la aplicación de criterios adaptados al contexto local puede reducir significativamente los riesgos de anegamiento y deterioro estructural en edificaciones urbanas.

Robles Rodríguez (2025), en su investigación denominada “Efecto de la implementación de tres sistemas de drenaje urbano sostenible en el caudal de descarga en la avenida Hoyos Rubio, Cajamarca-2023“, tuvo el objetivo de evaluar el impacto de tres tipos de sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS) en la reducción del caudal de escorrentía: jardines filtrantes, pavimentos permeables y tanque de retención. Para ello diseñaron una investigación no experimental de tipo descriptivo-correlacional, en la cual tuvieron que aplicar simulaciones hidrológicas para comparar los escenarios reales con y sin intervención, tuvieron que procesar los datos mediante “el software de modelado para la gestión de aguas pluviales, conocido por sus siglas en ingles*[sic]* SWMM en su versión 5.2” (p.16). Llegaron a la conclusión que de las tres alternativas la más eficiente en reducir el caudal de 11.97% fue el tanque de retención.

Según Rojas Vasquez (2021), buscó evaluar el sistema de drenaje pluvial en la Av. Nuevo Cajamarca y Jr. Yurimaguas, y proponer un diseño de drenaje urbano sostenible que mitigue los problemas de inundación. Realizó una investigación cuantitativa, de tipo aplicada, con un diseño no experimental. Los resultados demostraron que el sistema actual no cumple con los caudales de diseño, generando inundaciones frecuentes durante lluvias intensas. Se concluyó que la implementación de drenaje urbano sostenible puede adaptarse a la geografía de Cajamarca, mitigando impactos negativos en infraestructura y población.

2.2. BASES TEÓRICAS.

2.2.1. Teorías sobre la hidrología urbana.

Los problemas complicados relacionados con el drenaje superficial y subterráneo se deben a las características geográficas, hidrológicas, geológicas y

geotécnicas de nuestra región (Ministerio de Transporte y Comunicaciones [en adelante, MTC], 2011, p.11).

En el ámbito urbano, la hidrología urbana se ocupa de la investigación de las propiedades y la distribución, tanto temporal como espacial, de todo el agua que existe en la superficie terrestre, esto abarca los glaciares de hielo, la humedad del terreno y el proceso del ciclo del agua (MTC, 2011, p.11).

- **Ciclo hidrológico.** Se le conoce como “ciclo del agua”, al movimiento del agua en la atmósfera, el cual atraviesa sus diferentes estados físicos: líquido, sólido y gaseoso.

Este fenómeno es impulsado principalmente por dos fuerzas esenciales: la energía solar y la gravedad.

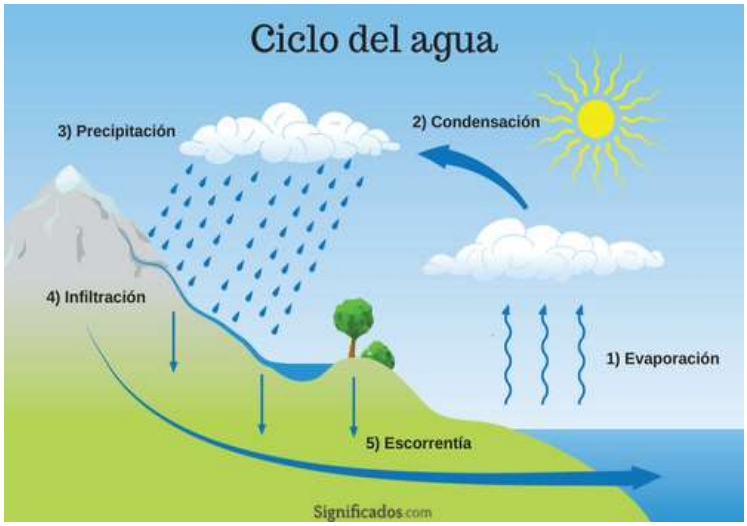
Chow (2000) en su teoría informa que, el agua, un recurso esencial para la vida en nuestro planeta, se encuentra en una zona conocida como hidrósfera. Esta abarca desde unos quince kilómetros de altitud en la atmósfera hasta uno de profundidad por debajo de la superficie del suelo.

El agua se evapora desde los océanos y la superficie terrestre, y pasa a la atmósfera en forma de vapor. Este vapor asciende hasta condensarse y vuelve a caer sobre la superficie como precipitación.

Cuando el agua llega a la superficie, tiene varias opciones: puede ser absorbida por la vegetación, moverse como escorrentía superficial, filtrarse en el suelo, desplazarse como flujo subterráneo o llegar a los ríos, tal como se presenta en la Figura 1

Figura 1

Diagrama del ciclo hidrológico.



Fuente: Enciclopedia Significados.

- ***Evaporación***. La evaporación se refiere al cambio de estado por el que pasa el agua de estado líquido a gaseoso, este fenómeno ocurre cuando el sol calienta la superficie de los “ríos”, “lagos”, “lagunas”, “mares” y “océanos” (Zita Fernandes, s.f.).

Cuando el agua pasa a estado gaseoso deja una parte de vapor, el cual permanece suspendido en el aire, la otra parte sube a la atmósfera, como se muestra en laFigura **2**, luego ocurre la siguiente fase del ciclo hidrológico: la condensación.

Figura 2

Diagrama del fenómeno de evaporación.



Fuente: Enciclopedia Significados.

- ***Condensación***. Durante la condensación, el vapor de agua asciende hacia la atmósfera, donde se enfría y se condensa en partículas que darán lugar a nubes y neblina. Una vez que estén allí, volverán a un estado líquido y las corrientes de aire las llevarán hasta la siguiente fase: la precipitación (Zita Fernandes, s.f.).

Figura 3

Diagrama del fenómeno de condensación.



Fuente: Enciclopedia Significados.

- ***Precipitación***. La precipitación viene a ser cualquier tipo de humedad que, procedente de las nubes, alcanza la superficie terrestre; por esta razón puede presentarse en forma de granizadas, lluvias, nevadas o garúas.

Esto consiste cuando el agua condensada en la atmósfera desciende a la superficie como forma de gotas. (Ver Figura 4)

En las zonas más heladas del mundo, el agua se transforma de líquida a sólida (solidificación) y cae como granizo o nieve. El agua retornará a su estado líquido cuando se derrita, un proceso también denominado fusión (Zita Fernandes, s.f.).

Figura 4

Diagrama del fenómeno de precipitación.



Fuente: Enciclopedia Significados.

La precipitación es la fuente principal del agua superficial, según el enfoque de la ingeniería hidrológica; además, sus mediciones y análisis constituyen el inicio de los estudios relacionados con el control y uso del agua (Villón Béjar, 2002).

Villón afirma que una nube está formada por gotitas de agua muy pequeñas, que se. se mantienen estables debido a su pequeño. Algunos atributos de las gotas de nubes son:

- Diámetro aproximado de las gotitas: 0.02 mm
- Espaciamiento entre gotitas: 1 mm
- Masa: 0.5 a 1 g/m3 (Coronel Armas, 2014, p.24).

Por otro lado, las gotas de lluvia son aquellas que tienen un diámetro mayor a las partículas de agua que conforman la nube, las cuales presentan un fenómeno cuando se encuentran, tienden a juntarse varias gotitas entre sí hasta aumentar su volumen de cien mil a un millón de veces su tamaño, o también puede ocurrir el engrosamiento de una gotita por el efecto de la condensación.

- ***Infiltración***. La infiltración es el procedimiento a través del cual el agua de las precipitaciones que cae en la superficie terrestre se introduce en el terreno, como se

muestra en la Figura 5. Una porción se queda en el área más superficial y es utilizada tanto por la naturaleza como por los seres vivos. Mientras que otra parte se filtra por los poros hasta llegar a la capa freática, que es una capa interna de roca en la que se guarda el agua (Zita Fernandes, s.f.).

Figura 5

Diagrama del fenómeno de infiltración.



Fuente: Enciclopedia Significados.

- ***Escorrentía***. El movimiento del agua a lo largo de la superficie, debido a las pendientes y las irregularidades del terreno, hasta volver a entrar en los océanos, mares, ríos, lagunas o lagos se conoce como escorrentía superficial. Asimismo, es el agente geológico principal del transporte de sedimentos y la erosión.

El movimiento de las aguas que transitan por la capa freática es conocido como escorrentía subterránea. Los acuíferos, que son depósitos de agua subterránea, pueden desbordarse y dar lugar a manantiales que retornan el agua a los ríos. (Zita Fernandes, s.f.).

Figura 6

Diagrama del fenómeno de escorrentía.



Fuente: Enciclopedia Significados.

TEORÍA DEL CICLO HIDROLÓGICO DE CHOW.

Para Chow (2000), en la Tierra, el agua existe en un espacio llamado hidrosfera, que se extiende desde unos quince kilómetros arriba en la atmósfera hasta un kilómetro por debajo de la litosfera o corteza terrestre. El agua circula en la hidrosfera a través de un laberinto de caminos que constituyen el ciclo hidrológico.

El ciclo hidrológico es el foco central de la hidrología. El ciclo del agua no tiene inicio ni fin, es un proceso continuo. En resumen, como el agua se evapora desde los océanos y desde la superficie terrestre para volverse parte de la atmosfera; el vapor de agua sube a la atmósfera donde ocurre la fase de condensación y luego se precipita sobre la superficie terrestre o los océanos; el agua precipitada sobre la vegetación, puede convertirse en flujo superficial, infiltrarse en él correr a través de él como flujo subsuperficial o subterráneo y descargar en los ríos como escorrentía superficial.

2.2.2. Teorías e instrumentos para medir las precipitaciones.

Para Perez Morales, 2009 (como se cita en Coronel, 2014), Como la precipitación ocurre en un espacio geográfico, es más conveniente expresarla como una altura de lámina de agua, en milímetros. No obstante, se debe suponer

que se reparte de manera equitativa sobre una superficie unitaria. Esto no es necesariamente cierto, pues incluso en eventos de corta duración es habitual observar variaciones en la cantidad de agua que precipita. Sin embargo, con el propósito de simplificar el análisis y por motivos prácticos, se establece el principio de uniformidad.

"La mayoría de los aparatos que se utilizan para medir precipitación se basan en recipientes cilíndricos, expuestos a la intemperie y abiertos en la parte superior para captar el agua que se precipita, registrando su altura" (Coronel, 2014, p.25).

Los dos instrumentos más utilizados para medir las precipitaciones pluviales son el pluviómetro y el pluviógrafo.

- **Pluviómetro.** Este instrumento consiste en un cilindro con un embudo ubicado en la parte superior del mismo que alimenta una probeta graduada en su interior, dentro ocurre la medición de las alturas totales de lluvia.

Figura 7

Visualización del equipo pluviómetro.



Fuente: Estación Meteorológica EMAP-UNU-SENAMHI.

- **Pluviógrafo.** Este equipo es similar al pluviómetro pero con una diferencia clara, con la adición de un sistema de registro continuo de alturas de lluvia, basado en flotadores que causan el desplazamiento de una aguja sobre un papel graduado, colocado sobre un cilindro giratorio, ligado a un reloj.

Figura 8

Visualización del equipo pluviógrafo.



Fuente: Estación Meteorológica EMAP-UNU-SENAMHI.

En la fase de escorrentía, para Fattorelli, 2011 y Coronel, 2014, el cual indica que, por lo general, cuando la tasa de precipitación es superior a la tasa de infiltración superficial, el agua sobrante empieza a reunirse de manera temporal en mínimas hondonadas en la superficie del suelo o se escapa sencillamente, transformándose en escorrentía superficial. La precipitación total puede entenderse como la suma de dos partes: una es el "exceso de lluvia" o "precipitación efectiva", y la otra, las "pérdidas".

La primera aporta directamente a la formación de la escorrentía superficial, en cambio, la segunda es la precipitación remanente, como la evaporación, evapotranspiración, intercepción por vegetación o por el suelo e infiltración que no contribuye inicialmente a dicha escorrentía. El procedimiento anteriormente mencionado abarca otros elementos, como el flujo subterráneo y la escorrentía subsuperficial.

En una primera instancia, el flujo superficial que se produce en la superficie del suelo constituye la escorrentía superficial. Cuando el flujo es dirigido por gravedad hacia canales de drenaje o cursos de agua, y la cuenca receptora

tiene pendiente, estos se van uniendo en cauces de orden superior, que posteriormente se convierten en los principales afluentes de los grandes ríos.

En cuencas con pendiente y sistemas de drenaje definidos la escorrentía superficial, forma el caudal total que fluye a la salida de la cuenca. Este caudal total se divide, por razones prácticas, en dos: escorrentía directa y flujo base. La primera es aquella parte de la escorrentía que llega rápidamente al sistema de canales de drenaje después de una lluvia, formando la creciente; mientras que la segunda es aquella componente proveniente del afloramiento de aguas subterráneas y el flujo subsuperficial.

La escorrentía superficial, en cuencas con pendiente y sistemas de drenaje establecidos, constituye el caudal total que fluye fuera de la cuenca. Por motivos prácticos, este caudal total se separa en dos partes: flujo base y escorrentía directa. La primera es la parte de la escorrentía que, tras una lluvia, accede a los canales de drenaje con rapidez y constituye la creciente; por otro lado, la segunda es el componente que se origina del afloramiento de aguas subterráneas y del flujo subsuperficial.

Villón Béjar (2002), menciona que una nube está constituida por pequeñísimas gotas de agua, que se mantienen estables gracias a su pequeño tamaño:

-Diámetro aproximado de las gotitas: 0.02 mm

-Espaciamiento entre gotitas: 1 mm

-Masa: 0.5 a 1 gr/m3

Por el contrario, las gotas de lluvia, tiene un diámetro de 0.5 a 2 mm, es decir, un aumento en el volumen de las gotitas de las nubes, de 100,000 a 1,000.000 de veces.

En este sorprendente aumento está el origen de las precipitaciones y Villón asocia principalmente este suceso a dos fenómenos:

-Unión entre sí de numerosas gotitas

-Engrosamiento de una gota por la fusión y condensación y otras

FORMAS DE PRECIPITACIÓN.

La precipitación, según su diámetro, se clasifica en los siguientes tipos:

Llovizna, gotas de diámetro entre 0.1 y 0.5 mm

Lluvia, gotas de diámetro mayor a 0.5 mm

Escarcha, capa de hielo generalmente transparente y suave

Nieve, consiste en cristales de hielo blanco traslúcido

Granizo, bolas de hielo con forma esférica, cónica o irregular, producto de las nubes convectivas, su diámetro varía entre 5 y 125 mm

Debido a que la precipitación ocurre en un espacio geográfico, resulta más conveniente expresarla en términos de una altura de lámina de agua, en mm.

Sin embargo, es necesario suponer que se distribuye uniformemente sobre un área unitaria. Esto no es necesariamente cierto, ya que es común, aún en eventos de poca extensión, notar diferencias en la cantidad de agua precipitada.

Pero, para fines prácticos y con el objeto de facilitar el análisis, se asume el principio de uniformidad. La mayoría de los aparatos que se utilizan para medir precipitación se basan en recipientes cilíndricos, expuestos a la intemperie y abiertos en la parte superior para captar el agua que se precipita, registrando su altura.

2.2.3. Teorías sobre las cuencas urbanas.

Se puede decir que las cuencas urbanas consisten en regiones dentro de las ciudades donde el agua de lluvia fluye hacia un punto común (río, lago, alcantarilla), pero estas están modificadas por la urbanización (edificaciones, pavimentación, impermeabilización, tuberías), estas acciones realizadas por el hombre alteran la hidrología natural de la cuenca, por ende, aumentando las escorrentías naturales lo que presenta un enorme desafío en la ingeniería.

Por esto es clave entender el ciclo hidrológico del agua y planificar, elaborar e implementar una estrategia basada en enfoques sostenible, ya que la urbanización a menudo impermeabiliza ciertas áreas de la cuenca y destina el transporte de aguas hacia determinadas estructuras de drenaje.

Para Bateman, 2007 (citado por Coronel, 2014), “La cuenca es la unidad hidrológica superficial más utilizada”, se refiere a una fracción de territorio que puede ser aislada, de manera que el agua podría escurrir por su cauce en un mismo punto si la superficie de la cuenca fuera totalmente impermeable (p.29).

“La cuenca hidrológica, junto con los acuíferos, son las unidades fundamentales de la hidrología. Desde el punto de vista de su salida existen dos tipos de cuencas: endorreicas (cerradas) y exorreicas (abiertas)” (Según Breñal Puyol, 2006, como se cita en Coronel, 2014, p.29).

Las cuencas endorreicas vienen a ser aquellas cuyo punto de salida está dentro de la misma cuenca, generalmente esta situación se da en los lagos o lagunas.

En las cuencas exorreicas, el punto de salida se localiza en los límites de la cuenca y su descarga se da en una corriente o en el mar.

CUENCA DE DRENAJE.

Para Coronel (2014), “una cuenca es una porción del terreno que contiene una mezcla de superficies permeables e impermeables las cuales drenan a un punto común de descarga” (p.37).

Se tiene que conocer las características físicas de la cuenca, algunas como la rugosidad de la superficie del suelo.

La rugosidad del suelo es una medida de las irregularidades y de la variabilidad del micro relieve, inducida por la granulometría del terreno.

Un factor importante en muchos procesos en la superficie de la cuenca, así como procesos de difusión de CO2 y vapor de agua, así como procesos de escorrentía y de erosión eólica e hídrica.

A continuación, se presenta los coeficientes de Manning para escorrentía superficial, el cual varía de acuerdo a la cubierta de la superficie de la cuenca.

Tabla 3

Coeficiente de Manning para escorrentía superficial.

Tipos de superficie	Coeficiente de rugosidad (n)	Rango habitual
Pavimentos/concreto	0.011	0.01-0.013
Arena fina	0.01	0.01-0.16
Terreno de grava	0.2	0.012-0.03
Pasto natural	0.13	0.10-0.20
Arcilla-limo	0.02	0.012-0.033
Terreno irregular (natural)	0.13	0.01-0.32
Hierba	0.45	0.39-0.63

Fuente: McCuen-Federal Highway Administration Washington DC,1996.

TEORÍA DEL ORDEN DE LA RED DE DRENAJE DE HORTON-STRAHLER.

Según Fattorelli (2011) refleja el grado de bifurcación dentro de una red de drenaje. Este orden puede determinarse de acuerdo a criterios expuestos por diferentes autores.

Entre ellos, la teoría de Horton-Strahler consiste en atribuirle el número de orden a los canales de la siguiente manera:

CORRIENTES DE PRIMER ORDEN:

Pequeños canales sin tributarios

CORRIENTES DE SEGUNDO ORDEN:

Conformada por la unión de 2 corrientes de 1° orden

CORRIENTES DE TERCER ORDEN:

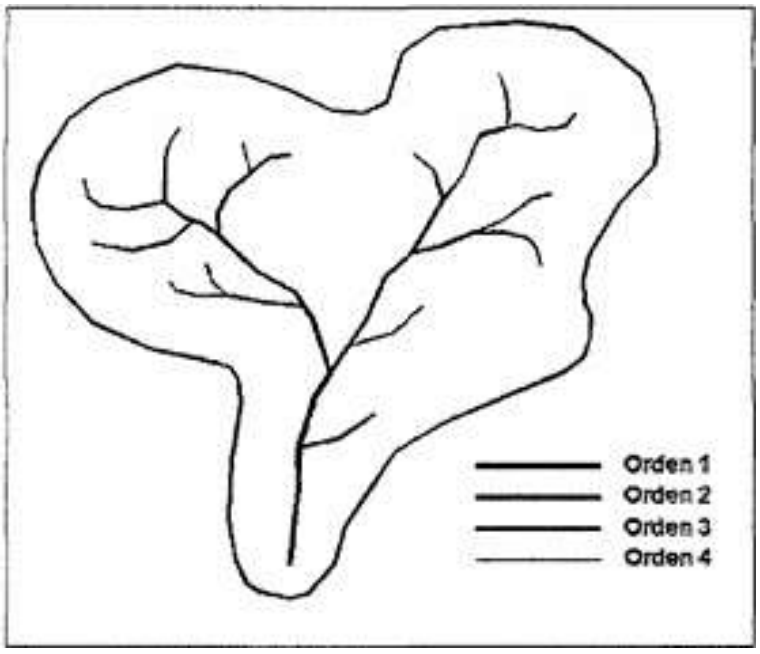
Conformada por la unión de 2 corrientes de 2° orden

CORRIENTES DE ORDEN n+1:

Cuando dos corrientes de orden n se unen.

Figura 9

Modelo de red de drenaje según Horton-Strahler.



Fuente: Fattorelli, 2011.

TEORÍA DEL ÁRBOL DE BIFURCACIÓN DE LA RED DE DRENAJE DE B. SHREVE.

Es otro esquema de organización planimétrica de la red hidrográfica en la que se obtiene un árbol de bifurcación como el que se muestra en la Figura 10 donde el orden o "magnitud" de un segmento de corriente formado en una unión, es la suma de las magnitudes de los dos tributarios, así se tiene:

CORRIENTES DE PRIMER ORDEN:

Pequeños canales sin tributarios

CORRIENTES DE SEGUNDO ORDEN:

Conformada por la unión de 2 corrientes de 1° orden

CORRIENTES DE TERCER ORDEN:

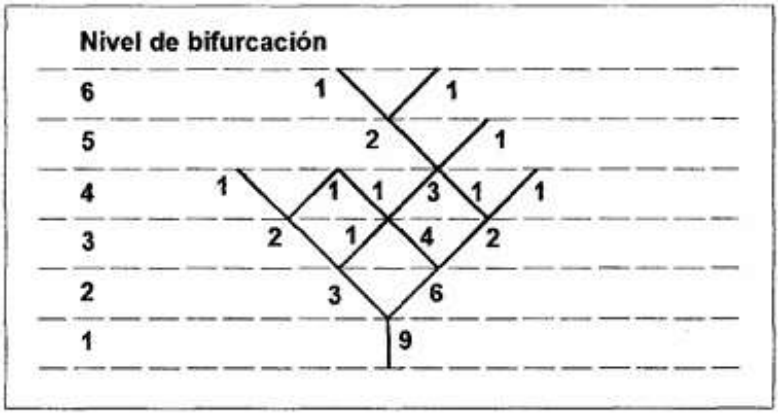
Cuando se unen una corriente de segundo orden y una de primer orden.

CORRIENTES DE ORDEN n + m:

Cuando se unen dos corrientes de orden n y m.

Figura 10

Árbol de bifurcación de la Red de drenaje según B. Shreve.



Fuente: Fattorelli, 2011.

SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO.

El sistema de drenaje pluvial urbano tiene como objetivo principal evacuar de manera eficiente las aguas que capta en toda la superficie y transportar el agua hacia otro lugar o cauce con la finalidad de garantizar la estabilidad de la infraestructura urbana (MTC, 2011, p.50).

En suma, el diseño de sistemas de drenaje pluvial urbano busca gestionar de manera eficiente el agua pluvial, minimizando inundaciones y daños asociados.

Según la norma técnica OS.060 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [en adelante, MTC], 2006) los sistemas de drenaje deben estar dimensionados para manejar eventos de lluvia de alta intensidad, utilizando modelos hidráulicos que simulan el flujo del agua a través de las redes de drenaje.

El enfoque contemporáneo, como lo plantea Ferguson (como se citó en Trujillo López & Quiroz Lasprilla, 2013), integra el diseño de drenaje con principios de sostenibilidad, priorizando la captación y reutilización de aguas pluviales, así como la mitigación de riesgos ambientales y económicos.

SISTEMA DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE (SUDS).

En los últimos años el concepto de sistema de drenaje urbano ha ido evolucionando desde un enfoque sostenible, es decir, proyectando los objetivos

actuales con una visión a futuro de cómo serán los sistemas de drenaje urbano del futuro. En los documentos analizados, se encontró que los términos más utilizados para hacer referencia a las SUDS fueron “sistema urbano de drenaje sostenible” el más frecuente, “infraestructura verde” y “desarrollo de bajo impacto (LID)” (Bermúdez-Valero, 2021, p.20).

Este enfoque ha sido innovador, ya que no buscan reemplazar el sistema tradicional, sino contribuyen y complementan estrategias de manera significativa para la conservación, regulación y recuperación del ciclo hídrico, mientras ayuda a mitigar los efectos negativos del desarrollo urbano.

2.2.4. Teorías para la determinación del caudal de escorrentía.

La determinación del caudal de escorrentía está basada en la relación entre la precipitación, el uso del suelo y las características físicas de la cuenca. El método más comúnmente utilizado para calcular el caudal de escorrentía es el método de la curva número (CN), propuesto por el Soil Conservation Service (SCS), en 1972, el cual estima el volumen de escorrentía a partir de la intensidad de la lluvia y la capacidad de absorción del suelo. Además, según Vieux, 2004, la precisión de los cálculos de escorrentía depende de la correcta calibración de los parámetros del modelo, como la capacidad de retención de agua del suelo y la pendiente del terreno, lo cual permite mejorar la estimación en contextos urbanos complejos como el de Pucallpa.

Según Fattorelli, 2011, los factores que intervienen en los estudios hidrológicos son muy diversos: topografía, geología, edafología, climatología, vegetación, etc.

La influencia de estos elementos no puede ser reducida a expresiones puramente matemáticas, pero el estudio de ciertas relaciones puede dar una idea cualitativa del problema. Las relaciones existentes entre los elementos hidrológicos y los físicos geográficos son dependientes. Así, un parámetro

cualquiera del régimen hidrológico es función de varios elementos físico-geográficos.

ÁREA DE LA CUENCA:

Para Fattorelli, 2011, La delimitación precisa de las cuencas se realiza en los planos pertinentes a las restituciones planialtimétricas, utilizando la escala apropiada. En trabajos de hidrología, las escalas de trabajo que se acaban de mencionar suelen ser consideradas como adecuadas según los órdenes de magnitud de las escalas de los planos base. En todos los casos, se establece la línea de contorno de cada cuenca en primer lugar, la cual coincide con la divisoria topográfica.

La “divisoria”, según Ramirez Orozco, 2012 (como se cita en Coronel, 2014), es la línea imaginaria que marca el límite de la cuenca. La divisoria, valga la redundancia, "divide" la cuenca de las adyacentes, y en este sentido, es la unión de los puntos más altos entre ambas zonas; distribuye el escurrimiento que se produce a causa de la lluvia.

La divisoria pasa por el punto más elevado de la cuenca y también por la salida de esta. Une los puntos más altos a través de una transversal a lo largo de la cuenca.

Una de las características más relevantes de la cuenca, el área, también queda determinada una vez que se establece su divisoria. Por lo tanto, el área se define como la superficie de la proyección horizontal que está delimitada por la divisoria.

PENDIENTE DE LA CUENCA:

Para Fattorelli, 2011, la pendiente de la cuenca es otro elemento muy importante a tener en cuenta, ya que, por un lado, señala el nivel al cual las masas de aire deben elevarse mientras se desplazan a través de la cuenca y, por otro lado, afecta cómo el agua precipitada se orienta hacia una sección de control específica. La inclinación del terreno natural está directamente relacionada con

la rapidez de escurrimiento sobre la cuenca. Sin embargo, también muestra una dependencia muy compleja con el fenómeno de escorrentía superficial en sí, debido a su fuerte conexión con la infiltración, el contenido de humedad del suelo, las anomalías localizadas y el desarrollo de la vegetación.

ESTUDIO GEOLÓGICO.

El estudio geológico comprende una parte fundamental de los estudios de campo con el propósito de identificar y obtener información acerca de la composición del suelo, de las condiciones de los estratos, su geomorfología. Para obtener las características geológicas del suelo en el terreno el estudio se basa en la aplicación de las normas técnicas vigentes estandarizadas a nivel nacional por la autoridad de Calidad y el Manual de Ensayos de materiales del Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.128 – ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO:

Consiste en la determinación de los tamaños de partículas del suelo. La clasificación de partículas mayores que 75 µm (retenido en el tamiz N.° 200) se efectúa por tamizado, las partículas menores que 75 µm se realiza con la “Ley de Stokes”.

a) Referencias normativas:

Norma Técnica Peruana NTP 339.128:1999 (revisada el 2019): SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico.

Norma ASTM D-422: Método de prueba estándar para el Análisis del tamaño de Partículas de Suelos.

Norma MTC E-107: Análisis granulométrico de suelos por tamizado.

b) Equipos y materiales:

- ✓ Dos balanzas, la primera con sensibilidad de 0.01 g para los suelos que pasen el tamiz N° 4, y la segunda con sensibilidad de 0.1% del peso, para los suelos retenidos en el tamiz N° 4.
- ✓ Estufa, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C

- ✓ Tamices de malla cuadrada que cumplan con la ASTM E 11.1195:
  - Tamiz de 3” (75 mm)
  - Tamiz de 2” (50.0 mm)
  - Tamiz de 1 ½” (37.5 mm)
  - Tamiz de 1” (25.0 mm)
  - Tamiz de ¾” (19.0 mm)
  - Tamiz de 3/8” (9.5 mm)
  - Tamiz N° 4 (4.75 mm)
  - Tamiz N° 10 (2.00 mm)
  - Tamiz N° 20 (850 µm)
  - Tamiz N° 40 (425 µm)
  - Tamiz N° 60 (250 µm)
  - Tamiz N° 140 (106 µm)
  - Tamiz N° 200 (75 µm)
- ✓ Agitador mecánico de tamices
- ✓ Cepillo y brocha para limpiar las mallas de los tamices

c) Procedimiento:

- ✓ Preparar la muestra extraída con calicata llevadas al laboratorio
- ✓ Seleccionar el grupo de tamices según el formato
- ✓ Verter la muestra ensayada en los tamices
- ✓ Agitar manualmente o de manera mecánica todos los tamices
- ✓ Sacar, pesar y anotar los pesos retenidos de cada tamiz
- ✓ Comparar el peso total del material después con el peso inicial

d) Informe de resultados:

Se calcula el porcentaje retenido sobre cada tamiz mediante el pesaje de la muestra retenida sobre el peso de la muestra secada al horno. Se expresa en porcentaje.

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso malla}}{\text{Peso de la muestra seca}} \text{x}100$$

De los pesos retenidos por cada malla se grafica la Curva granulométrica.

NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.134 – CLASIFICACIÓN SUCS:

Esta metodología permite clasificar los suelos de acuerdo a estándares internacionales de clasificación, por sus características físicas y su composición.

a) Referencias normativas:

Norma Técnica Peruana NTP 339.134:1999 (revisada el 2019): SUELOS. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS).

Norma ASTM D-2487: Práctica Estándar para la Clasificación de Suelos para propósitos de Ingeniería (Sistema de Clasificación Unificada de Suelos).

b) Descripción:

Para realizar la clasificación del suelo por el método SUCS es necesario hacer previamente ensayos de granulometría y los límites líquido y plástico.

En términos simples, los suelos se clasifican en gruesos, finos, o altamente orgánicos.

SUELOS GRUESOS.

- Gravas y suelos gruesos, se simbolizan con el prefijo “G”.
- Arenas y suelos arenosos se simbolizan con el prefijo “S”
- Material limpio de finos, bien graduado, con el sufijo “W”
- Material limpio de finos, mal graduado, con el sufijo “P”
- Material con cantidad considerable de limos, el sufijo “M”
- Material con cantidad considerable de arcilla, el sufijo “C”

SUELOS FINOS.

- Limos inorgánicos, se simbolizan con el prefijo “M”
- Arcillas inorgánicas, se simbolizan con el prefijo “C”
- Limos y arcillas orgánicas, se simbolizan con el prefijo “O”

- Si el LL es menor de 50%, se simbolizan con el sufijo “L”
- Si el LL es mayor de 50%, se simbolizan con el sufijo “H”

SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS.

- Turba o suelos altamente orgánicos, el símbolo “PT”.

Clasificación del suelo basado en SUCS.

Criterios para la asignación de símbolos de grupo y nombre de grupos con el uso de ensayos de laboratorio				Clasificación de Suelos	
				Símbolo de grupo	Nombre del grupo
Suelos de partículas gruesas más del 50% es retenido en la malla N.° 200	Gravas Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla N.° 4	Gravas limpias Menos del 5% pasa la malla N.° 200	Cu ≥ 4 y 1 ≤ Cc ≤ 3	GW	Grava bien graduada
			Cu < 4 y 1 > Cc > 3	GP	Grava mal graduada
		Gravas con finos Más del 12% pasa la malla N.° 200	IP<4 o debajo de la línea “A” en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa
			IP>7 o arriba de la línea “A” en la carta de plasticidad	GC	Grava arcillosa
		Gravas limpias y con finos Entre el 5% y 12% pasa malla N.° 200	Cumple con los criterios para GW y GM	GW - GM	Grava bien graduada con limo
			Cumple con los criterios para GW y GC	GW-GC	Grava bien graduada con arcilla
			Cumple con los criterios para GP y GM	GP-GM	Grava mal gradada con limo
			Cumple con los criterios para GP y GC	GP-GC	Grava mal gradada con arcilla
	Arenas El 50% c	Arenas limpias Menos del 5% pasa la malla N.° 200	Cu ≥ 6 y 1 ≤ Cc ≤ 3	SW	Arena bien gradada
			Cu < 6 y 1 > Cc > 3	SP	Arena mal gradada
		Arenas con finos Más del 12% pasa la malla N.° 200	IP<4 o debajo de la línea “A” en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa
			IP>7 o arriba de la línea “A” en la carta de plasticidad	SC	Arena arcillosa
		Arenas limpias y con finos Entre el 5% y 12% pasa malla N.° 200	Cumple con los criterios para SW y SM	SW-SM	Arena bien gradada con limo
			Cumple con los criterios para SW y SC	SW-SC	Arena bien gradada con arcilla
			Cumple con los criterios para SP y SM	SP-SM	Arena mal gradada con limo
			Cumple con los criterios para SP y SC	SP-SC	Arena mal gradada con arcilla
Suelos de partículas finas El 50% o más pasa la malla N.° 200	Limos y arcillas Límite líquido menor que 50	Inórganicos	IP>7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea “A”	CL	Arcilla de baja plasticidad
			IP<4 y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea “A”	ML	Limo de baja plasticidad
		Orgánicos	Límite líquido-secado al horno < 0.75 Límite líquido-no secado	OL	Arcilla orgánica Limo orgánico
	Limos y arcillas Límite líquido mayor que 50	Inórganicos	IP>7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea “A”	CH	Arcilla de alta plasticidad
			IP<4 y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea “A”	MH	Limo de alta plasticidad
		Orgánicos	Límite líquido-secado al horno < 0.75 Límite líquido-no secado	OH	Arcilla orgánica Limo orgánico
Suelos altamente orgánicos	Principalmente materia orgánica de color oscuro				

Fuente: ASTM D-2487.

NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.135 – CLASIFICACIÓN AASHTO M-145:

a) Referencias normativas:

Norma Técnica Peruana NTP 339.135:1999 (revisada el 2019): SUELOS. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS).

Norma ASTM D-3282: Práctica Estándar para la Clasificación de Suelos y Mezclas y de Suelo-Agregado para Fines de Construcción de Carreteras.

b) Descripción:

La clasificación AASHTO es uno de los primeros sistemas de clasificación de suelos, desarrollado en el año 1928 por los ingenieros Terzaghi y Hogentogler, actualmente en ingeniería es ampliamente usado en los estudios definitivos de carreteras y caminos.

Para realizar la clasificación del suelo por este método es necesario hacer previamente ensayos de granulometría (con los tamices N° 10, 40 y 200), los límites líquido y plástico y el índice de grupo. Este último término se presenta en esta norma para clasificar los suelos en gran parte gracias a los límites de Atterberg. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

Donde:

F = Porcentaje que pasa por el tamiz N° 200

LL = Límite líquido

IP = Índice de plasticidad.

Se aprecia que “el índice de grupo es un valor entero positivo, comprendido entre 0 y 20 o más, cuando el IG es negativo, se reporta cero” (MTC, 2014, p.34).

Figura 11

Clasificación de suelos según Índice de Grupo.

Índice de Grupo	Suelo de Sub rasante
IG > 9	Inadecuado
IG está entre 4 a 9	Insuficiente
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 – 2	Bueno
IG está entre 0 – 1	Muy Bueno

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Sección: Suelos y Pavimentos, MTC, 2014.

La clasificación de los suelos basados en la clasificación AASHTO, es concordante con el cuadro extraído el Manual de Carreteras del Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

Figura 12

Clasificación de los suelos basado en AASHTO M-145

Clasificación general	Suelos granulares 35% máximo que pasa por tamiz de 0.075 mm (N° 200)							Suelos finos más de 35% pasa por el tamiz de 0.075 mm (N° 200)				
Clasificación de Grupo	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Análisis granulométrico % que pasa por el tamiz de:												
2 mm (N° 10)	máx. 50											
0.425 mm (N° 40)	máx. 30	máx. 50	mín. 51									
F: 0.075 mm (N° 200)	máx. 15	máx. 25	máx.10	Máx. 35	máx. 35	máx. 35	máx. 35	mín. 36	mín. 36	mín. 36	mín. 36	mín. 36
Caracteristicas de la fracción que pasa el 0.425 (N° 40)												
Caracteristicas de la fracción que pasa del tamiz (N° 40)												
LL: Límite de Líquido				máx. 40	mín. 41	máx. 40	mín. 41	máx. 40	Mín. 41	máx. 40	mín. 41	mín. 41
IP: Índice de Plasticidad	máx. 6	máx. 6	NP	máx. 10	máx. 10	mín. 11	mín. 11	máx. 10	máx. 10	mín. 11	mín. 11 [a]	mín. 11 [b]
Tipo de material	Piedras, gravas y arenas		Arenas Finas	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Estimación general del suelo como sub rasante	Exelente a bueno					Regular a insuficiente						

Nota. De “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Sección: Suelos y Pavimentos: Cuadro 4.10”, por MTC (2014, p. 37).

NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.127 – ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD:

Consiste en la determinación del contenido de humedad del suelo, expresado en porcentaje, del peso de agua en una muestra de suelo estudiada.

a. Referencias normativas:

Norma Técnica Peruana NTP 339.127:1998 (revisada el 2019): SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.

Norma ASTM D-2216: Método de prueba estándar para la Determinación de Laboratorio del Contenido de agua (humedad) de Suelo y Rocas.

Norma MTC E-108: Determinación del contenido de humedad de un suelo

b) Equipos y materiales:

- ✓ Horno de secado, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C
- ✓ Balanza (para muestras de menos de 200 g, sensibilidad de 0.01 g, para muestras de más de 200 g, sensibilidad de 0.1 g)
- ✓ Recipientes o taras, deben ser herméticos, resistentes a la corrosión y al cambio de temperatura

c) Procedimiento:

- ✓ Tomar la muestra extraída con calicata y almacenar inmediatamente en bolsa, llevadas al laboratorio
- ✓ Determinar y registrar el peso de la tara
- ✓ Determinar y registrar el peso de la tara + muestra húmeda
- ✓ Colocar en el horno de secado y esperar (de 12 a 16 horas)
- ✓ Sacar del horno y enfriar a temperatura ambiente
- ✓ Determinar y registrar el peso de la tara + muestra seca

d) Informe de resultados

Se expresa en porcentaje.

$$W = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso de la muestra seca}} \times 100$$

NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.129 – ENSAYO DE LÍMITES DE CONSISTENCIA:

- **ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO (NTP 339.129)**

El ensayo de límite líquido consiste en determinar la cantidad de agua para el cual el suelo pasa de un estado líquido al estado plástico.

a) Referencias normativas:

Norma Técnica Peruana NTP 339.129:1999 (revisada el 2019): SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

Norma ASTM D-4318: Método de prueba estándar para Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos.

Norma MTC E-110: Determinación del Límite Líquido de los suelos.

b) Equipos y materiales:

- ✓ Recipiente de almacenaje, una vasija de porcelana de diámetro 4 ½" (115 mm)
- ✓ Aparato del límite líquido (o de Casagrande)
- ✓ Balanza, con sensibilidad de 0.01 g
- ✓ Horno o estufa, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C
- ✓ Espátula de hoja flexible, de 3" – 4" de longitud y 20 mm de ancho
- ✓ Tamiz N° 40
- ✓ Agua destilada o desmineralizada

c) Procedimiento:

- ✓ Tamizar 150 g de material que pasa la malla N° 40
- ✓ Agregar agua 15 ml inicialmente
- ✓ Mezclar hasta que esté bien combinado
- ✓ Colocar una porción del suelo preparado en la copa
- ✓ Utilizar el acanalador y cortar la ranura

- ✓ Levantar y soltar la copa girando el manubrio a una velocidad de 1.9 a 2.1 golpes por segundo hasta que las dos mitades del suelo estén en contacto en la base de la ranura
- ✓ Registrar el número de golpes, N, necesario para cerrar la ranura
- ✓ Con una espátula recoger la muestra juntada
- ✓ Colocar en la tara, pesar y poner dentro del horno
- ✓ Añadir agua destilada por cada repetición

d) Informe de resultados:

Se calcula el límite líquido (LL) mediante la siguiente ecuación:

$$LL = W_N \cdot \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121} \quad \text{o} \quad LL = kW_N$$

Donde:

W_N = Contenido de humedad natural del suelo,

N = Número de golpes requeridos para cerrar la ranura,

k = Factor dado en la Tabla A.1 de la NTP 339.129.

- **ENSAYO DE LÍMITE PLÁSTICO (NTP 339.129)**

La determinación del límite plástico se define como la cantidad de agua para el cual el suelo pasa de un estado semisólido al plástico.

a) Referencias normativas:

Norma Técnica Peruana NTP 339.129:1999 (revisada el 2019): SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

Norma ASTM D-4318: Método de prueba estándar para Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos.

Norma MTC E-111: Determinación del Límite Plástico de los suelos e índice de plasticidad de los suelos.

b) Equipos y materiales:

- ✓ Espátula de hoja flexible, de 3” – 4” de longitud por 20 mm de ancho
- ✓ Recipiente de almacenaje, una vasija de porcelana de diámetro 4 ½” (115 mm)
- ✓ Balanza, con sensibilidad de 0.01 g
- ✓ Horno o estufa, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C
- ✓ Espátula de hoja flexible, de 3” – 4” de longitud y 20 mm de ancho
- ✓ Tamiz N° 40
- ✓ Agua destilada o desmineralizada

c) Procedimiento

- ✓ Tamizar 20 a 50 g del material que pasa el tamiz N° 40,
- ✓ Amasar con agua destilada hasta formar una esfera,
- ✓ Tomar una porción de 1.5 g a 2.0 g de la muestra,
- ✓ Enrollar la masa en un hilo de diámetro uniforme hasta que su diámetro sea de 3.2 mm,
- ✓ Si el hilo alcanza 3.2 mm, romper en varios pedazos, reunir y moldear en una masa elipsoidal,
- ✓ Enrollar nuevamente hasta que el suelo presente signos de fisuras.

d) Informe de resultados

Se calcula el límite plástico (LP) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$LP = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco}} \times 100$$

Donde:

Ph = Peso de los trocitos de filamentos húmedos, en gramos,

Ps = Peso de los trocitos de filamentos secos, en gramos,

Pw = Peso del agua contenida en los filamentos pesados, en gramos.

- ÍNDICE DE PLASTICIDAD (NTP 339.129)

El índice de plasticidad (IP) se define como el rango de contenido de humedad que contiene un suelo cuando se comporta de manera plástica, además, es la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico.

Un IP grande corresponde a un suelo muy arcilloso, por el contrario, un IP bajo es característico de un suelo poco arcilloso.

Los suelos, en función a su IP, pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Suelos exentos de arcilla (IP = 0, no plástico)
- Suelos poco arcillosos (IP < 7, baja plasticidad)
- Suelos arcillosos (7 < IP ≤ 20, media plasticidad)
- Suelos muy arcillosos (IP > 20, alta plasticidad)

a) Referencias normativas:

Norma Técnica Peruana NTP 339.129:1999 (revisada el 2019): SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

Norma ASTM D-4318: Método de prueba estándar para Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos.

Norma MTC E-111: Determinación del Límite Plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.).

b) Informe de resultados

Se calcula el índice de plasticidad (IP) con la siguiente ecuación:

$$IP = LL – LP$$

Donde:

LL y LP son números enteros.

C) ESTUDIO HIDROLÓGICO.

Cuando se cuenta con datos pluviométricos de precipitaciones, es posible realizar un análisis estadístico de los caudales máximos instantáneos para la estación más cercana al punto de interés. Se calculan los caudales para los periodos de retorno

de interés (2, 5, 10, 20, 50, 100 y 500 años son valores estándar), usando la distribución normal, log normal, log Pearson III, y valor Extremo tipo I (Gumbel).

DATOS HIDROLÓGICOS

A pesar de la existencia de estaciones encargadas a estudiar y recolectar la información hidrológica de la región, la mayor parte de las cuencas hidrográficas no se encuentran instrumentadas, por lo que en la práctica se utiliza métodos indirectos para la estimación del caudal de diseño.

Cuando exista información disponible de una estación meteorológica autorizada por la entidad competente, se podrá elegir el método más adecuado para obtener estimaciones de la magnitud del caudal, el cual debe ser verificado con las observaciones directas realizadas en el punto o área de interés, algunas evidencias en la práctica suelen dejar marcas de agua de crecidas importantes del nivel del agua del río en zonas inundables, así como el análisis de obras de arte existentes.

PERIODO DE RETORNO

El período de retorno "T" El tiempo medio, en años, que se requiere para igualar o exceder el valor del caudal pico de una creciente determinada es conocido como "Período de Retorno T". Si se asume que los sucesos anuales son independientes, resulta factible determinar la probabilidad de fallo durante una vida útil de n años.

Es fundamental tener en cuenta la correlación entre la probabilidad de que un suceso exceda, el tiempo de vida útil de la estructura y el riesgo tolerable de fallo para determinar el período de retorno a implementar en el diseño de una obra. Este último se ve influenciado por factores económicos, sociales, técnicos y otros.

El criterio de riesgo consiste en establecer, a priori, el nivel de riesgo que se está dispuesto a asumir en caso de que la obra no funcione bien durante su vida útil. Esto significa que no debe suceder un evento mayor al previsto en el diseño durante el primer año, luego durante el segundo y así sucesivamente para cada uno de los años de duración de la obra.

La siguiente fórmula representa el riesgo de falla admisible en relación con la duración de vida útil y el período de retorno de la obra:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

Donde:

R: riesgo de falla admisible.

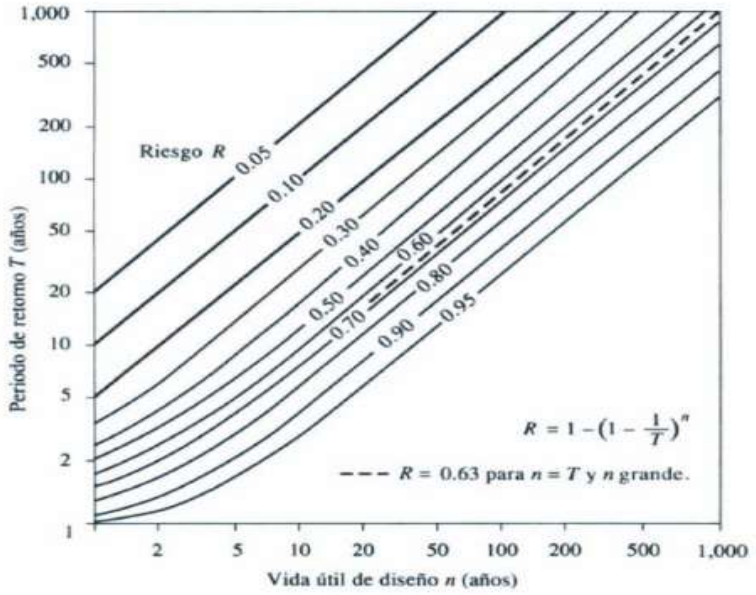
T : Periodo de retorno en años.

n : tiempo de vida útil de diseño en años.

La fórmula previa facilita el cálculo del tiempo de retorno T, si la obra tiene una duración útil de n años. Para calcularlo, se establece R como el riesgo de falla admisible, es decir, la posibilidad de que ocurra el pico del crecimiento analizado durante la vida útil de dicha obra. En la Figura 13 se muestra el riesgo admisible en una gráfica de dos ejes donde la vida útil “n” en años está en el eje de las abscisas y el periodo de retorno “T” en años está en el eje de las ordenadas.

Figura 13

Riesgo de una excedencia del evento de diseño durante vida útil.



Nota. Obtenido del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje R.D. N° 20-2011-MTC/14.

Fuente: Hidrología Aplicada (Ven Te Chow).

De acuerdo al porcentaje de riesgo admisible R y según la vida útil n de la obra, se presenta una tabla de valores de retorno T para diferentes riesgos admisibles. (Ver Tabla 4)

Además, para los valores de dicha tabla, se recomienda utilizar como máximo los siguientes valores de riesgo admisible para las siguientes obras de drenaje:

Para Puentes y Defensas rivereñas: R=25%

Para alcantarillas de paso de quebradas importantes: R=30%

Para alcantarillas de paso de quebradas menores y descarga de cunetas: R=35%

Para drenaje de la plataforma y subdrenes: R=40%

Tabla 4

Valores de periodo de retorno T en años.

Riesgo admisible R	T=1	T=2	T=3	T=5	T=10	T=20	T=25	T=50	T=100	T=200
0.01	100	199	299	498	995	1990	2488	4975	9950	19900
0.02	50	99	149	248	495	990	1238	2475	4950	9900
0.05	20	39	59	98	195	390	488	975	1950	3900
0.10	10	19	29	48	95	190	238	475	950	1899
0.20	5	10	14	23	45	90	113	225	449	897
0.25	4	7	11	18	35	70	87	174	348	695
0.50	2	3	5	8	15	29	37	73	154	289
0.75	1.3	2	2.7	4.1	7.7	15	18	37	73	144
0.99	1	1.11	1.27	1.66	2.7	5	5.9	11	22	44

Fuente: Monsalve, 1999.

MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE DATOS HIDROLÓGICOS

El propósito del análisis de frecuencias es calcular precipitaciones, caudales o intensidades máximos para diversos períodos de retorno usando modelos probabilísticos, que pueden ser discretos o continuos.

En la estadística hay varias funciones teóricas de distribución de probabilidad, entre las que se encuentran las siguientes:

A) Distribución Normal:

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

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje R.D. N° 20-2011-MTC/14

Donde:

X es la variable independiente;

μ viene a ser el parámetro de localización; y

S consiste en el parámetro de escala.

B) Distribución Log Normal 2 Parámetros:

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

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje R.D. N° 20-2011-MTC/14

Donde:

X es la variable independiente; $\bar{X}$ y S vienen a ser los parámetros de distribución.

C) Distribución Log Normal 3 Parámetros:

$$f(x)=\frac{1}{(x-x_0)\cdot\sqrt{2\pi\cdot Sy}}\cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{Ln(x-x_0)-\mu_y}{Sy}\right)}$$

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje R.D. N° 20-2011-MTC/14

Para x > x0

Donde:

X0: parámetro de posición.

Uy: parámetro de escala o media.

Sy²: parámetro de forma o varianza.

D) Distribución Gamma 2 Parámetros:

La función de densidad es:

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

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje R.D. N° 20-2011-MTC/14

Válido para:

$0 \leq x < \infty$

$0 < \gamma < \infty$

$0 < \beta < \infty$

Donde:

γ : parámetro de forma.

β : parámetro de escala.

E) Distribución Gamma 3 Parámetros:

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} \cdot e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^{\gamma}\Gamma(\gamma)}$$

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje R.D. N° 20-2011-MTC/14

Válido para:

$x0 \leq x < \infty$

$-\infty < x0 < \infty$

$0 < \beta < \infty$

$0 < \gamma < \infty$

Donde: x0 es el origen de la función x; γ viene a ser el parámetro de forma, y β consiste en el parámetro de escala.

F) Distribución Log Pearson Tipo III:

$$f(x) = \frac{(lnx - x_0)^{\gamma-1} \cdot e^{-\frac{(lnx-x_0)}{\beta}}}{x\beta^{\gamma}\Gamma(\gamma)}$$

Válido para:

$x0 \leq x < \infty$

$-\infty < x0 < \infty$

$0 < \beta < \infty$

$0 < \gamma < \infty$

Donde: x0 es el parámetro de posición; γ viene a ser el parámetro de forma; y β consiste en el parámetro de escala.

G) Distribución Gumbel:

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

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma}$$

$$\beta = \mu - 0.45\sigma$$

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje R.D. N° 20-2011-MTC/14

Donde:

α : Parámetro de concentración.

β : Parámetro de localización.

Según Chow, también se puede expresar mediante la siguiente fórmula:

$$x = \bar{x} + k\sigma_x$$

Donde:

x : Valor con una probabilidad dada.

x : Media de la serie.

k : Factor de frecuencia.

H) Distribución Log Gumbel:

A continuación, se describen la variable aleatoria reducida log Gumbel y la función acumulada reducida como:

$$y = \frac{\ln x - \mu}{\alpha} \qquad G(y) = e^{-e^{-y}}$$

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje R.D. N° 20-2011-MTC/14

PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE

Las pruebas o "tests" de bondad son pruebas de hipótesis que se utilizan para determinar si un conjunto de datos constituye una muestra independiente respecto a la distribución seleccionada.

La χ2 y la Kolmogorov - Smirnov son las pruebas de bondad de ajuste más reconocidas en la teoría estadística, las cuales se explican a continuación:

a) Prueba Chi Cuadrado X^2

En relación a esta prueba, fue Karl Pearson el primero que la propuso en 1900; se utiliza para comprobar la bondad de las distribuciones logarítmicas normales y las normales.

Para realizar la prueba, en primer lugar, se deben dividir los datos en k intervalos de clase. Después se determina el parámetro estadístico:

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

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje R.D. N° 20-2011-MTC/14

Donde:

θi : # de eventos en el intervalo i

εi : # de eventos en el mismo intervalo.

b) Prueba Kolmogorov – Smirnov.

A través de este método no solo verifica la bondad de ajuste de las distribuciones, sino que también posibilita seleccionar la distribución que tenga el mejor ajuste.

Se compara el valor absoluto más alto de la diferencia D y el valor crítico d. La diferencia D consiste en la diferencia entre la función de distribución observada Fo y la estimada F, que se calcula con la siguiente fórmula:

$$D = máx / Fo(xm) - F(xm)/$$

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje R.D. N° 20-2011-MTC/14

El valor crítico “d” está en función del número de datos y el nivel de significancia seleccionado. Para la prueba de hipótesis, si se cumple que D<d entonces se rechaza la hipótesis alterna, y se acepta la hipótesis nula. A diferencia de la otra prueba es que esta prueba de bondad compara los datos con el modelo estadístico sin agruparlos. La función de distribución observada Fo se expresa de la siguiente manera:

$$Fo(xm) = 1- m / (n+1)$$

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje R.D. N° 20-2011-MTC/14

Donde: m es el número de orden de dato xm en una lista de mayor a menor; y n es el número total de datos. (Aparicio, 1996)

DETERMINACIÓN DE LA TORMENTA DE DISEÑO

En numerosos proyectos de diseño, el primer paso consiste en establecer cuál evento de lluvia se va a emplear.

Un patrón de precipitación que se define para ser empleado en el diseño de un sistema hidrológico es una tormenta de diseño. Por lo general, la tormenta de diseño constituye la entrada al sistema, y los caudales que se generan en este se determinan mediante métodos de tránsito de caudales y lluvia-escorrentía. Un hietograma de diseño, que especifique la distribución temporal de la precipitación a lo largo de una tormenta, o un valor de profundidad de precipitación en un punto pueden ser utilizados para definir una tormenta de diseño.

Las tormentas de diseño pueden fundarse en datos históricos de precipitación de un área o pueden ser elaboradas a partir de los rasgos generales de la precipitación en áreas vecinas. Su implementación abarca desde la utilización de valores puntuales

de precipitación en el método racional para calcular los caudales picos en drenajes pluviales y alcantarillas viales, hasta la aplicación de hietogramas de tormenta como entradas para el estudio lluvia-escorrentía en embalses destinados a la detención de aguas urbanas.

Para determinar la tormenta de diseño, lo ideal sería tener datos obtenidos por un pluviógrafo, porque este instrumento proporciona información en tiempo real; no obstante, la mayoría de las estaciones que miden precipitaciones solo disponen de pluviómetros, que solamente ofrecen valores promedios.

CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA (IDF)

La intensidad es la tasa de precipitación en el tiempo, es decir, la profundidad por cada unidad de tiempo. La intensidad instantánea o la media de la intensidad durante el tiempo que dura la lluvia son dos posibilidades. Se suele emplear la intensidad media, que puede expresarse de la siguiente manera:

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

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje R.D. N° 20-2011-MTC/14

Donde:

i : intensidad de lluvia en mm/h

P : profundidad de lluvia en mm

Td : duración de lluvia en horas.

La frecuencia viene a ser el intervalo promedio entre precipitaciones que, según el período de retorno, T, sobrepasa o iguala la magnitud de diseño.

Las curvas IDF son un componente del diseño que vincula la frecuencia, la intensidad y la duración de la lluvia, es decir, permite evaluar la probabilidad de ocurrencia o el intervalo entre eventos.

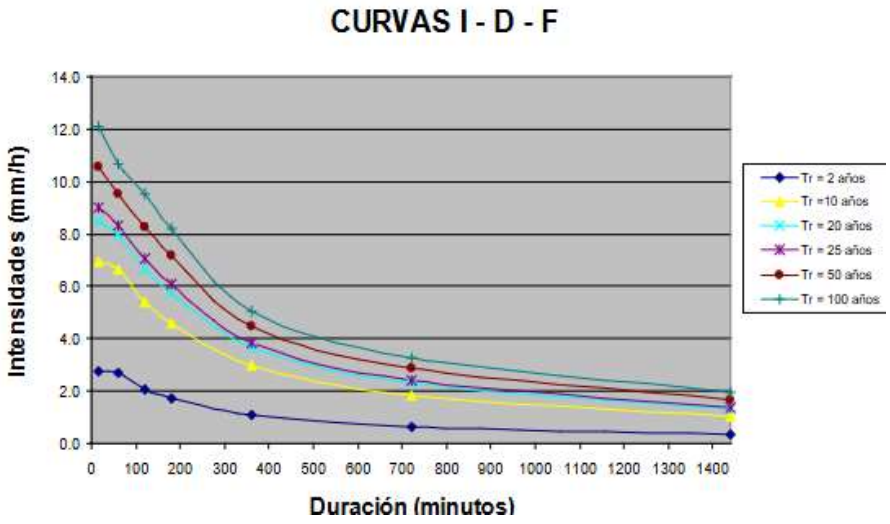
Es necesario tener registros pluviográficos de lluvia en el lugar de estudio para calcular estas curvas de intensidad-duración-frecuencia, y de todos los registros se debe elegir la lluvia más intensa con diferentes duraciones cada año. Esto permite llevar

a cabo un análisis de frecuencia con cada una de las series que se han formado. En otras palabras, es necesario analizar los hietogramas de cada tormenta que sucedió en un año y, a partir de estos, seleccionar el volumen de lluvia que se produjo en la hora más lluviosa, luego en las dos horas más lluviosas, después en las tres horas más lluviosas y así sucesivamente.

De esta manera se crean series anuales para cada duración seleccionada con los valores escogidos. Estas series anuales se construyen al seleccionar el valor máximo que se observa para cada duración en cada año del registro, de modo que se obtiene un valor por cada duración y por cada año.

Cada serie se analiza en términos de frecuencia, vinculando modelos probabilísticos, de este modo, se obtiene la probabilidad de la intensidad de lluvia para cada duración, que se ilustra en un solo gráfico de duración frente a intensidad y cuyo parámetro es el período de retorno como se observa en el ejemplo la Figura 14.

Figura 14 Ejemplo de curvas Intensidad – Duración – Frecuencia.



Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje R.D. N° 20-2011-MTC/14

Las curvas IDF pueden también representarse como ecuaciones para evitar la lectura de la intensidad de lluvia de diseño a partir de una gráfica. El modelo general es el siguiente:

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

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, MTC, 2014.

Donde:

I : intensidad de la lluvia

D : duración de la lluvia

a, b y m : parámetros calculados mediante un análisis de regresión lineal, según el lugar y el período de retorno elegido.

La lluvia de diseño tiene una duración equivalente al tiempo de concentración (tc) del área de drenaje bajo consideración, porque es cuando la escorrentía llega a su máxima expresión, en el tc, que toda el área está aportando caudal al punto de salida.

En nuestro país, la elaboración de estas curvas es complicada debido a la limitada información pluviográfica disponible.

Usualmente, las lluvias máximas solo se registran en un período de 24 horas, así que el valor de la intensidad máxima de la precipitación pluvial se calcula en general tomando como base la precipitación máxima en 24 horas y multiplicándola por un coeficiente de duración.

Para calcular la intensidad de lluvia, cuando no sea posible obtener mayor información pluviográfica, se puede utilizar unos coeficientes de duración, los cuales se determinan para duraciones de 1 hora a 2 días. (Ver Tabla 5)

Tabla 5

Coeficientes de duración de lluvias entre 48 horas y una hora.

Duración de la precipitación en horas	**Coeficiente**	**Duración de la precipitación en horas**	**Coeficiente**
1	0.25	12	0.79
2	0.31	14	0.83

3	0.38	16	0.87
4	0.44	18	0.90
5	0.50	20	0.93
6	0.56	22	0.97
8	0.64	24	1.00
10	0.73	48	1.32

Fuente: Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito, MTC.

PROCEDIMIENTO:

1. Primero, de la información pluviográfica seleccionamos las lluvias máximas para diferentes tiempos de duración

2. Luego ordenamos de forma descendente

3. Después, asignamos una probabilidad empírica a cada valor

4. Calculamos el retorno T de cada valor

5. Finalmente, graficamos la curva IDF.

En el otro caso, cuando no sea posible obtener mayor información pluviográfica de la zona de estudio que permita calcular las intensidades máximas, o cuando la duración de una tormenta es inferior a una hora, la metodología de Dick Peschke puede ser utilizada para calcularlas. Esta metodología establece una relación entre la duración del fenómeno y el nivel máximo de precipitación en un plazo de 24 horas. La fórmula que se empleará es:

$$P_d = P_{24\,h}\left(\frac{d}{1440}\right)^{0.25}$$

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje R.D. N° 20-2011-MTC/14

Donde: Pd es la precipitación total de la tormenta en mm; d viene a ser la duración de la tormenta en minutos, y P24 consiste en la precipitación máxima en un plazo de 24 horas en mm.

La determinación de las curvas IDF se realiza de manera indirecta, a través de la expresión como sigue:

$$I = \frac{K\,T^{m}}{t^{n}}$$

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje R.D. N° 20-2011-MTC/14

Donde: I es la intensidad máxima de la lluvia en mm/h; K, m, n vienen a ser los factores característicos de la zona; T consiste en el período de retorno; y t se refiere a la duración de la lluvia equivalente al tiempo de concentración en minutos.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.

El tiempo de concentración (tc) de una cuenca se refiere al tiempo que necesita una gota de agua para recorrer desde el punto más lejano de la cuenca hasta el punto de salida.

Se estima que toda la cuenca contribuye a la salida después de un periodo de concentración.

Dado que hay una relación inversa entre la duración de una tormenta y su intensidad (la intensidad decae a medida que la duración aumenta), se considera que el tiempo crítico es igual al tiempo de concentración tc.

El tiempo de concentración real está influenciado por diversos factores, como la geometría en planta de la cuenca (una cuenca alargada tendrá un mayor tiempo de concentración), la inclinación del terreno (flujos más veloces y menos tiempo de concentración se producen con una pendiente más pronunciada), el área, las propiedades del suelo y la cobertura vegetal.

Las fórmulas más frecuentes solo contemplan la longitud del cauce mayor desde la divisoria, la pendiente y el área.

La expresión para determinar el tc en una cuenca es como sigue:

$$tc = to + tf$$

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje R.D. N° 20-2011-MTC/14

Donde: to es el tiempo de entrada del agua en una alcantarilla en segundos o minutos; tf viene a ser el tiempo de flujo en la alcantarilla hasta un punto en cuestión.

HIETOGRAMA DE DISEÑO

A veces, no basta con la información de que (a modo de ejemplo) la lluvia máxima en las cinco horas más lluviosas es de 100 mm. Puede que necesitemos información acerca de cómo han evolucionado esos 100 mm. Durante esas cinco horas.

Los métodos hidrológicos más recientes no solo necesitan la magnitud de lluvia o la intensidad de diseño, sino también una distribución a través del tiempo (tormenta); es decir, el método examina cómo se distribuyen las tormentas observadas a lo largo del tiempo.

Una forma de adquirirlo es a partir de las curvas intensidad-duración-frecuencia, en las cuales se encuentra los siguientes métodos:

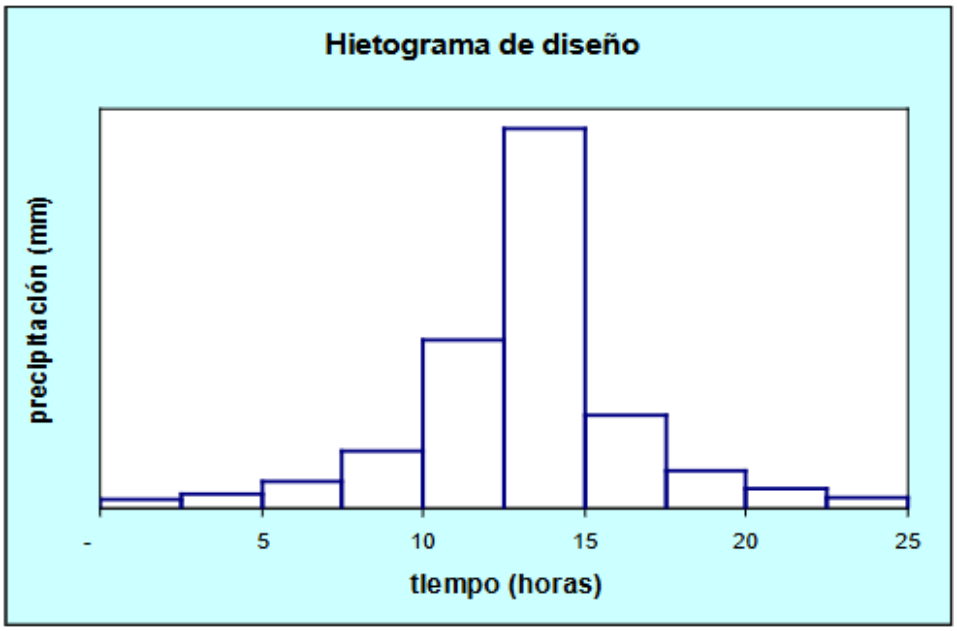
a) Método del Bloque Alterno

Un método sencillo para elaborar un hietograma de diseño empleando una curva-duración-frecuencia es el método del bloque alterno. El hietograma de diseño que se genera mediante este procedimiento detalla la profundidad de la precipitación en n intervalos temporales consecutivos, cada uno con una duración de Δt, sobre un periodo total de $Td=n\Delta t$.

Luego de escoger el periodo de retorno T, se extrae la intensidad en una curva intensidad-duración-frecuencia para cada duración Δt, $2\Delta t$, $3\Delta t$ y $4\Delta t$. La profundidad de precipitación se obtiene multiplicando la intensidad por la duración. Al observar las diferencias entre los valores sucesivos de profundidad de precipitación, se determina bloques de la suma para cada unidad de tiempo Δt. Después, estos bloques son reordenados en una secuencia temporal donde la máxima intensidad queda en el centro del tiempo requerido Td y los bloques restantes queden alternadamente hacia la derecha e izquierda del bloque central, formando así el hietograma de diseño, como se ve el ejemplo de la Figura 155.

Figura 15

Ejemplo de Hietograma de diseño.



Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, MTC, 2014.

PRECIPITACIÓN TOTAL Y EFECTIVA

La precipitación que no se filtra en el suelo ni queda retenida en la superficie de la tierra, conocida como precipitación efectiva (Pe) o exceso de precipitación, es un tipo de precipitación. Bajo la hipótesis del flujo superficial hortoniano, el exceso de precipitación se transforma en escorrentía directa al salir de la cuenca después de fluir por su superficie.

Las gráficas de exceso de precipitación frente al tiempo, o hietogramas de exceso de precipitación, son un elemento fundamental para investigar las relaciones entre lluvia y escorrentía.

Se denomina pérdidas o abstracciones a la diferencia que existe entre el hietograma de lluvia total y el hietograma de exceso de precipitación.

Las pérdidas se componen principalmente de agua absorbida por filtración, junto con un poco de interceptación y almacenamiento superficial.

El hietograma de exceso de precipitación se puede calcular utilizando el hietograma de precipitación, en una o dos maneras, dependiendo de si hay información sobre caudales para la tormenta.

MÉTODO SCS PARA ABSTRACCIONES.

Un método para calcular las abstracciones de precipitaciones de una tormenta fue creado por el Servicio de Conservación del Suelo en 1972. En el caso de la tormenta en su totalidad, el nivel de exceso de escorrentía directa o precipitación Pe es siempre menor o igual que el nivel de precipitación P; al mismo tiempo, después del comienzo de la escorrentía, la profundidad adicional del agua almacenada en la cuenca Fa no supera a una retención potencial máxima S. Hay un volumen de precipitación Ia (que representa la abstracción inicial antes del encharcamiento) para el cual no se generará escorrentía; por lo tanto, la escorrentía potencial equivale a P-Ia.

ESTIMACIÓN DE CAUDALES

Cuando hay una cantidad adecuada de datos de aforo, se lleva a cabo un estudio estadístico de los caudales máximos instantáneos anuales en la estación más próxima al lugar que se está analizando. La distribución log normal, log pearson III y el Valor Extremo Tipo I (Gumbel) y las distribuciones presentadas en el Manual sirven para calcular los caudales de los periodos de retorno que son relevantes (se consideran valores estándar 2, 5, 10, 20, 50, 100 y 500 años).

En el caso de que no sea posible obtener mayores datos de caudales, se emplearán los datos de precipitación como entradas a una cuenca, lo cual genera un caudal Q en la cuenca. Cuando llueve, la cuenca se humedece poco a poco; una parte del agua se infiltra en el subsuelo y, tras un periodo de tiempo, el flujo pasa a ser superficial.

A continuación, se presentan algunas metodologías:

- Método IILA
- Método Racional

MÉTODO IILA

No hay muchas estaciones que brindan información automatizada de los registros pluviográficos, esto en resumen genera una dispersión significativa en la información pluviográfica. Según el método IILA, la expresión para determinar la intensidad es:

$$i_{t,T} = a(1 + K \log T) t^{n-1}$$

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje R.D. N° 20-2011-MTC/14

Y la precipitación se determina con la expresión:

$$P_{t,T} = a(1 + K \log T) t^{n}$$

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje R.D. N° 20-2011-MTC/14

Válido para:

Duración: 3 ≤ t ≤ 24 horas

Donde:

i : intensidad de lluvia

P : precipitación

t : duración en horas

T : periodo de retorno T en años

Para t ≤ 3 horas se usa:

$$i_{t,T} = a(1 + K \log T) (t + b)^{n-1}$$

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje R.D. N° 20-2011-MTC/14

Otra expresión que se utiliza es:

$$i_{t,T} = \frac{\varepsilon_t}{t} (1 + K \log T)$$

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje R.D. N° 20-2011-MTC/14

Donde: εt y K son valores característicos de cada sub región hidrológica; a, b, K y n son constantes determinadas en el “Estudio de la Hidrología del Perú” realizado por el convenio IILA-SENAMHI-UNI (Plano n.2-C), 1983.

MÉTODO RACIONAL

Este método sirve para estimar el caudal máximo a partir de las precipitaciones históricas, en base de las características de la cuenca del cual depende el valor C. Este método es muy utilizado en cuencas con áreas menores de 10 km^2. La fórmula que se utiliza para determinar la máxima descarga de diseño es la siguiente:

$$Q = \frac{C * I * A}{3.6}$$

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje R.D. N° 20-2011-MTC/14

Donde: Q es el caudal máximo de diseño en m^3/s; C viene a ser el coeficiente de escorrentía, según las características hidrológicas y geomorfológicas de la cuenca; I consiste en la intensidad máxima en mm/h; y A se refiere al área de la cuenca en km^2. Para determinar el valor del coeficiente de escorrentía de manera empírica se basa en los valores indicados por el Manual. (Ver Tabla **6**)

Tabla 6

Coeficientes de escorrentía por el método racional.

Cobertura vegetal	**Tipo de suelo y Pendiente**	**Pronunciada S > 50%**	**Alta S > 20%**	**Media S > 5%**	**Suave S > 1%**	**Despreciable S < 1%**
Sin vegetación	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
Cultivos	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
Pastos, Vegetación ligera	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
Hierba, grama	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10

Bosques,	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
Densa	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
vegetación	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

Fuente: Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito, MTC.

METODO RACIONAL MODIFICADO

Es la modificación del método racional, con la sugerencia de Témez (1987 - 1991), adaptado para circunstancias climáticas españolas. Con esta modificación, el método posibilita calcular caudales punta en cuencas naturales con áreas inferiores a 770 km^2 y tiempos de concentración (Tc) entre 15 minutos y 24 horas; utilizando la siguiente expresión:

$$Q = 0{,}278\ CIAK \qquad (29)$$

Donde:

Q	:	Descarga máxima de diseño (m^3/s)
C	:	Coeficiente de escorrentía para el intervalo en el que se produce I.
I	:	Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)
A	:	Área de la cuenca (Km^2)
K	:	Coeficiente de Uniformidad

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje R.D. N° 20-2011-MTC/14

2.2.5. Teorías sobre la simulación de lluvias.

A) Tormentas

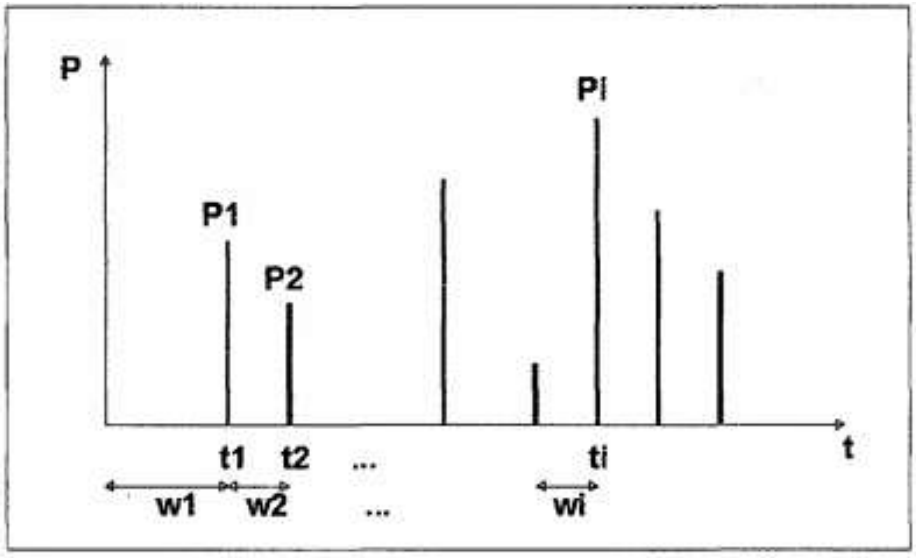
Según Aranda Monsalve (2009), una tormenta es un conjunto de intervalos de lluvia producido por una situación meteorológica favorable. La evolución de las tormentas en el tiempo se puede representar de tal manera que cada tormenta corresponde a un pulso de precipitación total P¡, que ocurre en un tiempo t¡después de un tiempo de espera W¡ desde el final de la tormenta anterior.

Se han seleccionado durante la práctica de la hidrología las variables que describen lo que es relevante para caracterizar una tormenta, como su magnitud o precipitación total, duración e intensidad. De esta manera, la tormenta Pi se puede describir minuciosamente como un hietograma que muestra la progresión

de la precipitación a lo largo del tiempo que dura, tal y como se presenta en la Figura 16.

Figura 16

Representación de evolución de tormentas según el tiempo.



Fuente: Aranda Monsalve, 2009.

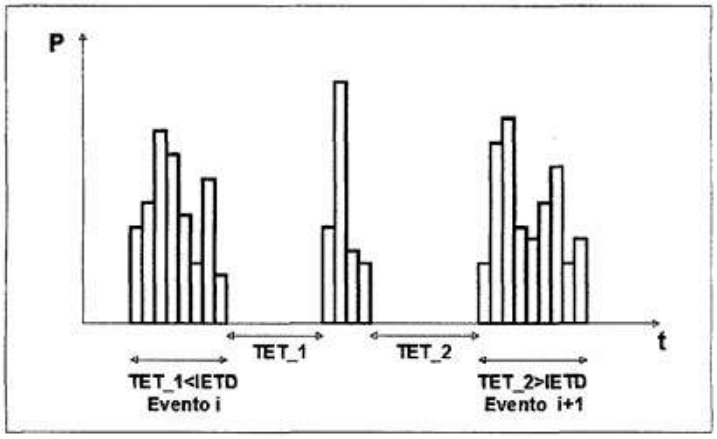
Un criterio para distinguir el tiempo que transcurre entre los eventos de tormentas es el más corto sin lluvia que existe entre una tormenta y la siguiente (IETD).

Conforme a esta concepción, si el tiempo entre tormentas (TET), que es el lapso transcurrido desde la finalización de una lluvia hasta el comienzo de otra, es igual o inferior al IETD, se entiende que las dos lluvias pertenecen al mismo evento; en cambio, si dicho intervalo es mayor que el IETD, se considera que las lluvias son parte de sucesos distintos.

Después de realizar esta distinción, es factible discretizar la serie continua de precipitaciones con base en la definición del IETD, y estimar las características de cada tormenta.

Figura 17

Discretización de eventos de tormentas.



Fuente: Aranda Monsalve, 2009.

SIMULACIÓN CONTINUA DE LLUVIAS INTENSAS.

La simulación continua de lluvias intensas se basa en la representación matemática de los fenómenos meteorológicos y su capacidad de reproducir las características temporales y espaciales de la precipitación.

Según Chow et al. (1988), los modelos de simulación de lluvias intensas permiten predecir eventos de alta frecuencia y magnitud, cruciales para el diseño de infraestructuras urbanas. La representación matemática de estas lluvias requiere el uso de distribuciones estadísticas, como la de Gumbel o la de Poisson, para modelar la recurrencia y la variabilidad de los eventos lluviosos, adaptados a las condiciones geográficas y climáticas del área de estudio.

B) Intensidad y duración de la precipitación

Para Fattorelli, 2011 (como se cita en Coronel, 2014), Como está relacionada con la tasa de infiltración del suelo, la intensidad es crucial. Cuando la lluvia es más intensa que el índice de infiltración, el exceso de lluvia se convierte en escorrentía superficial.

La duración de la precipitación se vincula con la intensidad (lámina/tiempo), por lo que una lluvia de 40 mm de intensidad probablemente no genere escorrentía en un día, pero sí probablemente cause una creciente significativa en una hora.

La cantidad total de agua que cae en lluvias prolongadas tiene un significado especial en cuencas montañosas. En tales circunstancias, el perfil del suelo se satura y las lluvias subsiguientes generan aumentos de nivel significativos. En estos casos, es muy relevante el monitoreo de la lluvia total caída y el entendimiento de las condiciones edáficas del perfil para predecir e impedir el desbordamiento de los ríos y las inundaciones.

Para calcular la intensidad de la lluvia, se divide el valor de la altura de lluvia entre el intervalo que se está considerando. En el caso de la intensidad máxima, se estudian intervalos de tiempo diversos que se registran en las estaciones pluviográficas (5, 10, 15, 30 minutos, etc.) y se obtiene un valor máximo para cada intervalo.

2.2.6. Marco normativo para diseño de sistemas de drenaje urbano.

OS.060 – DRENAJE PLUVIAL URBANO (Reglamento Nacional De Edificaciones)

La finalidad de la Norma Técnica OS.060 es definir los parámetros generales de diseño que faciliten el desarrollo de proyectos relacionados con el drenaje pluvial urbano, los cuales incluyen la recolección, transporte y evacuación de las aguas pluviales que caen sobre un área urbana hacia un cuerpo receptor.

MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE R.D. N° 20-2011-MTC/14.

El Manual de Hidrología es un documento guía sobre el procedimiento, cálculos y criterios de diseño de las obras de drenaje superficial y subterránea de la infraestructura vial, adecuados al lugar de ubicación de cada proyecto.

La hidrología es la ciencia que se dedica al estudio del agua en la atmósfera y en la corteza terrestre, conocer su distribución, sus propiedades. Abarca las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de los glaciares.

Esta guía tiene como objetivo orientar y establecer el aspecto técnico para la determinación de los parámetros hidrológicos e hidráulicos de diseño de obras de infraestructura vial.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Alcantarilla**: “Conducto subterráneo para conducir agua de lluvia, aguas servidas o una combinación de ellas” (OS.060 Drenaje Pluvial Urbano).
- **Alcantarillado pluvial**: “Conjunto de alcantarillas que transportan aguas de lluvia” (OS.060 Drenaje Pluvial Urbano).
- **Caudal de escorrentía:** “Volumen de agua que fluye por una cuenca como resultado de la precipitación, que no se infiltra en el suelo ni se evapora” (Coronel, 2018).
- **Coeficiente de escorrentía:** “Coeficiente que indica la parte de la lluvia que escurre superficialmente” (OS.060 Drenaje Pluvial Urbano).
- **Cuenca:** “Área de terreno sobre la que actúan las precipitaciones pluviométricas y en las que las aguas drenan hacia una corriente en un lugar dado” (OS.060 Drenaje Pluvial Urbano).
- **Cuneta:** “Estructura hidráulica descubierta, estrecha y de sentido longitudinal destinada al transporte de aguas de lluvia, generalmente situada al borde de la calzada” (OS.060 Drenaje Pluvial Urbano).
- **Drenaje:** “Consiste en retirar del terreno el exceso de agua no utilizable” (OS.060 Drenaje Pluvial Urbano).
- **Drenaje urbano:** “Sistema diseñado para controlar y gestionar las aguas pluviales en áreas urbanas, reduciendo el riesgo de inundaciones y mejorando la calidad ambiental”.
- **Duración de la lluvia:** “Intervalo de tiempo que media entre el principio y el final de la lluvia y se expresa en minutos” (OS.060 Drenaje Pluvial Urbano).
- **Hietograma:** “Distribución temporal de la lluvia usualmente expresada en forma gráfica. En el eje de las abscisas se anota el tiempo y en el eje de las ordenadas la intensidad de la lluvia” (OS.060 Drenaje Pluvial Urbano).

- **Intensidad de la lluvia:** “Caudal de la precipitación pluvial en una superficie por unidad de tiempo. Se mide en milímetros por hora (mm/hora) y también en litros por segundo por hectárea (L/s/Ha)” (OS.060 Drenaje Pluvial Urbano).
- **Lluvias intensas:** “Precipitaciones de alta magnitud que ocurren en un periodo relativamente corto de tiempo. Estas lluvias se caracterizan por su volumen considerable, que puede superar la capacidad de absorción del suelo y de los sistemas de drenaje urbanos”.
- **Periodo de retorno:** “Intervalo de recurrencia promedio entre eventos que igualan o exceden una magnitud especificada” (OS.060 Drenaje Pluvial Urbano).
- **Precipitación:** “Fenómeno atmosférico que consiste en el aporte de agua a la tierra en forma de lluvia, llovizna, nieve o granizo” (OS.060 Drenaje Pluvial Urbano).
- **Rejilla:** “Estructura de metal con aberturas generalmente de tamaño uniforme utilizadas para retener sólidos suspendidos o flotantes en aguas de lluvia o aguas residuales y no permitir que tales sólidos ingresen al sistema” (OS.060 Drenaje Pluvial Urbano).
- **Simulación de lluvias:** “Reproducción artificial de eventos de precipitación bajo condiciones controladas, con el fin de estudiar su impacto sobre el suelo. Se realizará mediante equipos como simuladores de lluvia que permiten ajustar la intensidad, duración y distribución espacial de la lluvia” (Monge & Aguilar, 2008).
- **Sumidero:** “Estructura destinada a la captación de las aguas de lluvias, localizados generalmente antes de las esquinas con el objeto de interceptar las aguas antes de la zona de tránsito de los peatones” (OS.060 Drenaje Pluvial Urbano).
- **Tiempo de concentración:** “Tiempo requerido para que una gota de agua caída en el extremo más alejado de la cuenca, fluya hasta los primeros sumideros y de allí a través de los conductos hasta el punto considerado” (OS.060 Drenaje Pluvial Urbano).

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS UTILIZADAS

El lugar de estudio comprende el campus de la Universidad Nacional de Ucayali. La universidad está ubicada en el km. 6.2 de la carretera C.F.B, distrito de Callería, provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali.

Figura 18

Frontis del campus universitario.



Fuente: Elaboración propia.

3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El estudio es de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo, ya que se va emplear los cálculos numéricos y la estadística para resolver el problema planteado. Este enfoque es crucial para investigaciones que analizan fenómenos

complejos basados en variables interrelacionadas (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

3.1.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

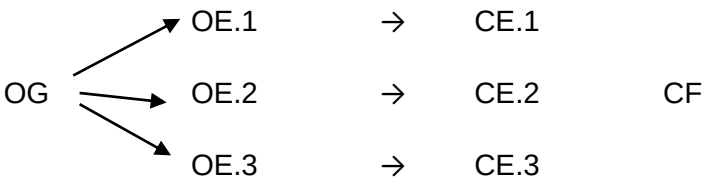
La presente investigación tiene un nivel descriptivo-explicativo, ya que se enfoca en analizar las variables, describir y explicar los efectos de la simulación de lluvias sobre el caudal de escorrentía y su efecto en el sistema de drenaje pluvial urbano del campus universitario.

3.1.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La investigación por su diseño pre experimental de laboratorio, se desarrolló por “Objetivos” en base a los resultados del análisis de las variables de la investigación, la inspección de campo se realizó en el campus universitario de la primera etapa.

Además, por el tiempo en que se realiza, es de corte transversal, ya que se enfoca en la explicación de los resultados en un solo punto en el tiempo.

a) Esquema de investigación.



Donde:

OG: Objetivo General.

OE: Objetivos específicos.

CE: Conclusión específica.

b) Materiales, equipos y herramientas.

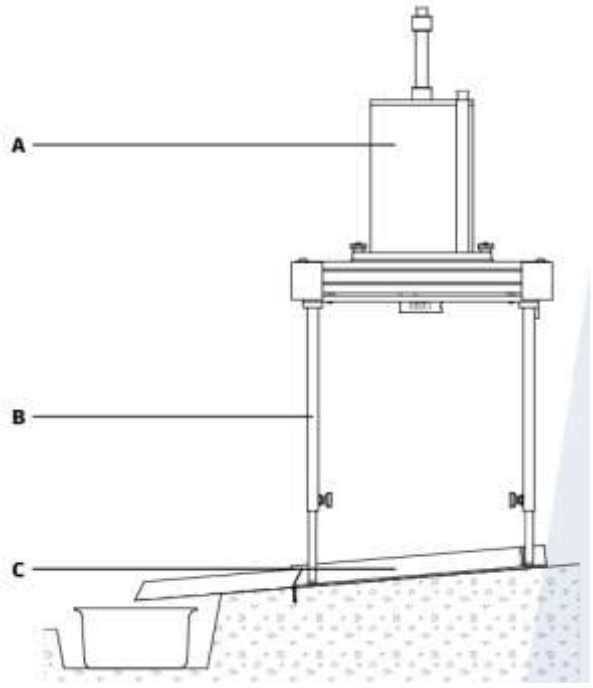
- **Módulo básico HM 150**, de la marca G.U.N.T., este equipo es básico para asegurar la alimentación de agua fría en sistemas hidráulicos cerrados donde se puede instalar tuberías, bombas y depósitos de agua. El agua transportada es dirigida a un depósito por una tubería de entrada

en el cual se instala una probeta graduada con un indicador de nivel de control de agua. En el módulo también se instala una probeta graduada para medir el caudal mediante mediciones de volumen y tiempo.

- **Simulador de lluvias**, este equipo es fundamental para diseñar y calibrar el modelo de simulación. Este equipo permite medir la escorrentía y la pérdida de suelo generadas por un chaparrón estandarizado en una parcela con una superficie estándar. La duración, la intensidad y la energía cinética del chaparrón son tales que se obtiene una alta sensibilidad de los resultados de las pruebas a las diferencias en las propiedades del suelo. Está compuesto por partes diferentes, entre los cuales se puede observar la regadera (A), soporte ajustable (B), marco del terreno (C), una canaleta, manguera, tanque de almacenamiento y una probeta de recolección de muestra. (Ver Figura Figura 1919)

Figura 19

Esquema gráfica del simulador de lluvia del laboratorio.



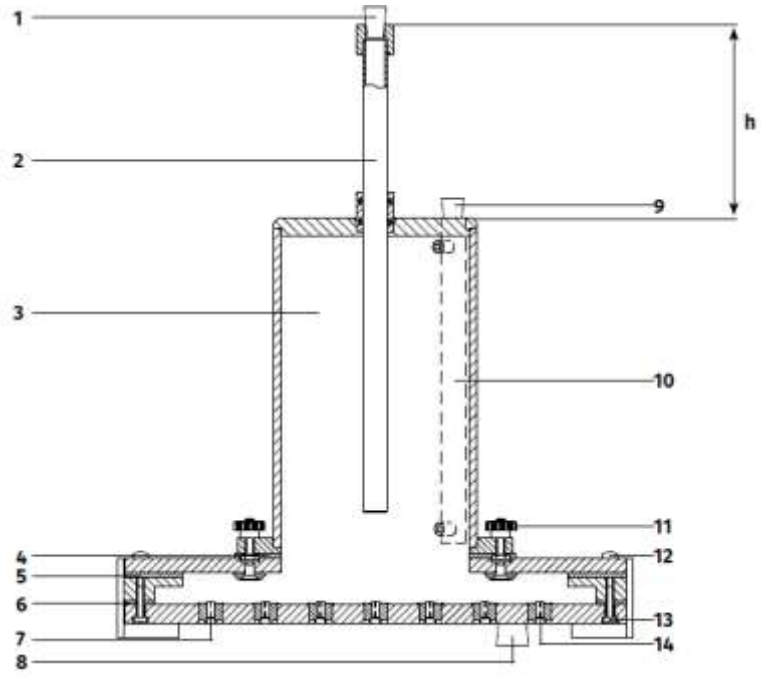
Fuente: Manual de operaciones de laboratorio. Eijkelkamp, 2018.

- **REGADERA**

La regadera (A) que se muestra en la Figura 20 consta de un depósito cilíndrico calibrado (3) con una capacidad aproximada de 2300 ml, conectado abiertamente al cabezal. El nivel de agua se puede leer en el tubo de lectura (10), que se cierra mediante un tapón (9). El agua sale del cabezal a través de 49 capilares (14). La presión, la longitud y el diámetro interior de los capilares determinan la velocidad de salida. La presión en los capilares se puede aumentar o disminuir moviendo el tubo de aireación (2) hacia arriba o hacia abajo. La magnitud de esta regulación de la presión es suficiente para corregir la influencia de la viscosidad del agua utilizada en la velocidad de descarga de los capilares. Su objetivo es controlar la intensidad de la ducha estándar requerida. Los extremos inferiores de los capilares están equipados con un tubo corto (7). Los diámetros interior y exterior de este tubo controlan el tamaño y la frecuencia de las gotas. El rociador se puede llenar a través de la abertura de llenado, que normalmente está cerrada con un tapón (8).

Figura 20

Esquema gráfica de la regadera del simulador de lluvias.



Fuente: Manual de operaciones de laboratorio. Eijkelkamp, 2018.

- **SOPORTE AJUSTABLE**

El soporte ajustable (B) que se muestra en la Figura 21 se utiliza para posicionar y nivelar el aspersor. Dos niveles (16) y cuatro perillas (18) se utilizan para nivelar el soporte (B) sobre el que se coloca el aspersor. Las patas ajustables de acero inoxidable (17) se colocan en el marco del terreno (C).

- **MARCO DEL TERRENO**

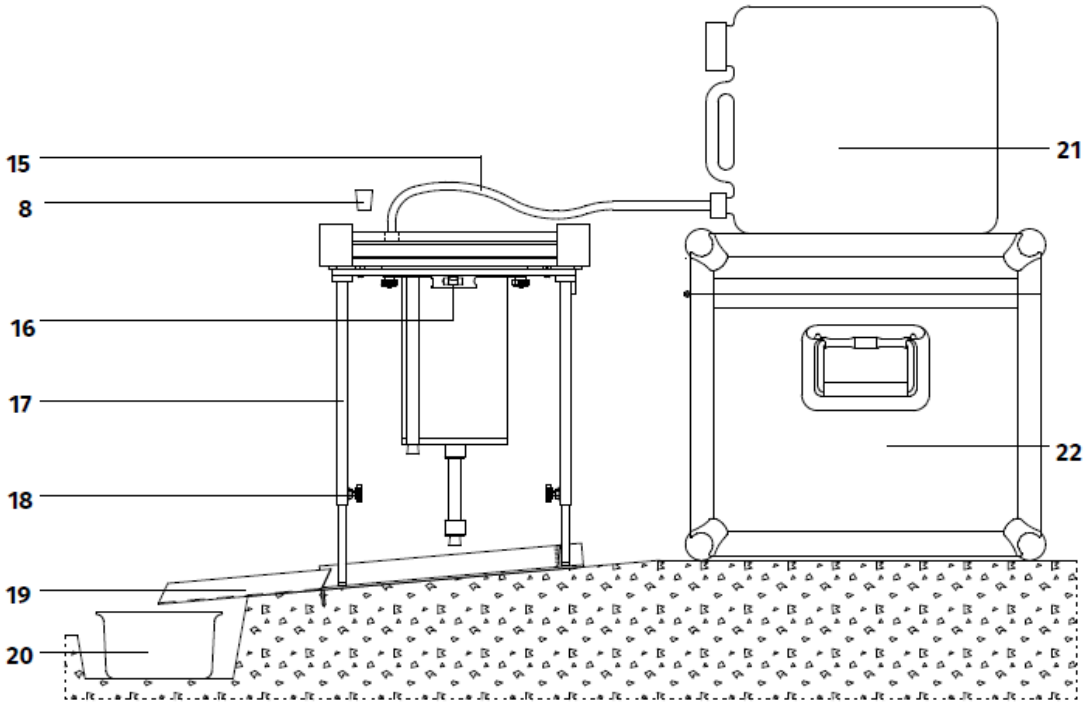
El marco del terreno (C) de acero inoxidable se fija al suelo con cuatro clavos grandes. Su objetivo es evitar el movimiento lateral del agua desde la parcela de prueba hacia el suelo circundante. Se instala un canalón (19) aguas abajo de la parcela para recoger la escorrentía y los sedimentos en la caja de recolección de muestras (20).

- **TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA**

Con un tubo, se puede conectar el tanque de almacenamiento de agua (21), con una capacidad de 20 litros, a la abertura de llenado de la regadera.

Figura 21

Esquema gráfica del soporte ajustable y armazón del terreno, del simulador de lluvias.



Fuente: Manual de operaciones de laboratorio. Eijkelkamp, 2018.

- **CALIBRACIÓN DEL SIMULADOR DE LLUVIAS**

Antes de utilizar el equipo, debe verificarse que los tubos capilares están sin obstrucciones y la regadera debe probarse antes de usarse en la prueba. El procedimiento para llenado de la regadera sigue el esquema que se muestra en la Figura 20 y Figura 21.

1. Instale el marco del terreno (C), enterrándolo unos centímetros en el suelo.

2. Instale el soporte ajustable (B) sobre el marco del terreno (C). Use los dos niveles (16) y las cuatro perillas (18). Calibre el soporte antes de poner la regadera.

3. Cierre el tubo de aireación (2) con un tapón (1).

4. La regadera se coloca de manera inversa (el tapón (1) hacia abajo) en el soporte.

5. Remover el tapón (8) fuera de la boquilla de apertura.

6. Llenar la regadera con agua limpia. Para esto, conecte la manguera (15) al tanque de almacenamiento de agua (21). Sostenga el tanque de almacenamiento de agua (21) por encima del nivel de la regadera. Conecte la manguera (15) al hueco de llenado de la regadera tan pronto comience a fluir el agua. Si el agua no fluye, succione el tubo mientras sostiene la parte final del mismo más abajo del tanque (21) hasta que esta comience a fluir.

7. Una vez la regadera llena, anote la temperatura del agua y ponga el tapón (8).

8. Voltee la regadera para que quede en posición de uso sobre el soporte.

9. Ajuste la intensidad de lluvia usando el tubo de aireación (2). La posición del tubo (2) dará diferentes intensidades de lluvia. Considerar que esta intensidad también depende de otros factores como la temperatura del agua. La viscosidad del agua depende de la temperatura de la misma, por

eso es importante calibrar el simulador al nivel de intensidad deseado antes de hacer la primera prueba.

10. Anote el nivel del agua en el reservorio.

11. Revise si el cronómetro está trabajando adecuadamente y ponga en cero.

12. Quite el tapón (1) para que el tubo de aireación (2) comience la simulación.

13. Inicie el cronómetro. Después del tiempo establecido (verificar instrucciones del Manual de operación) pare la simulación, poner el tapón (1) en el tubo de aireación (2).

14. Anote el nivel de agua del reservorio y finalice la calibración.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SIMULADOR DE LLUVIAS

Caja de transporte-	Dimensiones de exterior:	60 x 48 x 40 cm
Regadera-	Dimensiones:	33 x 33 cm
Tubos capilares-	Longitud:	10 mm
	Diámetro:	0.6 mm ± 0.08 mm
	Material:	Vidrio
Soporte ajustable-	Dos niveles de agua incluido, dimensiones: 30.5 x 30.5 cm	
Marco del suelo-	Acero inoxidable	Dimensiones: 34.5 x 32 cm
Tarro para humedecer el suelo-	Diámetro:	14 cm, altura: 5.5 cm
Bandeja de recolección de muestra (20) contiene:		2 litros
Magnitud de la simulación de lluvia:		18 mm
Duración de la simulación de lluvia:		3 min
Intensidad de la simulación de lluvia:		6 mm/min
Altura de caída de las gotas:		400 mm (promedio)
Diámetro de las gotas:		5.9 mm
Número de tubos capilares:		49 tubos
Energía cinética de la lluvia:		4 J m^{-2} mm^{-1}

Área de la superficie de prueba: 0.0625 m^2

Pendiente del terreno de prueba: 40% máximo

- **Cronómetro**, esta herramienta es básica para medir el tiempo durante los ensayos experimentales en laboratorio.
- **Cámara fotográfica digital**, esta herramienta es básica para capturar fotografías de los materiales, equipos, procedimiento y realización de los ensayos experimentales en laboratorio. Alternativamente, se optó por utilizar la cámara de un celular de alta gama, la cual cumple la misma función de capturar fotografías.
- **Flexómetro o wincha**, esta herramienta es básica para medir distancias, longitudes y dimensión de los elementos que se utilizaron en la investigación.

c) Técnica de recolección de datos.

Para Medina, Rojas, Bustamante et. al. (2023), "la técnica de observación es un método de investigación en el que se registra y analiza el comportamiento y las acciones de individuos, grupos o fenómenos" (p.20). En el presente estudio, la técnica que se utilizó fue la Observación, permite recopilar datos de primera mano y obtener una compresión profunda de las variables y patrones que se desea estudiar.

Además, el análisis de documentos es un método eficaz para recolectar datos e información a gran escala, este método puede ser empleado como una técnica complementaria al método de la observación (Medina, Rojas, Bustamante et. al., 2023).

Se utilizó este método para recopilar los datos pluviométricos obtenidos en documento de la Estación Meteorológica Manual UNU-SENAMHI, ubicado en el campus de la segunda etapa de la Universidad Nacional de Ucayali.

d) Instrumento de recolección.

El instrumento que se utilizó fue la Guía de observación de laboratorio. La guía fue diseñada para recolectar los datos de cada prueba de laboratorio.

Tabla 7

Formato de Guía de observación para caudal de escorrentía.

N°	Código	Tipo de suelo	Pendiente, en %	Volumen, en L	Tiempo de simulación, en seg	Caudal de escorrentía, en mL
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						

Nota. Elaboración Propia.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.

3.2.1. POBLACIÓN.

Para Román Claros (2018), la población viene a ser un conjunto de elementos o sujetos que son objeto de estudio de la investigación.

En esta investigación, para la determinación experimental del caudal de escorrentía de la cuenca urbana del campus universitario de la Universidad Nacional de Ucayali, la población está conformada por todas las observaciones que podría obtenerse al variar los factores (tipo de vegetación, tipo de suelo, pendiente, intensidad de la lluvia) de la cuenca urbana del campus universitario, que tienen mayor incidencia de escorrentía y riesgo de inundación.

La población es finita y está delimitada geográficamente por el área que abarca el campus universitario de la Universidad Nacional de Ucayali. En la Figura 22 se observa el perímetro del campus universitario, delimitado por un cerco perimétrico, un portón de ingreso en el lado adyacente a la C.F.B. y un portón de ingreso en el lado adyacente a la Avenida Túpac Amaru.

Figura 22

Vista satelital de la Universidad Nacional de Ucayali.



Nota. Área de estudio, A=0.265 km^2. Fuente: Google Earth.

3.2.2. MUESTRA.

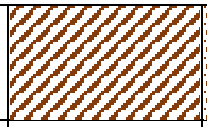
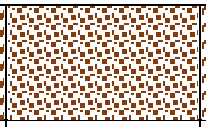
Para Román Claros (2018), la muestra tiene que ser un sub grupo representativo de la población, a la cual se aplicará los instrumentos de recolección de datos, además debe ser estadísticamente representativa.

En la “Evaluación de un Proyecto” se debe inspeccionar todas las unidades de muestreo, sin embargo, de no ser posible, se debe establecer el número mínimo de unidades experimentales que deben evaluarse para obtener resultados representativos de la población.

Para la Determinación experimental del caudal de escorrentía, se trabajó con una muestra conformada por 5 tipos de superficies de escorrentía, identificadas y codificadas con la letra “T”, cada una con 3 repeticiones, para garantizar que los resultados del análisis puedan ser representativos. En total se realizaron 15 ensayos de simulación de lluvia (selección de muestra de manera no probabilística, por conveniencia o juicio de valor.

Figura 23

Esquema gráfico de las superficies de escorrentía.

Tipo de cobertura de superficie (sin vegetación y con vegetación)					
Gráfico del suelo					
Código	T1	T2	T3	T4	T5
Descripción	Suelo arcilloso	Arena arcillosa	Vegetación con densidad ligera	Hojarasca	Pastizal

Fuente: Elaboración propia.

Criterios de exclusión: Dada las limitaciones físicas del equipo de simulación de lluvias, no se incluye en la muestra las superficies de escorrentía con hierba alta de alturas mayores a 80 centímetros, tampoco los bosques o vegetación densa que se encuentran en el Herbario de la universidad.

3.3. PROCEDIMIENTO.

En la primera etapa de la investigación se aplicó la técnica de Observación para recolectar información y fotografías acerca del estado del sistema de drenaje pluvial existente, además, se utilizó la técnica de análisis documental, entre otros, y las fuentes secundarias como levantamientos de campo (topográficos, Estudio de Mecánica de Suelos, Estudio Hidrológico y Reportes Meteorológicos de la zona), con acceso a información geoespacial para la caracterización de la zona de Pucallpa y delimitación de cuencas y subcuencas.

Los datos recopilados en relación a las características topográficas fueron las curvas de nivel y la planimetría del campus universitario, dentro del cual se identificó en dicha zona la infraestructura vial, pabellones, oficinas académicas y administrativas, laboratorios, parques, jardines, losas deportivas, áreas de circulación, entre otros.

Mediante la simulación de lluvias, se calibró el equipo de campo con agua potable y se recolectó los datos experimentales de la muestra conformada por 5 tipos de superficies de escorrentía típicos en la cuenca urbana del campus universitario.

Los datos pluviométricos se obtuvieron de la estación más cercana, la Estación Meteorológica Manual UNU-SENAMHI, que se ubica en el campus posterior de la Universidad, entrando aproximadamente 1,23 km desde la Av. Túpac Amaru.

Figura 24

Vista satelital de la Estación Meteorológica de la Universidad Nacional de Ucayali.



Fuente: Google Earth.

En la segunda etapa de la investigación se realizó la revisión bibliográfica sobre las normativas y evaluación del estado del arte, lo cual se fundamenta en la determinación de un diseño de sistema de drenaje urbano sostenible con máxima eficiencia hidráulica en zonas inundables o donde se generan acumulaciones de agua por precipitaciones pluviales.

En la tercera etapa de la investigación se analizó y procesó los datos recolectados en campo, el Estudio de Mecánica de Suelos y el Estudio Hidrológico, la normatividad y el estado del arte, sumado con el diseño de drenaje pluvial urbano mediante el software EPA-SWMM (Storm Water Management Model), QGIS, AutoCAD

y H-CANALES, se logró realizar un análisis de la intensidad de lluvia y caudal pico de escorrentía en la zona.

Finalmente, se elaboró las conclusiones y recomendaciones de la investigación, lo cual se fundamenta en el análisis y explicación de las causas y efectos de este problema de inundaciones en el campus universitario de acuerdo a las variables del sistema.

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

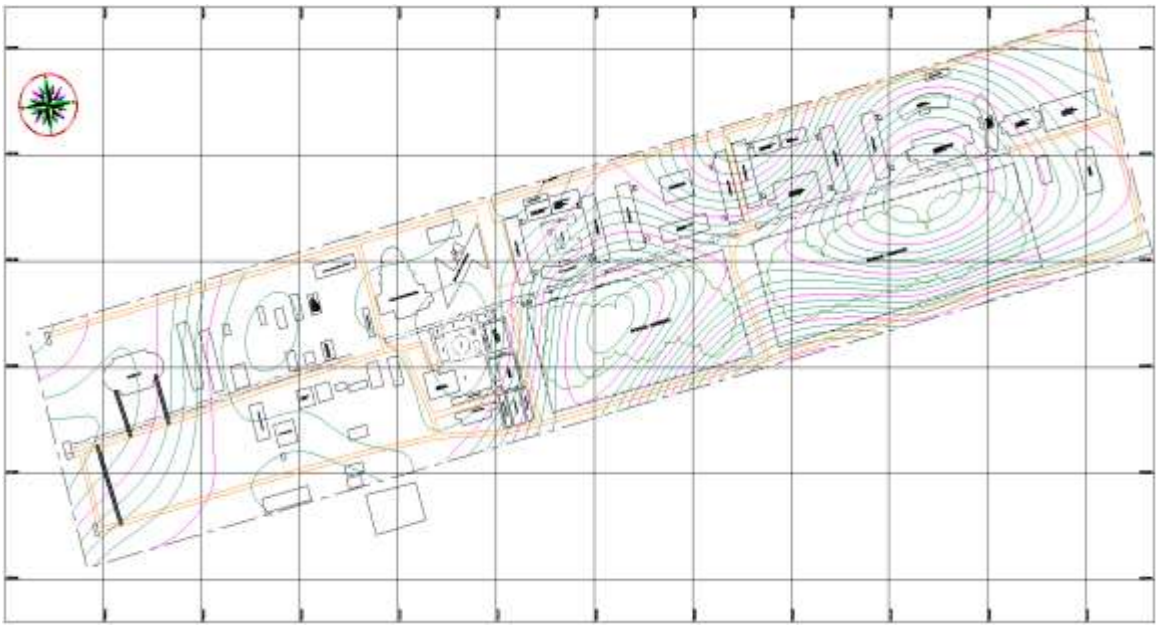
4.1. Resultados del trabajo de campo.

4.1.1. Características topográficas.

El análisis de la topografía del terreno del campus universitario de la Universidad Nacional de Ucayali, mediante ingeniería y equipos topográficos, permitió identificar la influencia del relieve en la eficiencia del drenaje pluvial, tal como se muestra en la Figura 255.

Figura 25

Levantamiento topográfico del campus de la Universidad Nacional de Ucayali.



Fuente: Elaboración Propia.

El estudio topográfico del terreno que se muestra en la Figura 25, se observa la topografía plana con un área superficial de 0.258 km^2, se observa algunas zonas urbanizadas por la construcción de aulas, laboratorios, oficinas administrativas, corredores y ambientes de servicio a la comunidad universitaria. También, se observa pendientes bajas en el terreno, con una pendiente promedio del terreno de 0.9%, y microcuencas en el terreno que favorecen la acumulación de agua en áreas con cotas bajas.

4.1.2. Estudio de Mecánica de Suelos.

Los estudios de mecánica de suelos realizados en la Universidad Nacional de Ucayali que se muestran en la Tabla 8, describe las características físicas, la granulometría del material muestreado y clasificación de acuerdo a los parámetros geotécnicos del terreno para la calibración del modelo hidráulico y el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano.

Tabla 8

Resultados de análisis granulométrico del suelo.

Puntos	Muestra	Prof. (m)	Gravas	Arena gruesa	Arena fina	Finos	SUCS	AASHTO
C-01	M-01	1.60	--	--	--	--	Pt.	Material orgánico limoso
C-01	M-02	1.40	0.0%	0.7%	9.0%	90.3%	CH	A-7-6 (29)
C-02	M-01	1.60	0.0%	40.7%	21.0%	38.3%	SC	A-6 (4)
C-02	M-02	1.40	0.0%	1.1%	25.1%	73.8%	CL	A-7-6 (10)
C-03	M-01	1.60	--	--	--	--	Pt.	Material orgánico limoso
C-03	M-02	1.40	0.0%	0.4%	6.8%	92.8%	CH	A-7-6 (30)
C-04	M-01	3.00	--	--	--	--	Pt.	Material orgánico limoso
C-05	M-01	1.60	--	--	--	--	Pt.	Material orgánico limoso
C-05	M-02	1.40	0.0%	0.4%	6.8%	92.8%	CH	A-7-6 (30)
C-06	M-01	1.60	--	--	--	--	Pt.	Material orgánico limoso
C-06	M-02	1.40	0.0%	0.8%	5.0%	94.2%	CH	A-7-6 (32)

Fuente: Elaboración Propia.

Se realizaron seis puntos de exploración en campo, con una profundidad de 3.00 m. Se encontró que el material predominante encima de los estratos a 1.60 m de profundidad está compuesto por material orgánico limoso con escasa vegetación en los puntos C-03, C- 05 y C-06, siendo el punto C-04 donde se encontró material orgánico limoso hasta la profundidad de 3.00 m. Se encontró que el material predominante debajo de los estratos hasta la profundidad de 3.00 m. de profundidad está compuesto por suelo arcilloso de alta plasticidad (CH) de acuerdo a la clasificación SUCS en los puntos C-01, C-03, C-05 y C-06. Se encontraron en plataformas afirmados de material combinado por arenas y finos clasificados como arenas arcillosas (SC) según clasificación SUCS en el punto C-02.

Tabla 9

Resultados de índice de plasticidad y contenido de humedad del suelo.

Calicata	Muestra	Prof. (m)	LL	LP	IP	W%
C-01	M-01	1.60	---	---	---	---
C-01	M-02	1.40	50.2%	20.2%	30.0%	17.2%
C-02	M-01	3.00	21.1%	16.6%	4.5%	7.2%
C-03	M-01	1.60	---	---	---	---
C-03	M-02	1.40	54.1%	24.4%	29.7%	18.4%
C-04	M-01	3.00	---	---	---	---
C-05	M-01	1.60	---	---	---	---
C-05	M-02	1.40	52.3%	23.6%	28.7%	18.2%
C-06	M-01	1.60	---	---	---	---
C-06	M-02	1.40	54.1%	24.4%	29.7%	18.4%

Nota. LL: Límite líquido, LP: Límite plástico, IP: Índice de plasticidad. Fuente: Elaboración Propia.

Asimismo, los límites de Atterberg que se muestran en la Tabla 9, indica que el punto C-01 presenta un LL de 50.2% y un IP de 30%, el punto C-02 presenta un LL de 21.1% y un IP de 4.5%, el punto C-03 presenta un LL de 54.1% y un IP de 29.7%, el punto C-04 se encontró material orgánico limoso, el punto C-05 presenta un LL de 52.3% y un IP de 28.7%, el punto C-06 presenta un LL de 54.1% y un IP de 29.7% presenta un ,lo que evidencia que en el campus universitario predominan los suelos arcillosos de alta plasticidad y susceptibilidad a expansión.

4.1.3. Datos hidrológicos.

Tabla 10

Precipitación máxima en 24 horas (P24), por año, en la ciudad de Pucallpa, 2004-2025.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	P24
2004	116.10	206.50	232.00	385.80	62.00	79.30	186.40	126.90	202.70	132.00	215.70	240.70	385.80
2005	81.60	141.30	234.50	203.70	26.00	65.80	5.40	43.80	28.40	210.50	137.40	304.00	304.00
2006	133.20	436.90	98.70	249.10	23.70	44.50	29.80	86.00	53.90	161.00	210.00	137.30	436.90
2007	49.60	204.40	202.50	112.50	266.80	7.80	16.80	88.30	40.90	172.90	136.00	170.30	266.80
2008	403.56	237.50	214.40	227.20	123.30	234.10	75.00	33.40	171.40	177.10	153.80	88.60	403.56
2009	434.40	168.20	138.70	295.10	185.40	36.60	27.30	15.20	67.80	170.90	94.20	84.90	434.40
2010	75.10	168.80	270.20	234.90	201.90	14.50	64.80	45.80	83.10	75.80	173.10	98.30	270.20
2011	204.90	311.80	272.90	165.80	219.40	133.90	33.60	59.90	150.60	260.50	107.20	390.00	390.00
2012	137.70	177.80	258.00	109.00	93.50	100.20	74.30	25.20	58.30	157.20	105.70	188.90	258.00
2013	234.50	251.00	170.20	95.20	77.30	58.50	65.60	79.30	200.70	191.90	296.20	88.10	296.20
2014	180.90	90.90	164.90	246.10	70.50	232.40	34.10	100.10	5.30	233.10	406.90	142.50	406.90
2015	109.60	112.10	141.90	272.50	90.10	42.70	94.70	64.60	113.30	140.30	337.20	109.90	337.20
2016	78.90	275.50	221.50	132.20	65.20	12.10	41.80	144.90	134.00	163.20	131.20	166.20	275.50
2017	633.60	168.30	325.90	61.40	251.90	56.90	30.70	14.20	28.50	127.80	192.60	201.50	633.60
2018	131.30	277.70	126.50	248.80	169.30	58.00	132.70	103.40	57.70	251.10	251.10	36.60	277.70
2019	329.20	239.80	267.30	208.40	85.50	126.50	32.30	16.80	53.60	128.70	302.50	306.10	329.20
2020	243.30	180.70	387.60	180.00	157.10	188.40	217.00	24.80	50.60	132.00	178.80	377.10	387.60
2021	119.70	375.70	120.20	125.80	150.30	93.70	32.50	75.60	61.80	80.80	156.50	143.20	375.70
2022	111.90	326.50	185.20	190.50	151.00	66.90	70.00	57.00	78.90	119.50	248.50	248.50	326.50
2023	161.80	115.30	250.80	43.70	103.70	41.40	77.60	20.00	92.20	229.00	267.20	260.50	267.20
2024	99.90	280.20	71.10	109.10	146.80	28.20	31.00	50.50	42.10	84.30	155.80	195.70	280.20
2025	173.90	138.90	234.20	209.40	158.10	160.30	6.20	19.00	37.80	277.90			277.90

Nota. Las precipitaciones están en milímetros. Fuente: Estación Meteorológica UNU-SENAHMI, del 2004 al 2025.

Las precipitaciones máximas en 24 horas en la ciudad de Pucallpa, recolectados entre 2004 y 2025, se muestran en la Tabla 10.

Tabla 11

Registro histórico de precipitación máxima en 24 horas en la ciudad de Pucallpa, 2004-2025.

N°	Periodo	Orden de jerarquía	P24 (mm)	log(P24)
1	2004	8	385.8	2.5864
2	2005	13	304.0	2.4829
3	2006	2	436.9	2.6404
4	2007	21	266.8	2.4262
5	2008	5	403.6	2.6059
6	2009	3	434.4	2.6379
7	2010	19	270.2	2.4317
8	2011	6	390.0	2.5911
9	2012	22	258.0	2.4116
10	2013	14	296.2	2.4716
11	2014	4	406.9	2.6095
12	2015	10	337.2	2.5279
13	2016	18	275.5	2.4401
14	2017	**1**	**633.6**	2.8018
15	2018	17	277.7	2.4436
16	2019	11	329.2	2.5175
17	2020	7	387.6	2.5884
18	2021	9	375.7	2.5748
19	2022	12	326.5	2.5139
20	2023	20	267.2	2.4268
21	2024	15	280.2	2.4475
22	2025	16	277.9	2.4439
		Número de datos, n	22	22
		Suma, ∑	7621.1	55.6212
		Máximo	633.6	2.8018
		Mínimo	258.0	2.4116
		Promedio, $\bar{x}$	346.4	2.5282
		Desviación estándar, S	87.6954	0.0983
		Coeficiente de asimetría, Cs	1.7173	0.9748
		Cs/6, k	0.2862	0.1625

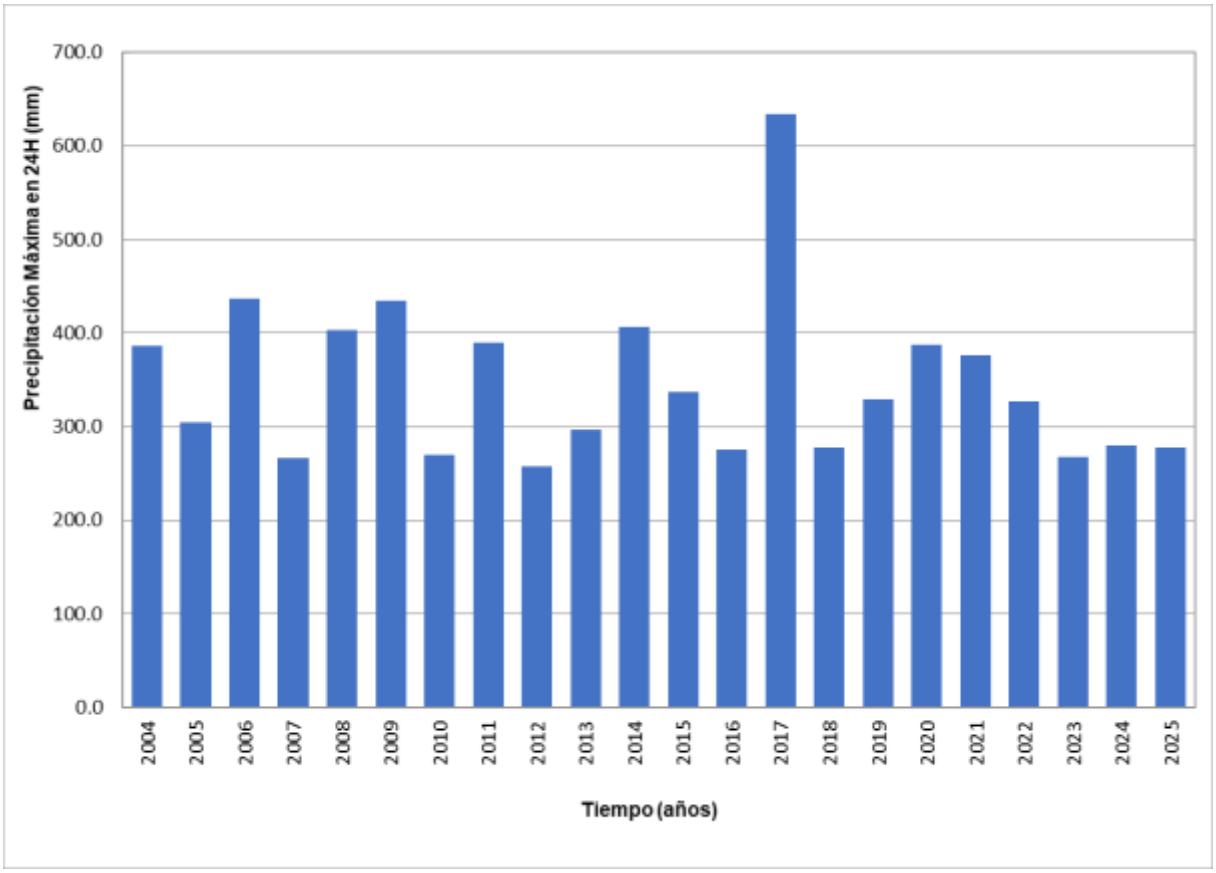
Fuente: Elaboración Propia.

El registro histórico de los datos de precipitaciones máximas en 24 horas obtenidos de la Estación Meteorológica UNU-SENAMHI, que se muestra en la Tabla 11, demuestra los valores máximos y mínimos de precipitaciones obtenidos en un periodo de 22 años (2014-2025). De la misma se observa que la precipitación máxima se encuentra en el año 2017 con un valor de 633.6 mm, seguido del año 2006 con un valor de 436.9 mm, en un periodo de 9 años.

Se graficó el hietograma de precipitaciones máximas en 24 horas en base al registro de precipitaciones, que se muestra en la Figura 266, revelando que el año 2017 fue el año con mayor precipitación pluvial en la ciudad de Pucallpa.

Figura 26

Gráfica de Tiempo por Precipitación máxima en 24 horas.



Fuente de precipitaciones: Estación Meteorológica UNU-SENAHMI, del 2004 al 2025. Elaboración propia.

4.2. Prueba de datos dudosos (Método Water Resources Councill).

Para la prueba de datos dudosos, se estableció el tamaño de muestra n=22. Seguidamente, se determinó el valor Kn, de acuerdo con la Tabla 12 que se muestra, obteniendo el valor Kn recomendado para esta muestra es Kn=

Tabla 12

Valores Kn para la prueba de datos dudosos.

Tamaño de muestra n	Kn	Tamaño de muestra n	Kn	Tamaño de muestra n	Kn	Tamaño de muestra n	Kn
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	**2.429**	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Fuente: U.S. Water Resources Council, 1981. Esta tabla contiene valores de Kn de un lado con un nivel de significancia del 10% para la distribución normal.

VERIFICACIÓN DE DATOS.

Valor de prueba, Kn = 2.429

Umbral de datos dudosos altos: $x_H = \bar{x} + Kn * S = 2.79$

Precipitación máxima aceptada: $PH = 10^{xH} = 613.3\ mm$

Umbral de datos dudosos bajos: $x_L = \bar{x} - Kn * S = 2.27$

Precipitación mínima aceptada: $PL = 10^{xL} = 185.7\ mm$

Se observa que los valores P24 están dentro de los límites de precipitación máxima y mínima aceptada (PH y PL), por tanto, **no existen datos dudosos**.

4.2.1. Análisis estadístico de datos hidrológicos.

El análisis de frecuencias se realizó con la finalidad de estimar precipitaciones o caudales máximos, para diferentes periodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales fueron continuos. Las funciones utilizadas que se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13

Modelos de distribución de datos de precipitaciones pluviales.

n	T	P(X≤T)	P24	log(P24)	NORMAL		GUMBEL		LOG NORMAL		PEARSON III		LOG PEARSON III	
					KT	Est.	KT	Est.	KT	Est.	KT	Est.	KT	Est.
1	23.00	4.35%	633.6	2.8018	1.7117	496.5	1.9774	519.8	1.7117	497.2	2.0874	529.5	1.9719	527.4
2	11.50	8.70%	436.9	2.6404	1.3597	465.7	1.4191	470.9	1.3597	459.1	1.4384	472.6	1.4453	468.1
3	7.67	13.04%	434.4	2.6379	1.1243	445.0	1.0843	441.5	1.1243	435.3	1.0565	439.1	1.1201	434.9
4	5.75	17.39%	406.9	2.6095	0.9388	428.7	0.8405	420.1	0.9388	417.4	0.7834	415.1	0.8785	411.7
5	4.60	21.74%	403.6	2.6059	0.7810	414.9	0.6462	403.1	0.7810	402.7	0.5695	396.4	0.6829	393.9
6	3.83	26.09%	390.0	2.5911	0.6407	402.6	0.4828	388.8	0.6407	390.1	0.3929	380.9	0.5164	379.3
7	3.29	30.43%	387.6	2.5884	0.5119	391.3	0.3403	376.3	0.5119	378.9	0.2419	367.6	0.3698	366.9
8	2.88	34.78%	385.8	2.5864	0.3912	380.7	0.2126	365.1	0.3912	368.7	0.1094	356.0	0.2374	356.1
9	2.56	39.13%	375.7	2.5748	0.2759	370.6	0.0960	354.8	0.2759	359.2	-0.0090	345.6	0.1156	346.4
10	2.30	43.48%	337.2	2.5279	0.1642	360.8	-0.0125	345.3	0.1642	350.3	-0.1165	336.2	0.0018	337.6
11	2.09	47.83%	329.2	2.5175	0.0545	351.2	-0.1149	336.3	0.0545	341.7	-0.2154	327.5	-0.1060	329.5
12	1.92	52.17%	326.5	2.5139	-0.0545	341.6	-0.2127	327.8	-0.0545	333.3	-0.3073	319.5	-0.2094	321.9
13	1.77	56.52%	304.0	2.4829	-0.1642	332.0	-0.3075	319.4	-0.1642	325.2	-0.3936	311.9	-0.3096	314.6
14	1.64	60.87%	296.2	2.4716	-0.2759	322.2	-0.4004	311.3	-0.2759	317.0	-0.4753	304.7	-0.4078	307.7
15	1.53	65.22%	280.2	2.4475	-0.3912	312.1	-0.4926	303.2	-0.3912	308.9	-0.5533	297.9	-0.5053	301.0
16	1.44	69.57%	277.9	2.4439	-0.5119	301.5	-0.5854	295.1	-0.5119	300.5	-0.6284	291.3	-0.6031	294.4
17	1.35	73.91%	277.7	2.4436	-0.6407	290.2	-0.6804	286.7	-0.6407	291.9	-0.7015	284.9	-0.7028	287.8
18	1.28	78.26%	275.5	2.4401	-0.7810	277.9	-0.7796	278.0	-0.7810	282.8	-0.7732	278.6	-0.8062	281.2
19	1.21	82.61%	270.2	2.4317	-0.9388	264.1	-0.8860	268.7	-0.9388	272.9	-0.8444	272.4	-0.9159	274.3
20	1.15	86.96%	267.2	2.4268	-1.1243	247.8	-1.0047	258.3	-1.1243	261.6	-0.9164	266.0	-1.0364	266.9
21	1.10	91.30%	266.8	2.4262	-1.3597	227.2	-1.1463	245.9	-1.3597	248.1	-0.9910	259.5	-1.1767	258.6
22	1.05	95.65%	258.0	2.4116	-1.7117	196.3	-1.3411	228.8	-1.7117	229.1	-1.0719	252.4	-1.3613	248.0

Nota. T: Periodo de retorno en años. P: probabilidad de ocurrencia. Elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN NORMAL.

La función de probabilidad se define en la siguiente expresión:

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

Donde:

F(x) = función de densidad normal de la variable x.

x = variable independiente.

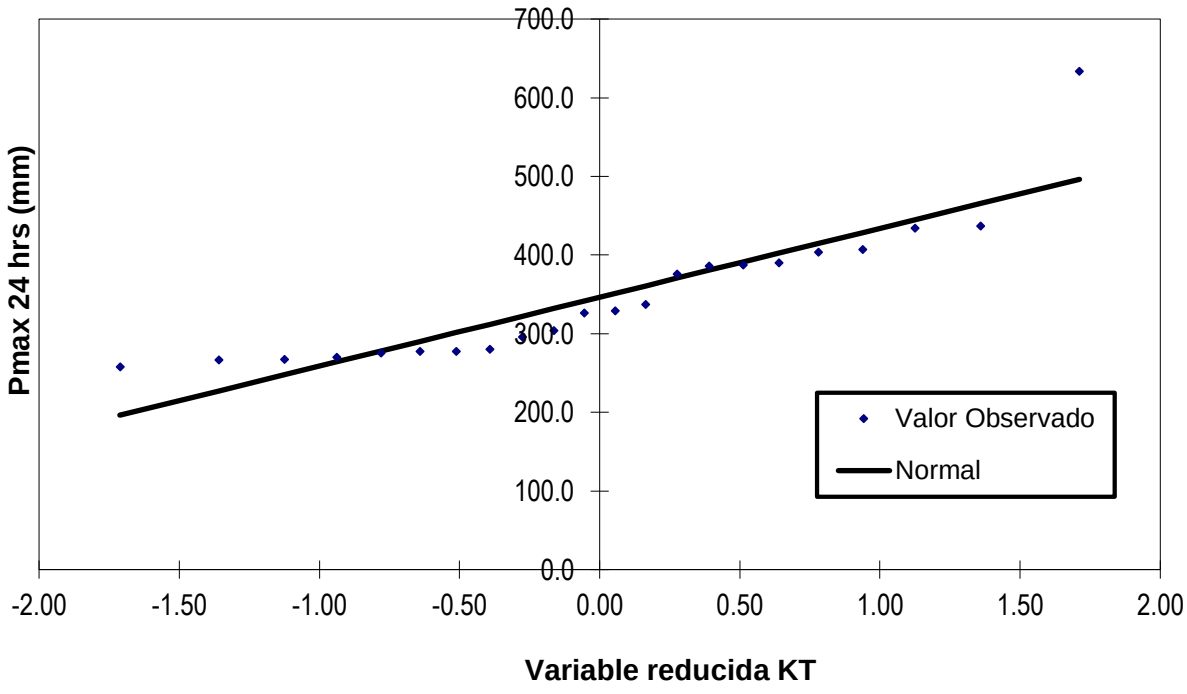
μ = parámetro de localización, igual a la media aritmética de x.

S = parámetro de escala, igual a la desviación estándar de x.

La distribución normal de los datos se muestra en la Figura 277.

Figura 27

Ajuste estadístico para la Distribución Normal.



Nota. Elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN GUMBEL.

La función de probabilidad de la distribución de Valores Tipo I, también conocida como Distribución Gumbel o Doble Exponencial, se define en la siguiente expresión:

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

Utilizando el método de momentos, se obtienen las siguientes relaciones:

$$\alpha = \frac{1.2825}{\theta}$$

$$\beta = \mu - 0.45 \cdot \theta$$

Donde:

F(x) = función de densidad normal de la variable x.

x = variable independiente.

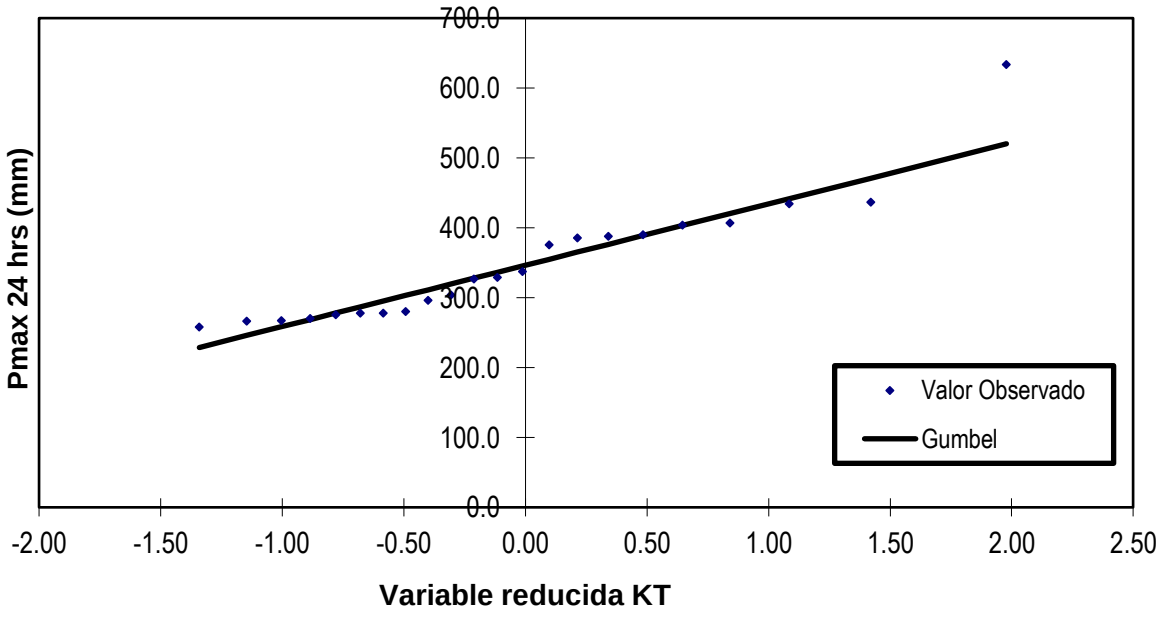
α = parámetro de concentración.

β = parámetro de localización.

La distribución de valores Tipo I Gumbel de los datos se muestra en la Figura 288.

Figura 28

Ajuste estadístico para la Distribución Gumbel.



Nota. Elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL.

La función de probabilidad de la distribución Log Normal se define en la siguiente expresión:

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\cdot\sigma}\cdot\frac{1}{x}\exp\left(-\frac{(log(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right); x \geq 0$$

Donde:

F(x) = función de densidad normal de la variable x.

x = variable independiente.

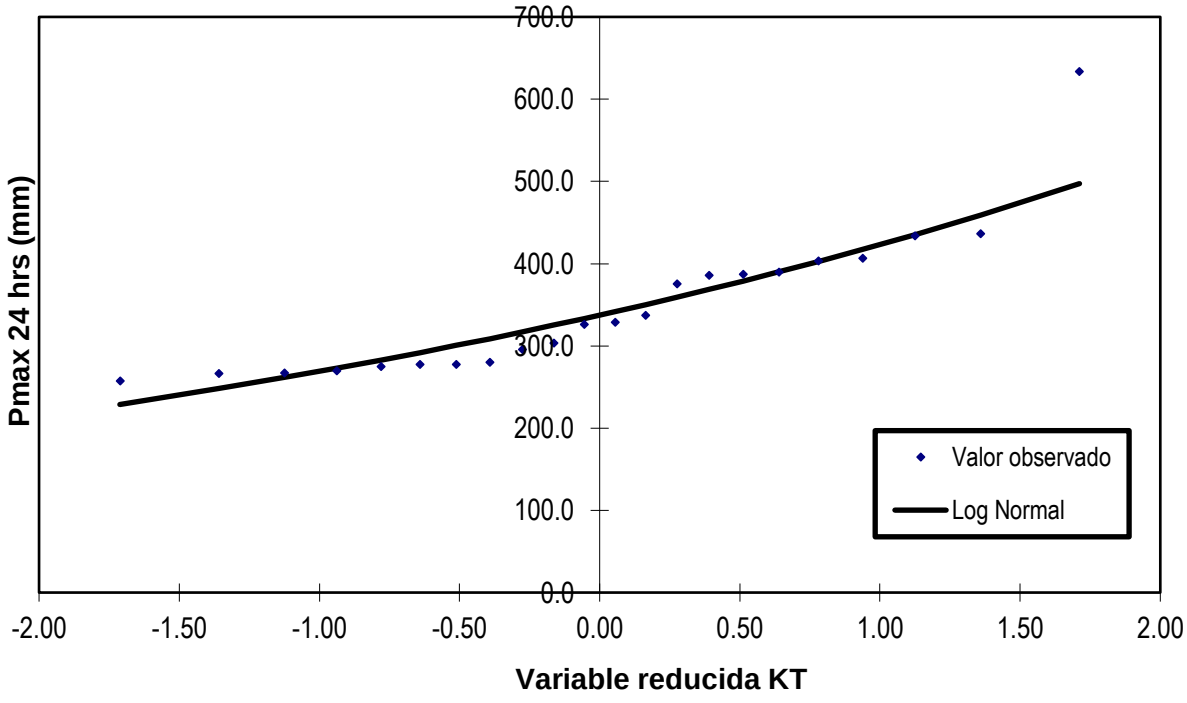
σ = parámetro de forma o varianza.

μ = parámetro de escala o media.

La distribución Log Normal de los datos se muestra en la Figura 2929.

Figura 29

Ajuste estadístico para la Distribución Log Normal.



Nota. Elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN PEARSON TIPO III.

La función de probabilidad de la distribución de valores Pearson Tipo III, se define en la siguiente expresión:

$$F(x) = x + (x^2 - 1)k + \frac{1}{3}(x^3 - 6x)k^2 - (x^2 - 1)k^2 + x \cdot k^4 - \frac{1}{3}k^3$$

Donde:

F(x) = función de densidad normal de la variable x.

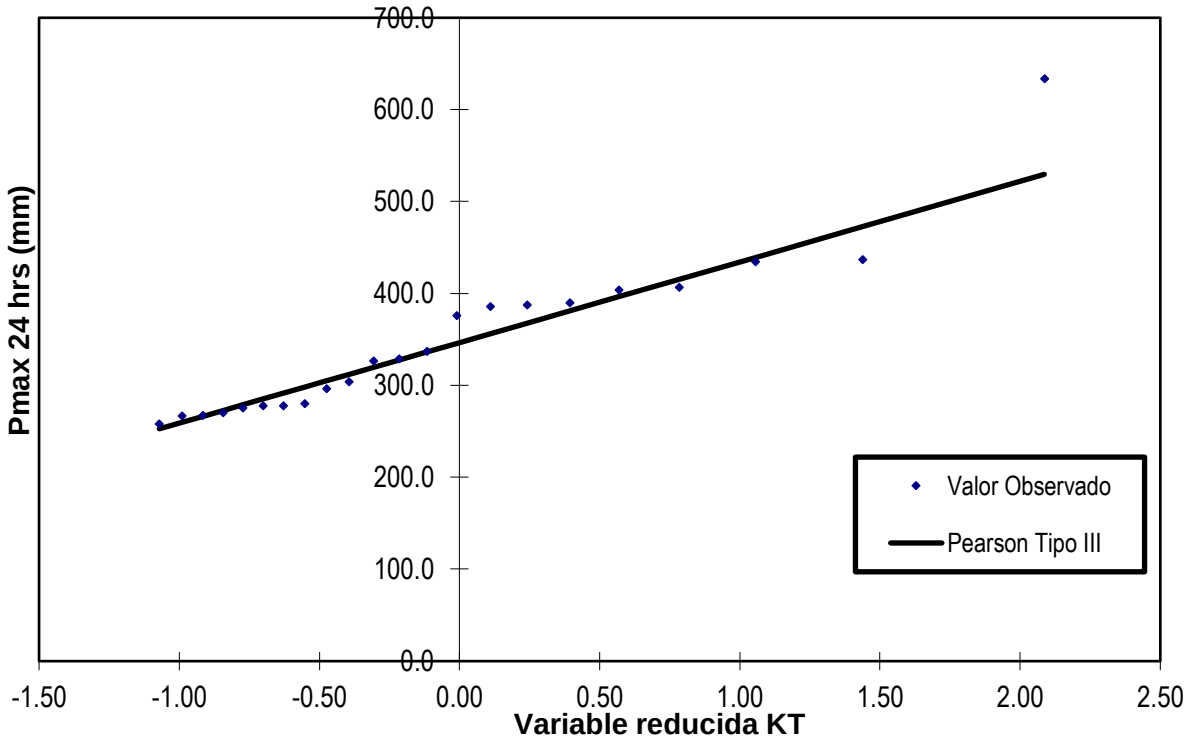
x = variable independiente.

K = parámetro en función del coeficiente de asimetría.

La distribución de Pearson Tipo III de los datos se muestra en la Figura 300.

Figura 30

Ajuste estadístico para la Distribución Pearson Tipo III.



Nota. Elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON TIPO III.

La función de probabilidad de la distribución de valores Log Pearson Tipo III, se define en la siguiente expresión:

$$F(x) = \frac{(\ln(x) - x_0)^{\gamma-1} \cdot e^{-\left(\frac{\ln(x)-x_0}{\beta}\right)}}{x \cdot \beta^{\gamma} \cdot \Gamma(\beta)} \cdot$$

Donde:

F(x) = función de densidad normal de la variable x.

x = variable independiente.

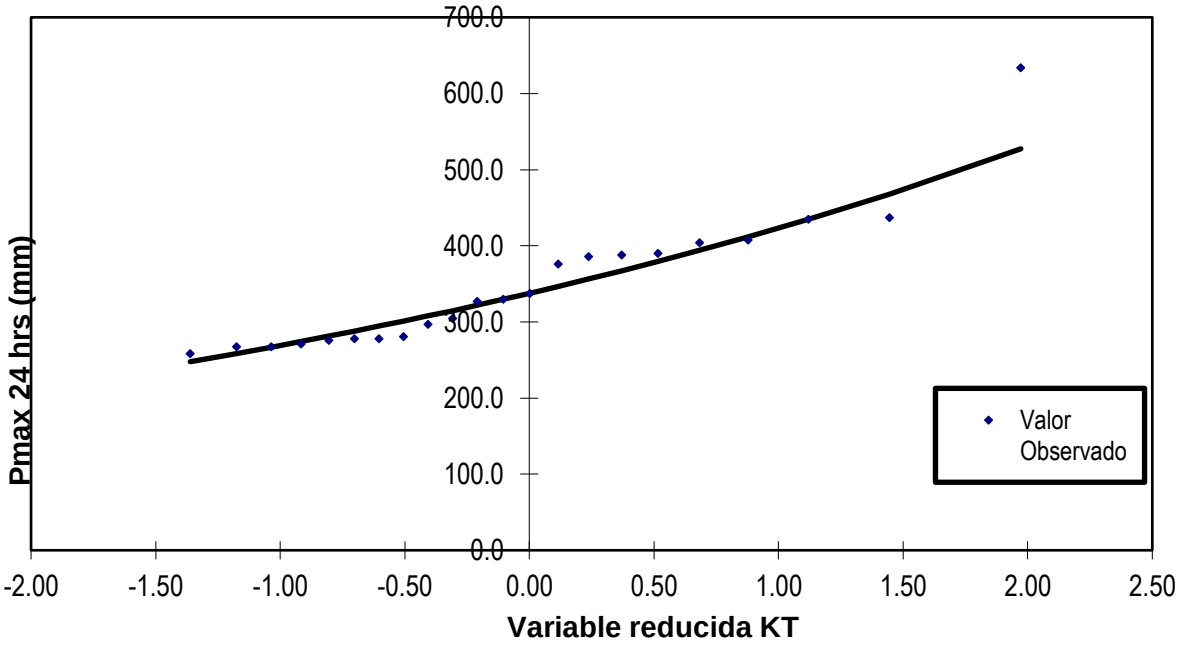
γ = parámetro de forma.

β = parámetro de escala.

La distribución de Log Pearson Tipo III de los datos se muestra en la Figura 311.

Figura 31

Ajuste estadístico para la Distribución Pearson Tipo III.



Nota. Elaboración propia.

4.2.2. Pruebas de bondad de ajuste Kolmogorov – Smirnov.

La prueba de bondad de Kolmogorov-Smirnov permite comprobar la bondad de ajuste de los modelos de distribución de datos, lo que permite elegir el modelo más representativo, es decir, el que mejor se ajusta a la distribución de datos, que se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14

Prueba de Bondad de Ajuste Kolmogorov-Smirnov.

n	xm	Fo(xm)	NORMAL		GUMBEL		LOG NORMAL		PEARSON III		LOG PEARSON III	
			FN(xm)	D	FG(xm)	D	FLN(xm)	D	FP(xm)	D	FLP(xm)	D
1	633.60	0.956522	0.999471386	0.04295	0.9916	0.03510	0.997305	0.04078	0.027027	0.92949	0.972222	0.01570
2	436.90	0.913043	0.848927969	0.06412	0.8612	0.05189	0.873003	0.04004	0.090909	0.82213	0.944444	0.03140
3	434.40	0.869565	0.842151257	0.02741	0.8564	0.01319	0.867650	0.00192	0.136364	0.73320	0.916667	0.04710
4	406.90	0.826087	0.754825304	0.07126	0.7931	0.03299	0.795727	0.03036	0.181818	0.64427	0.888889	0.06280
5	403.56	0.782609	0.742691941	0.03992	0.7839	0.00134	0.785249	0.00264	0.227273	0.55534	0.861111	0.07850
6	390.00	0.739130	0.690419828	0.04871	0.7432	0.00406	0.738609	0.00052	0.272727	0.46640	0.833333	0.09420
7	387.60	0.695652	0.680705759	0.01495	0.7354	0.03970	0.729663	0.03401	0.318182	0.37747	0.805556	0.10990
8	385.80	0.652174	0.673337429	0.02116	0.7293	0.07717	0.722817	0.07064	0.363636	0.28854	0.777778	0.12560
9	375.70	0.608696	0.63080127	0.02211	0.6936	0.08491	0.682266	0.07357	0.409091	0.19960	0.750000	0.14130
10	337.20	0.565217	0.458170705	0.10705	0.5260	0.03921	0.498584	0.06663	0.454545	0.11067	0.722222	0.15700
11	329.20	0.521739	0.422200122	0.09954	0.4857	0.03605	0.456356	0.06538	0.500000	0.02174	0.694444	0.17271
12	326.50	0.478261	0.410189867	0.06807	0.4718	0.00649	0.441962	0.03630	0.545455	0.06719	0.666667	0.18841
13	304.00	0.434783	0.314325479	0.12046	0.3520	0.08274	0.322250	0.11253	0.590909	0.15613	0.638889	0.20411
14	296.20	0.391304	0.283467687	0.10784	0.3103	0.08099	0.282227	0.10908	0.636364	0.24506	0.611111	0.21981
15	280.20	0.347826	0.225118354	0.12271	0.2279	0.11989	0.205668	0.14216	0.681818	0.33399	0.583333	0.23551
16	277.90	0.304348	0.21732844	0.08702	0.2167	0.08765	0.195458	0.10889	0.727273	0.42292	0.555556	0.25121
17	277.70	0.260870	0.216658492	0.04421	0.2157	0.04514	0.194581	0.06629	0.772727	0.51186	0.527778	0.26691
18	275.50	0.217391	0.209368299	0.00802	0.2052	0.01222	0.185054	0.03234	0.818182	0.60079	0.500000	0.28261
19	270.20	0.173913	0.192409473	0.01850	0.1806	0.00667	0.163029	0.01088	0.863636	0.68972	0.472222	0.29831
20	267.20	0.130435	0.183193734	0.05276	0.1672	0.03681	0.151176	0.02074	0.909091	0.77866	0.444444	0.31401
21	266.80	0.086957	0.181986112	0.09503	0.1655	0.07854	0.149630	0.06267	0.909091	0.82213	0.444444	0.35749
22	258.00	0.043478	0.156686564	0.11321	0.1293	0.08579	0.117775	0.07430	0.954545	0.91107	0.583333	0.53986

Nota. T: Periodo de retorno en años. P: probabilidad de ocurrencia. Elaboración propia.

INTERPRETACIÓN:

Para realizar la prueba de bondad Kolmogorov-Smirnov se comparó el máximo valor absoluto de la diferencia “D” obtenido de cada modelo de distribución, para ello se determinó el valor crítico “d” de acuerdo a la Tabla 15 con un nivel de significancia del 5%.

Tabla 15

Valor crítico “d” para la prueba de bondad Kolmogorov-Smirnov.

Tamaño de la muestra	α = 0.10	α = 0.05	α = 0.01
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.30	0.34	0.40
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.22	0.24	0.29
35	0.20	0.22	0.27
40	0.19	0.21	0.25

Fuente: Aparicio, 1999.

MODELO DE DISTRIBUCIÓN NORMAL.

Se tiene los siguientes datos:

Nivel de significancia = 5%

Tamaño de la muestra, n = 22

Valor crítico d = 0.278

Diferencia máxima D = 0.12271

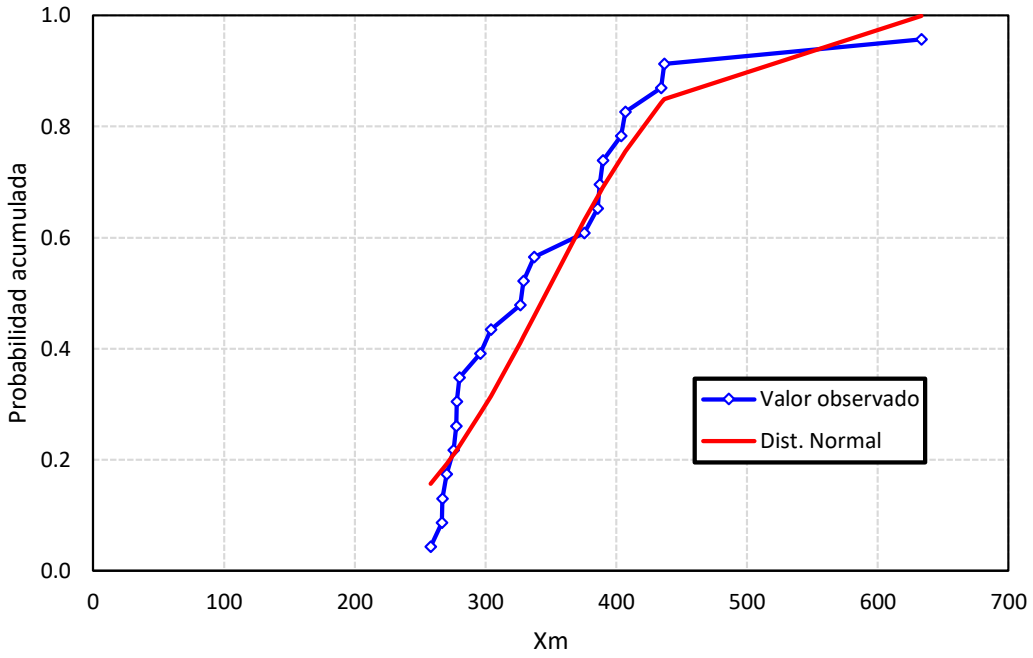
Condición:

D < d

0.12271 < 0.278 (CUMPLE)

Figura 32

Gráfica de Prueba de Bondad Modelo Distribución Normal.



Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la

Figura 32 que la máxima diferencia en la distribución es menor que el valor crítico “d”, por lo tanto se concluye que el modelo de distribución normal sí se ajusta a la distribución de los datos.

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GUMBEL.

Se tiene los siguientes datos:

Nivel de significancia = 5%

Tamaño de la muestra, n = 22

Valor crítico d = 0.278

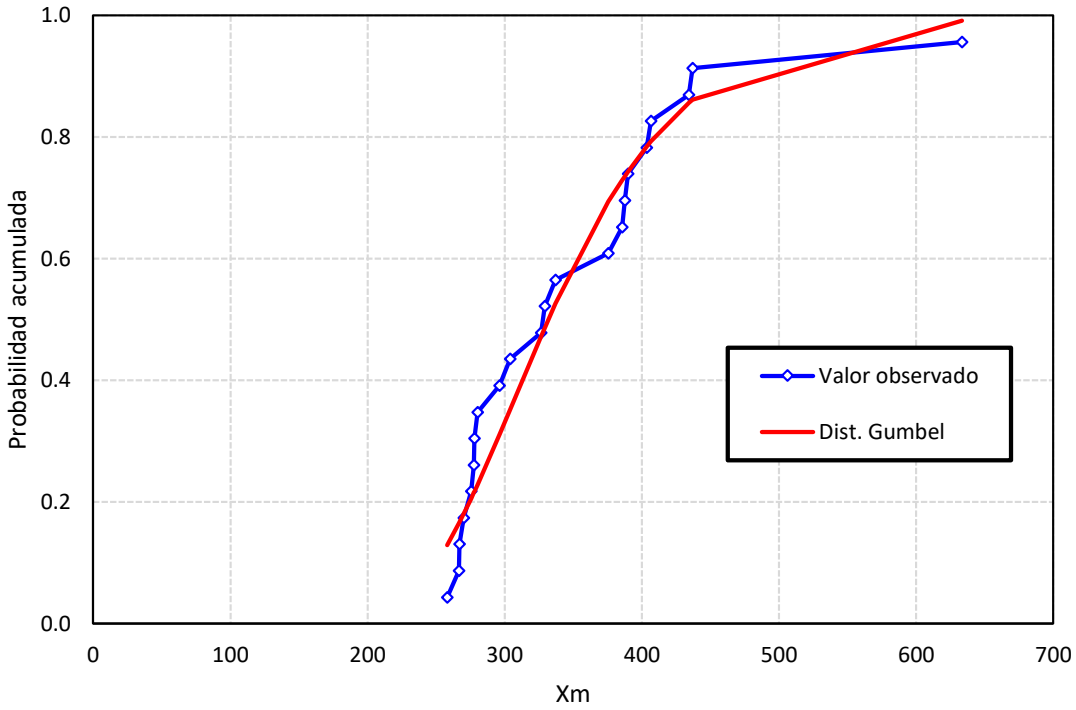
Diferencia máxima D = 0.11989

Condición:

D	<	d
0.11989	<	0.278 (CUMPLE)

Figura 33

Gráfica de Prueba de Bondad Modelo Distribución Gumbel.



Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la Figura 34 que la máxima diferencia en la distribución es menor que el valor crítico “d”, por lo tanto, se concluye que el modelo de distribución de Gumbel sí se ajusta a la distribución de los datos.

MODELO DE DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL

Se tiene los siguientes datos:

Nivel de significancia = 5%

Tamaño de la muestra, n = 22

Valor crítico d = 0.278

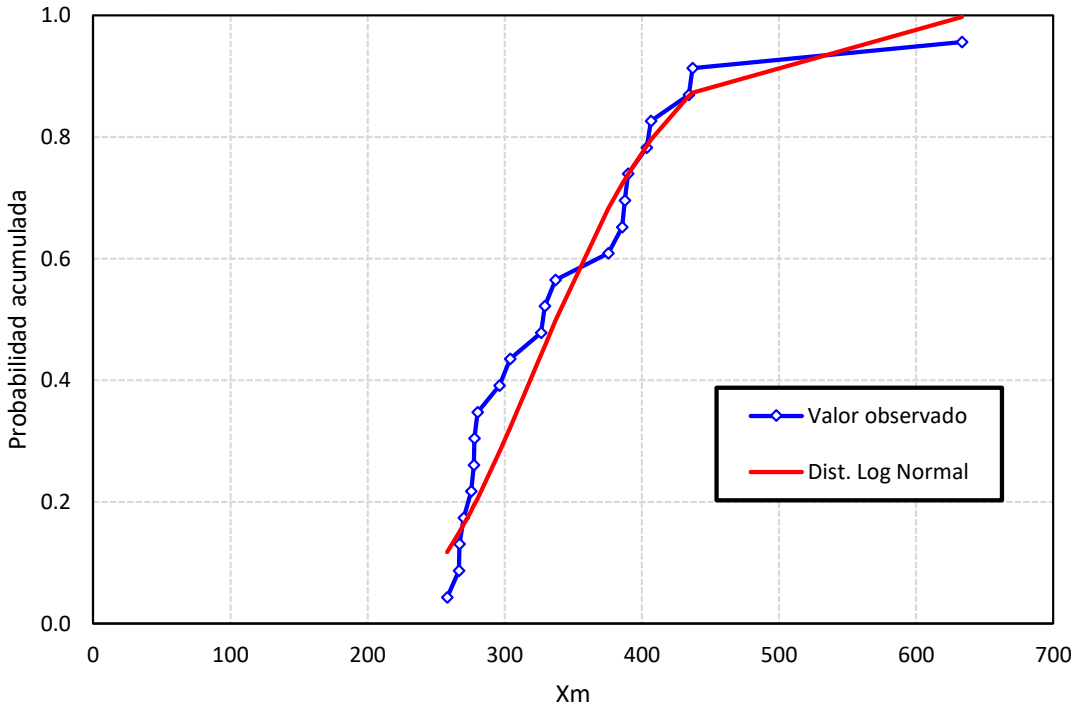
Diferencia máxima D = 0.14216

Condición:

D	<	d
0.14216	<	0.278 (CUMPLE)

Figura 34

Gráfica de Prueba de Bondad Modelo Distribución Log Normal.



Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la Figura 34 que la máxima diferencia en la distribución es menor que el valor crítico “d”, por lo tanto se concluye que el modelo de distribución Log Normal sí se ajusta a la distribución de los datos.

MODELO DE DISTRIBUCIÓN PEARSON III

Se tiene los siguientes datos:

Nivel de significancia = 5%

Tamaño de la muestra, n = 22

Valor crítico d = 0.278

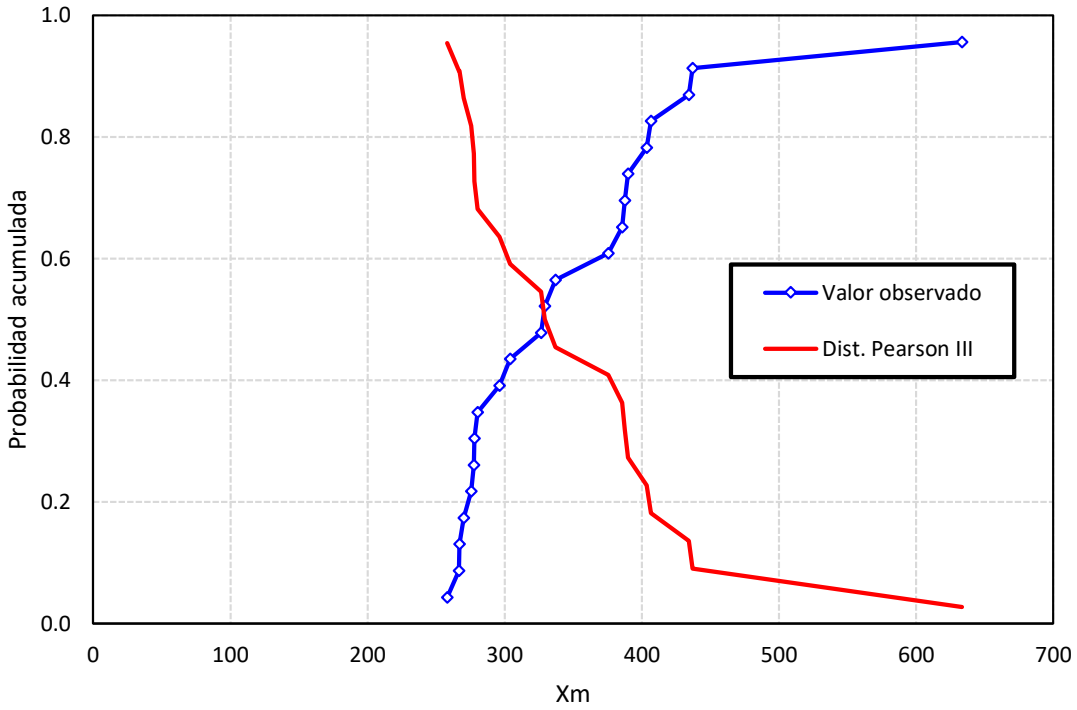
Diferencia máxima D = 0.92949

Condición:

D	<	d
0.92949	>	0.278 (NO CUMPLE)

Figura 35

Gráfica de Prueba de Bondad Modelo Distribución Pearson III.



Fuente: Elaboración propia.

Se observa en Figura 35 que la máxima diferencia en la distribución es mayor que el valor crítico “d”, por lo tanto se concluye que el modelo de distribución de Pearson Tipo III **NO** se ajusta a la distribución de los datos.

MODELO DE DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON III

Se tiene los siguientes datos:

Nivel de significancia = 5%

Tamaño de la muestra, n = 22

Valor crítico d = 0.278

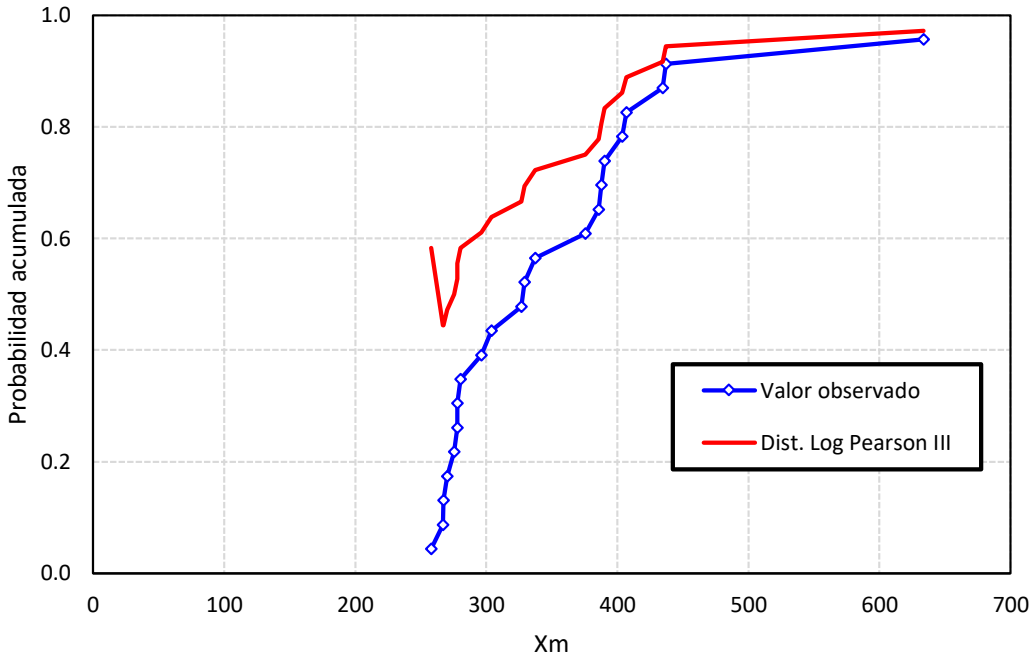
Diferencia máxima D = 0.53986

Condición:

D	<	d
0.53986	>	0.278 (NO CUMPLE)

Figura 36

Gráfica de Prueba de Bondad Modelo Distribución Log Pearson III.



Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la Figura 36 que la máxima diferencia en la distribución es mayor que el valor crítico “d”, por lo tanto se concluye que el modelo de distribución Log Pearson Tipo III **NO** se ajusta a la distribución de los datos.

Luego de las pruebas de bondad de ajuste, se seleccionó el modelo de distribución normal el que más se ajusta a los datos hidrológicos. Se obtiene las precipitaciones máximas anuales en 24 horas que se muestra en la Tabla 16, al que se aplicó un coeficiente de corrección de P24 por número de lecturas (OMM).

F (2 lecturas) = 1.13

Promedio x = 346.12

Desviación estándar S = 87.695

Cs/6 : k = 0.2862

Tabla 16

Precipitaciones máximas anuales en 24 horas.

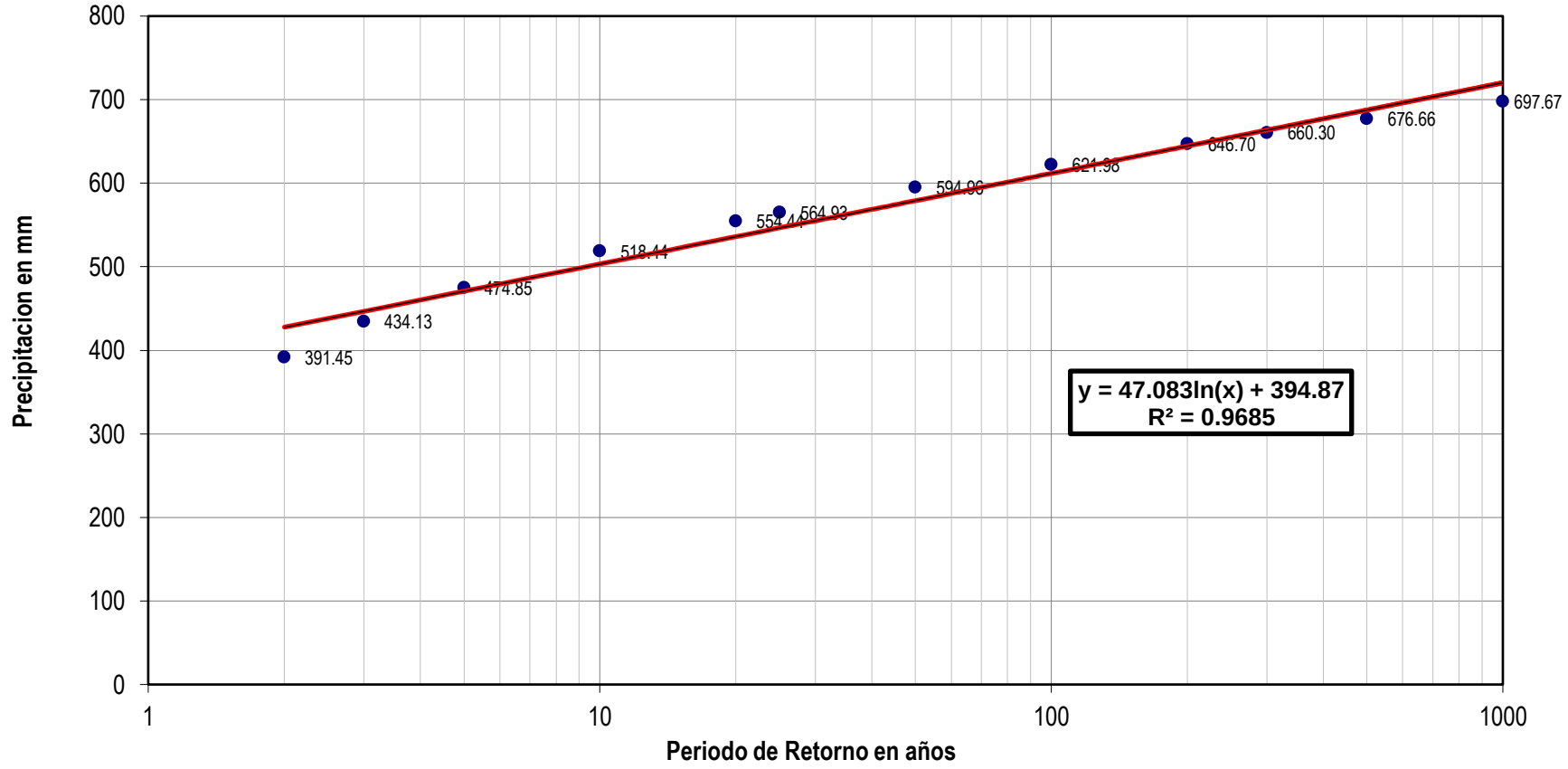
T (años)	P (X≤XT)	DISTRIB. NORMAL		P24	P24 corregida
		KT	XT	(mm)	(mm)
2	0.500	0.0000	346.4	346.4	391.45
3	0.667	0.4307	384.2	384.2	434.13
5	0.800	0.8416	420.2	420.2	474.85
10	0.900	1.2816	458.8	458.8	518.44
20	0.950	1.6449	490.7	490.7	554.44
25	0.960	1.7507	499.9	499.9	564.93
50	0.980	2.0537	526.5	526.5	594.96
100	0.990	2.3263	550.4	550.4	621.98
200	0.995	2.5758	572.3	572.3	646.70
300	0.997	2.7131	584.3	584.3	660.30
500	0.998	2.8782	598.8	598.8	676.66
1000	0.999	3.0902	617.4	617.4	697.67

Nota. T: Periodo de retorno en años. P: probabilidad de ocurrencia. Elaboración propia.

De los valores P24 corregidos se obtiene la gráfica de precipitación máxima anual en función de los diferentes periodos de retorno, como se muestra en la Figura 37.

Figura 37

Precipitación máxima anual para diferentes periodos de retorno.



Fuente: Elaboración propia.

Luego de determinar la precipitación máxima, se calcular las curvas IDF, para tener en consideración la anarquía de los tiempos de retornos. Los parámetros de diseño se basan en el mapa de regiones hidrológicas y las tablas de la norma OS.060 del R.N.E.

Figura 38

Mapa de regiones hidrológicas del Perú.



Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006.

Tabla 17

Valores de los parámetros "a" y "n" para las subzonas.

Subzona	Estación	N° total de estaciones	Valor de n	Valor de a
123_1	321-385	2	0.357	32.2
123_3	384-787-805	3	0.405	a = 37.85 – 0.0083 Y
123_{13}	244-193	2	0.432	
123_5	850-903	2	0.353	9.2
123_6	840-913-918 958	4	0.380	11.0
123_8	654-674-679 709-713-714 732-745-752	9	0.232	14.0
123_9	769	1	0.242	12.1
123_{10}	446-557-594 653-672-696 708-711-712 715-717-724 757-773	14	0.254	a = 3.01 + 0.0025 Y
123_{11}	508-667-719 750-771	5	0.286	a = 0.46 + 0.0023 Y
$5a_2$	935-968	2	0.301	a = 14.1 – 0.078 Dc
$5a_5$	559	1	0.303	a = -2.6 + 0.0031 Y
$5a_{10}$	248	1	0.434	a = 5.80 + 0.0009 Y

Nota. Tomado de "Tabla 3.b" de la norma OS.060 Drenaje urbano del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Y: Altitud en m.s.n.m.

Dc: Distancia a la cordillera en Km.

Dm: Distancia al mar en Km.

Luego determinamos el hietograma de escorrentía con el siguiente diseño:

Región hidrológica:	123_1	SELVA
Altitud media:	Y =	1080.00 m.s.n.m.
Duración de lluvia diaria:	tg =	15.2 horas
Parámetro de zona:	eg =	85
Parámetro de intensidad:	a =	14 mm
Parámetro de frecuencia:	K =	0.553

Parámetro de duración: n = 0.357

Parámetro de duración por región: b = 0.4 horas

La determinación de la precipitación e intensidad para 24 horas en la zona de Pucallpa, se utilizaron las siguientes fórmulas:

Para precipitaciones menores a una hora:

$$\frac{P_t}{P_{24H}} = \left(\frac{t+b}{24}\right)^n$$

$$\frac{I_t}{I_{24H}} = \left(\frac{t+b}{24}\right)^{(n-1)}$$

Para precipitaciones mayores a una hora:

$$\frac{P_t}{P_{24H}} = \left(\frac{t}{24}\right)^n$$

$$\frac{I_t}{I_{24H}} = \left(\frac{t}{24}\right)^{(n-1)}$$

Donde:

Pt : precipitación en función del tiempo de duración.

It : intensidad en función del tiempo de duración.

t : variable dependiente.

b : parámetro de duración por región.

n : parámetro de duración.

Se realizó el cálculo para tiempo de duración menor a 24 horas en intervalos de 10 minutos.

Para una duración de: t = 10 min

Pt = 0.26

It = 11.12

Para una duración de: t = 20 min

Pt = 0.29

It = 9.42

Para una duración de: t = 30 min

Pt = 0.31

It = 8.26

Para una duración de: t = 40 min

Pt = 0.33

It = 7.40

Para una duración de: t = 50 min

Pt = 0.35

It = 6.74

Para una duración de: t = 1 hora

Pt = 0.36

It = 6.22

Para una duración de: t = 1.5 horas

Pt = 0.40

It = 5.11

Para una duración de: t = 2 horas

Pt = 0.44

It = 4.40

Para una duración de: t = 4 horas

Pt = 0.53

It = 3.16

Para una duración de: t = 6 horas

Pt = 0.61

It = 2.44

Para una duración de: t = 7 horas

Pt = 0.64

It = 2.21

Para una duración de: t = 8 horas

Pt = 0.68

It = 2.03

Para una duración de: t = 10 horas

Pt = 0.73

It = 1.76

Para una duración de: t = 11 horas

Pt = 0.76

It = 1.65

Para una duración de: t = 12 horas

Pt = 0.78

It = 1.56

Para una duración de: t = 24 horas

Pt = 1.00

It = 1.00

De los cálculos anteriores se presenta los valores de precipitaciones e intensidad de diseño para duraciones menores a 24 horas en la zona de Pucallpa, que se muestra en la Tabla 18 y Tabla 19, respectivamente.

Tabla 18

Valores de precipitaciones para duraciones menores a 24 horas.

Duración y T en años	T=2	T=5	T=10	T=20	T=25	T=50	T=100	T=200	T=500
10 min	102.77	124.67	136.11	145.57	148.32	156.20	163.30	169.79	177.65
20 min	112.68	136.69	149.24	159.60	162.62	171.26	179.04	186.16	194.78
30 min	121.23	147.06	160.56	171.71	174.95	184.26	192.62	200.28	209.56
40 min	128.81	156.25	170.60	182.44	185.89	195.78	204.67	212.80	222.66
50 min	135.66	164.56	179.67	192.15	195.78	206.19	215.55	224.12	234.50
1 hr	141.94	172.18	187.99	201.04	204.85	215.74	225.53	234.50	245.36
1.5 hr	158.29	192.01	209.64	224.20	228.44	240.59	251.51	261.51	273.62
2 hr	172.06	208.71	227.88	243.70	248.31	261.51	273.38	284.25	297.42
4 hr	206.48	250.47	273.46	292.45	297.99	313.83	328.08	341.12	356.92
6 hr	238.64	289.48	316.06	338.00	344.40	362.71	379.17	394.25	412.51
7 hr	252.14	305.86	333.94	357.13	363.88	383.23	400.63	416.55	435.85
8 hr	264.45	320.79	350.24	374.56	381.65	401.94	420.19	436.89	457.13
10 hr	286.38	347.39	379.28	405.62	413.29	435.27	455.03	473.12	495.03

11 hr	296.29	359.41	392.41	419.66	427.60	450.33	470.78	489.49	512.17
12 hr	305.64	370.75	404.79	432.90	441.09	464.54	485.63	504.93	528.33
24 hr	391.45	474.85	518.44	554.44	564.93	594.96	621.98	646.70	676.66

Nota. T: periodo de retorno en años. Precipitaciones en mm. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19

Valores de intensidades para duraciones menores a 24 horas.

Duración y T en años	**T=2**	**T=5**	**T=10**	**T=20**	**T=25**	**T=50**	**T=100**	**T=200**	**T=500**
10 min	181.36	220.00	240.20	256.88	261.74	275.65	288.17	299.62	313.51
20 min	153.66	186.39	203.51	217.64	221.75	233.54	244.15	253.85	265.61
30 min	134.70	163.40	178.40	190.78	194.39	204.73	214.02	222.53	232.84
40 min	120.76	146.49	159.93	171.04	174.28	183.54	191.87	199.50	208.74
50 min	109.99	133.43	145.68	155.80	158.74	167.18	174.77	181.72	190.14
1 hr	101.39	122.99	134.28	143.60	146.32	154.10	161.09	167.50	175.26
1.5 hr	83.31	101.06	110.34	118.00	120.23	126.62	132.37	137.63	144.01
2 hr	71.69	86.96	94.95	101.54	103.46	108.96	113.91	118.44	123.92
4 hr	51.62	62.62	68.37	73.11	74.50	78.46	82.02	85.28	89.23
6 hr	39.77	48.25	52.68	56.33	57.40	60.45	63.20	65.71	68.75
7 hr	36.02	43.69	47.71	51.02	51.98	54.75	57.23	59.51	62.26
8 hr	33.06	40.10	43.78	46.82	47.71	50.24	52.52	54.61	57.14
10 hr	28.64	34.74	37.93	40.56	41.33	43.53	45.50	47.31	49.50
11 hr	26.94	32.67	35.67	38.15	38.87	40.94	42.80	44.50	46.56
12 hr	25.47	30.90	33.73	36.08	36.76	38.71	40.47	42.08	44.03
24 hr	16.31	19.79	21.60	23.10	23.54	24.79	25.92	26.95	28.19

Nota. T: periodo de retorno en años. Precipitaciones en mm.

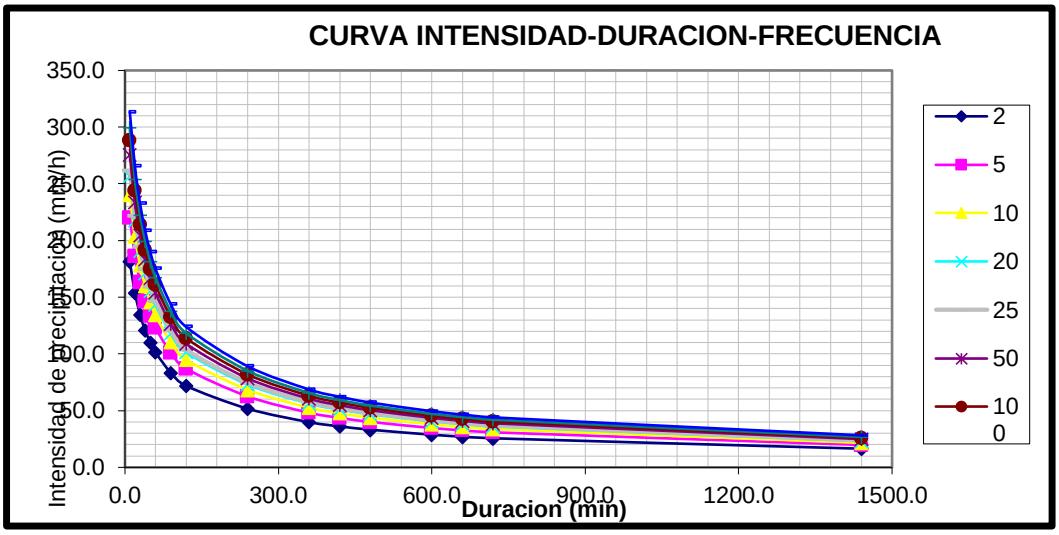
Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente se grafica las curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) en base a los datos pluviográficos de lluvias en la zona de Pucallpa, que se muestra en la Figura 40.

.

Figura 39

Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia.



Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el hietograma de diseño se utilizó el método del Bloque Alterno, regulado en la norma OS.060 Drenaje urbano y el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.

Obtenemos la intensidad máxima a partir de las curvas IDF, partiendo de los siguientes datos:

$$I = \frac{K * T^m}{t^n}$$

Donde:

I : intensidad máxima (mm/h)

K, m, n : factores característicos de la zona de estudio.

T : periodo de retorno en años.

t : duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración.

Para la determinación de la precipitación de diseño se ha seleccionado

$$P = i * Td$$

Donde:

P : profundidad de lluvia (mm).

Td : duración de la lluvia.

Obtenemos la precipitación de diseño por el método del Bloque Alterno, que se muestra en la Tabla **20**, indicando los datos considerados para graficar el hietograma de precipitaciones de diseño.

Periodo de retorno T = 50 años.

Tomando diferencias entre valores sucesivos de profundidad de precipitación, se encuentra la cantidad de precipitación que debe añadirse por cada unidad adicional de tiempo. Se observa que para una duración de una hora se calculó una intensidad de 138 mm/hr, con un periodo de retorno de 50 años.

Tabla 20

Valores de precipitación de diseño por método del bloque alterno.

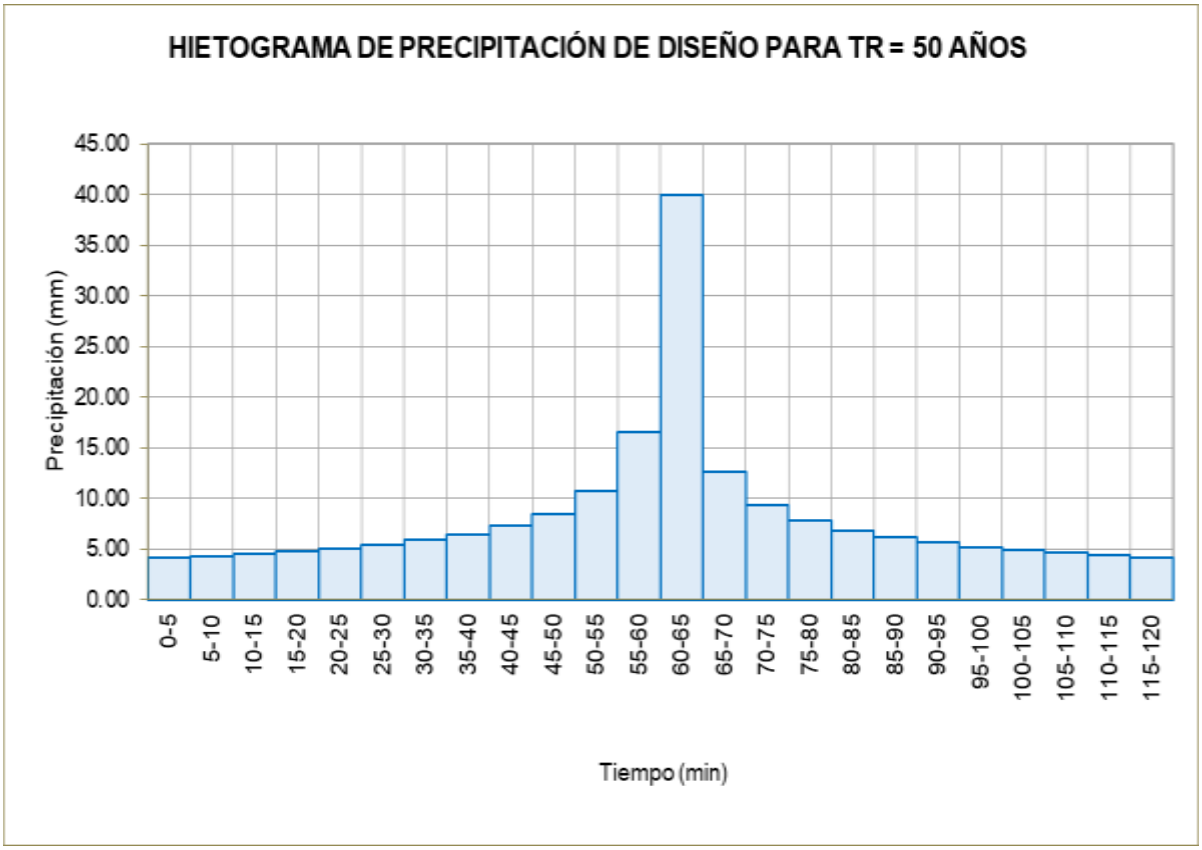
METODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION min	INTENSIDAD mm/hr	PROFUNDIDA ACUMULADA mm	PROFUNDIDAD INCREMENTAL mm	TIEMPO min	PRECIPITACION mm
5	479.838	39.986	39.986	0-5	4.10
10	339.057	56.510	16.523	5-10	4.29
15	276.725	69.181	12.672	10-15	4.51
20	239.581	79.860	10.679	15-20	4.76
25	214.239	89.266	9.406	20-25	5.05
30	195.536	97.768	8.502	25-30	5.42
35	181.003	105.585	7.817	30-35	5.87
40	169.290	112.860	7.275	35-40	6.46
45	159.589	119.692	6.832	40-45	7.27
50	151.383	126.153	6.461	45-50	8.50
55	144.324	132.297	6.145	50-55	10.68
60	138.168	138.168	5.870	55-60	16.52
65	132.736	143.798	5.630	60-65	39.99
70	127.898	149.215	5.417	65-70	12.67
75	123.553	154.441	5.226	70-75	9.41
80	119.622	159.495	5.055	75-80	7.82
85	116.043	164.394	4.899	80-85	6.83
90	112.767	169.150	4.756	85-90	6.14
95	109.753	173.776	4.626	90-95	5.63
100	106.968	178.281	4.505	95-100	5.23
105	104.385	182.674	4.394	100-105	4.90
110	101.981	186.964	4.290	105-110	4.63
115	99.734	191.158	4.193	110-115	4.39
120	97.630	195.261	4.103	115-120	4.19

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, el estudio hidrológico determinó que, para un evento de precipitación de 138 mm/hora con un periodo de retorno de 50 años, el caudal pico de escorrentía alcanza un valor de 4.46 m^3/s, considerando el coeficiente de escorrentía más crítico con el método racional, de 0.45 debido a las características del suelo.

Figura 40

Hietograma de precipitación de diseño para T=50 años.



Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Determinación del caudal de escorrentía con simulación de lluvias.

Se realizó el ensayo de simulación de lluvias de acuerdo al tipo de cobertura con o sin vegetación, vale precisar que las zonas con bosques y vegetación densa quedaron excluidas de la investigación por limitaciones y recomendaciones del equipo de laboratorio.

Tabla 21

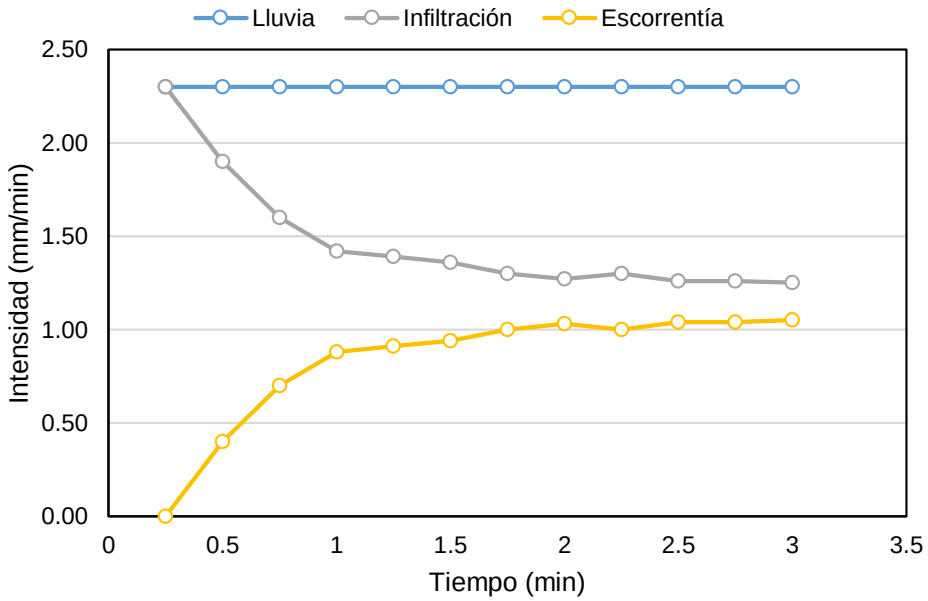
Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°01 en muestra N°01 – suelo arcilloso.

N°	Tiempo (seg)	Tiempo (min)	Volumen de Lluvia (mm)	Volumen de infiltración (mm)	Volumen de Escorrentía (mm)
1	15	0.25	2.30	2.30	0.00
2	30	0.5	2.30	1.90	0.40
3	45	0.75	2.30	1.60	0.70
4	60	1	2.30	1.42	0.88
5	75	1.25	2.30	1.39	0.91
6	90	1.5	2.30	1.36	0.94
7	105	1.75	2.30	1.30	1.00
8	120	2	2.30	1.27	1.03
9	135	2.25	2.30	1.30	1.00
10	150	2.5	2.30	1.26	1.04
11	165	2.75	2.30	1.26	1.04
12	180	3	2.30	1.25	1.05

Fuente: Elaboración propia.

Figura 41

Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°01 en suelo arcilloso.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22

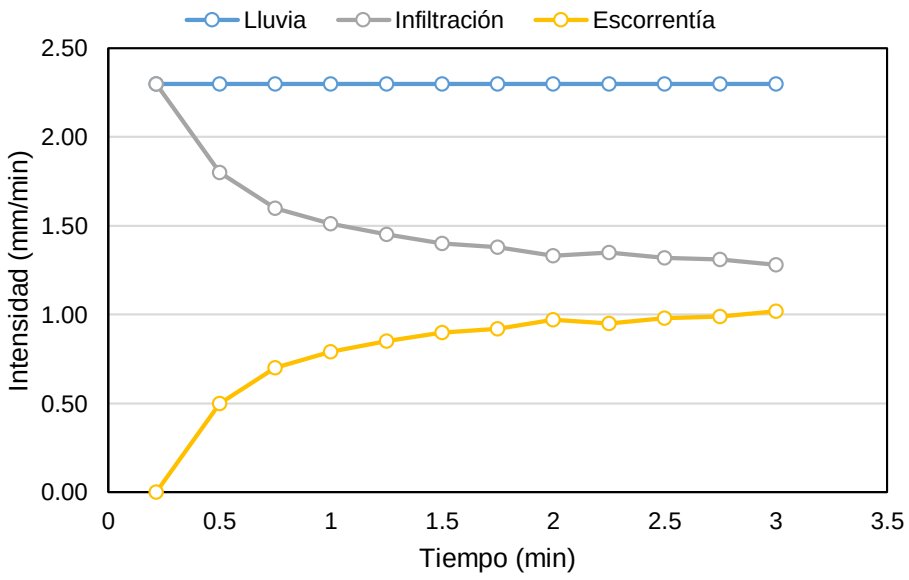
Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°02 en muestra N°01 – suelo arcilloso.

N°	Tiempo (seg)	Tiempo (min)	Volumen de Lluvia (mm)	Volumen de infiltración (mm)	Volumen de Escorrentía (mm)
1	13	0.2167	2.30	2.30	0.00
2	30	0.5	2.30	1.80	0.50
3	45	0.75	2.30	1.60	0.70
4	60	1	2.30	1.51	0.79
5	75	1.25	2.30	1.45	0.85
6	90	1.5	2.30	1.40	0.90
7	105	1.75	2.30	1.38	0.92
8	120	2	2.30	1.33	0.97
9	135	2.25	2.30	1.35	0.95
10	150	2.5	2.30	1.32	0.98
11	165	2.75	2.30	1.31	0.99
12	180	3	2.30	1.28	1.02

Fuente: Elaboración propia.

Figura 42

Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°02 en suelo arcilloso.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23

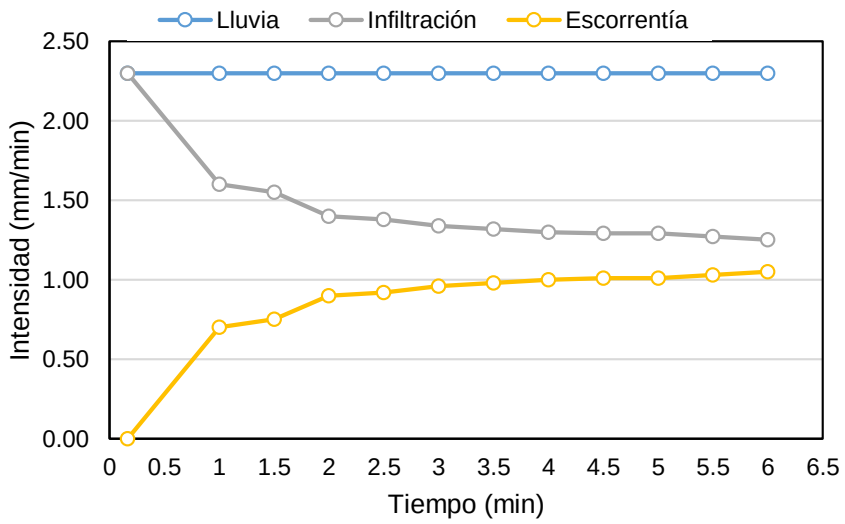
Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°03 en muestra N°01 – suelo arcilloso.

N°	Tiempo (seg)	Tiempo (min)	Volumen de Lluvia (mm)	Volumen de infiltración (mm)	Volumen de Escorrentía (mm)
1	10	0.167	2.30	2.30	0.00
2	60	1	2.30	1.60	0.70
3	90	1.5	2.30	1.55	0.75
4	120	2	2.30	1.40	0.90
5	150	2.5	2.30	1.38	0.92
6	180	3	2.30	1.34	0.96
7	210	3.5	2.30	1.32	0.98
8	240	4	2.30	1.30	1.00
9	270	4.5	2.30	1.29	1.01
10	300	5	2.30	1.29	1.01
11	330	5.5	2.30	1.27	1.03
12	360	6	2.30	1.25	1.05

Fuente: Elaboración propia.

Figura 43

Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°03 en suelo arcilloso.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24

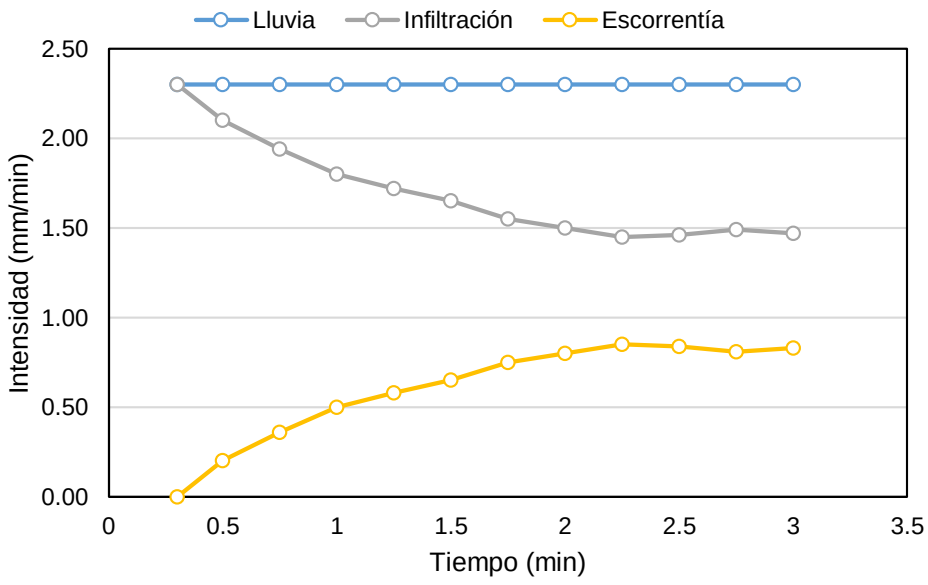
Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°01 en muestra N°02 – suelo afirmado.

N°	Tiempo (seg)	Tiempo (min)	Volumen de Lluvia (mm)	Volumen de infiltración (mm)	Volumen de Escorrentía (mm)
1	18	0.3	2.30	2.30	0.00
2	30	0.5	2.30	2.10	0.20
3	45	0.75	2.30	1.94	0.36
4	60	1	2.30	1.80	0.50
5	75	1.25	2.30	1.72	0.58
6	90	1.5	2.30	1.65	0.65
7	105	1.75	2.30	1.55	0.75
8	120	2	2.30	1.50	0.80
9	135	2.25	2.30	1.45	0.85
10	150	2.5	2.30	1.46	0.84
11	165	2.75	2.30	1.49	0.81
12	180	3	2.30	1.47	0.83

Fuente: Elaboración propia.

Figura 44

Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°01 en suelo afirmado.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25

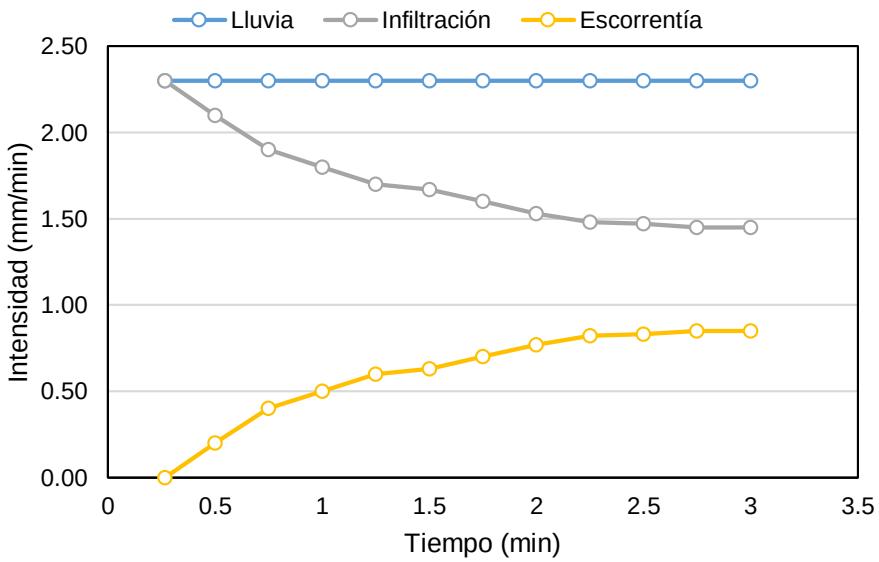
Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°02 en muestra N°02 – suelo afirmado.

N°	Tiempo (seg)	Tiempo (min)	Volumen de Lluvia (mm)	Volumen de infiltración (mm)	Volumen de Escorrentía (mm)
1	16	0.267	2.30	2.30	0.00
2	30	0.5	2.30	2.10	0.20
3	45	0.75	2.30	1.90	0.40
4	60	1	2.30	1.80	0.50
5	75	1.25	2.30	1.70	0.60
6	90	1.5	2.30	1.67	0.63
7	105	1.75	2.30	1.60	0.70
8	120	2	2.30	1.53	0.77
9	135	2.25	2.30	1.48	0.82
10	150	2.5	2.30	1.47	0.83
11	165	2.75	2.30	1.45	0.85
12	180	3	2.30	1.45	0.85

Fuente: Elaboración propia.

Figura 45

Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°02 en suelo afirmado.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26

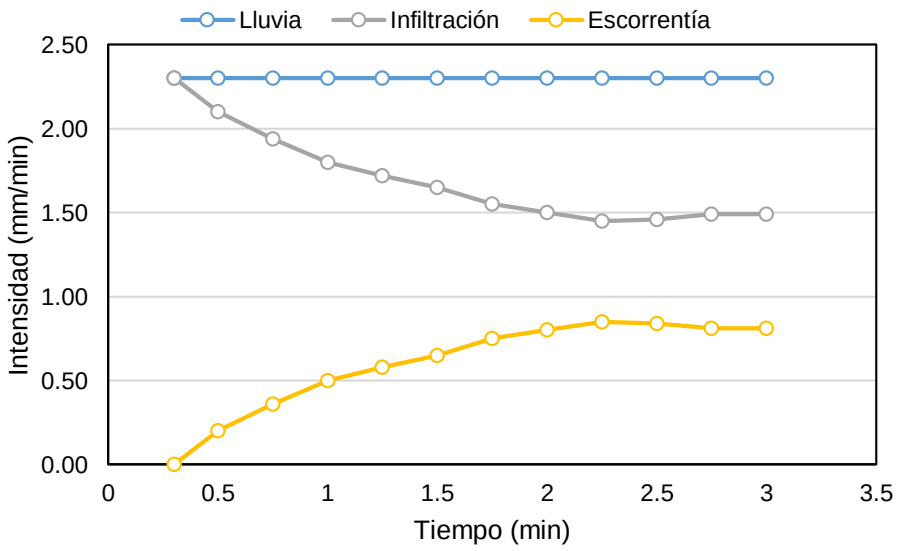
Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°03 en muestra N°02 – suelo afirmado.

N°	Tiempo (seg)	Tiempo (min)	Volumen de Lluvia (mm)	Volumen de infiltración (mm)	Volumen de Escorrentía (mm)
1	15	0.25	2.30	2.30	0.00
2	30	0.5	2.30	2.10	0.20
3	45	0.75	2.30	1.76	0.54
4	60	1	2.30	1.50	0.80
5	75	1.25	2.30	1.40	0.90
6	90	1.5	2.30	1.32	0.98
7	105	1.75	2.30	1.30	1.00
8	120	2	2.30	1.27	1.03
9	135	2.25	2.30	1.28	1.02
10	150	2.5	2.30	1.26	1.04
11	165	2.75	2.30	1.30	1.00
12	180	3	2.30	1.28	1.02

Fuente: Elaboración propia.

Figura 46

Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°03 en suelo afirmado.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27

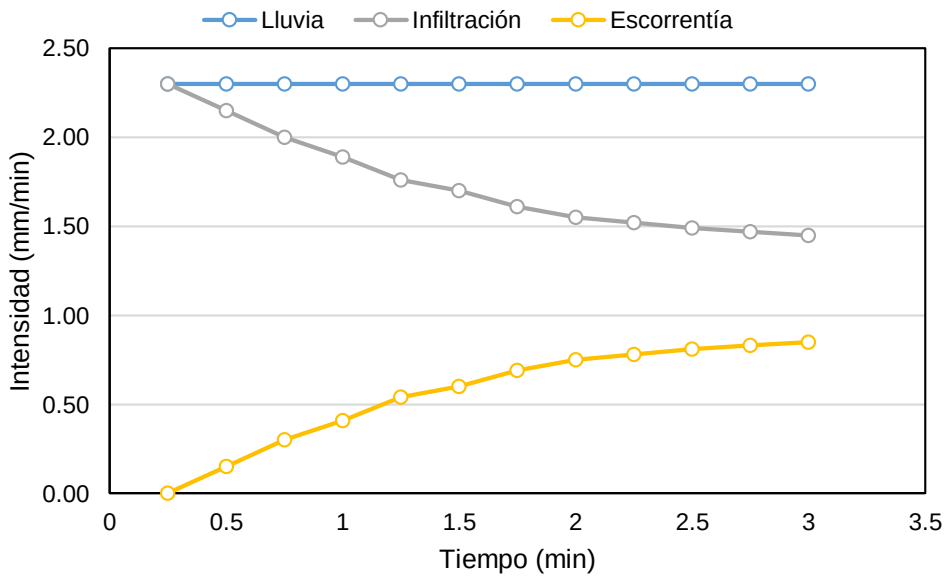
Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°01 en muestra N°03 – suelo con vegetación ligera.

N°	Tiempo (seg)	Tiempo (min)	Volumen de Lluvia (mm)	Volumen de infiltración (mm)	Volumen de Escorrentía (mm)
1	15	0.25	2.30	2.30	0.00
2	30	0.5	2.30	2.15	0.15
3	45	0.75	2.30	2.00	0.30
4	60	1	2.30	1.89	0.41
5	75	1.25	2.30	1.76	0.54
6	90	1.5	2.30	1.70	0.60
7	105	1.75	2.30	1.61	0.69
8	120	2	2.30	1.55	0.75
9	135	2.25	2.30	1.52	0.78
10	150	2.5	2.30	1.49	0.81
11	165	2.75	2.30	1.47	0.83
12	180	3	2.30	1.45	0.85

Fuente: Elaboración propia.

Figura 47

Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°01 en suelo con vegetación ligera.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28

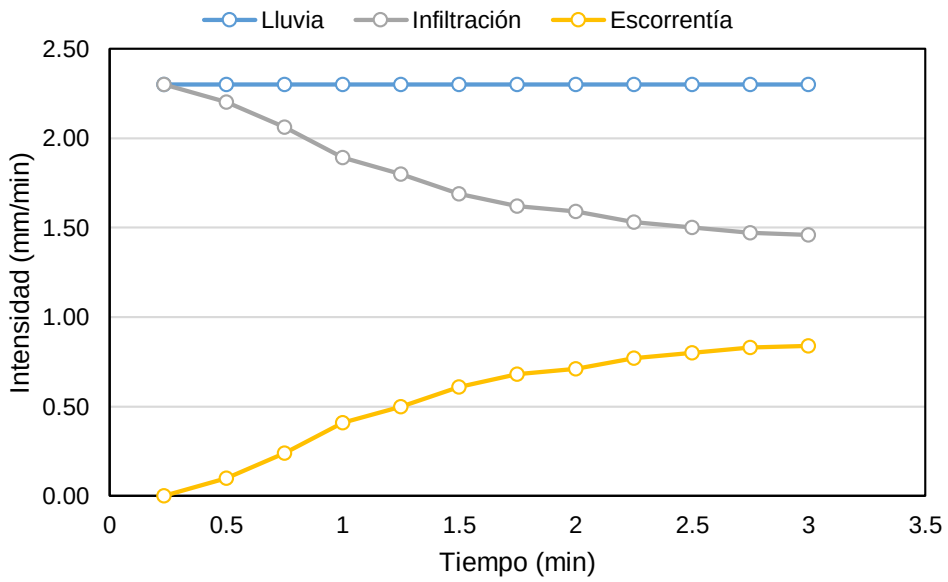
Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°02 en muestra N°03 – suelo con vegetación ligera.

N°	Tiempo (seg)	Tiempo (min)	Volumen de Lluvia (mm)	Volumen de infiltración (mm)	Volumen de Escorrentía (mm)
1	14	0.233	2.30	2.30	0.00
2	30	0.5	2.30	2.20	0.10
3	45	0.75	2.30	2.06	0.24
4	60	1	2.30	1.89	0.41
5	75	1.25	2.30	1.80	0.50
6	90	1.5	2.30	1.69	0.61
7	105	1.75	2.30	1.62	0.68
8	120	2	2.30	1.59	0.71
9	135	2.25	2.30	1.53	0.77
10	150	2.5	2.30	1.50	0.80
11	165	2.75	2.30	1.47	0.83
12	180	3	2.30	1.46	0.84

Fuente: Elaboración propia.

Figura 48

Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°02 en suelo con vegetación ligera.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29

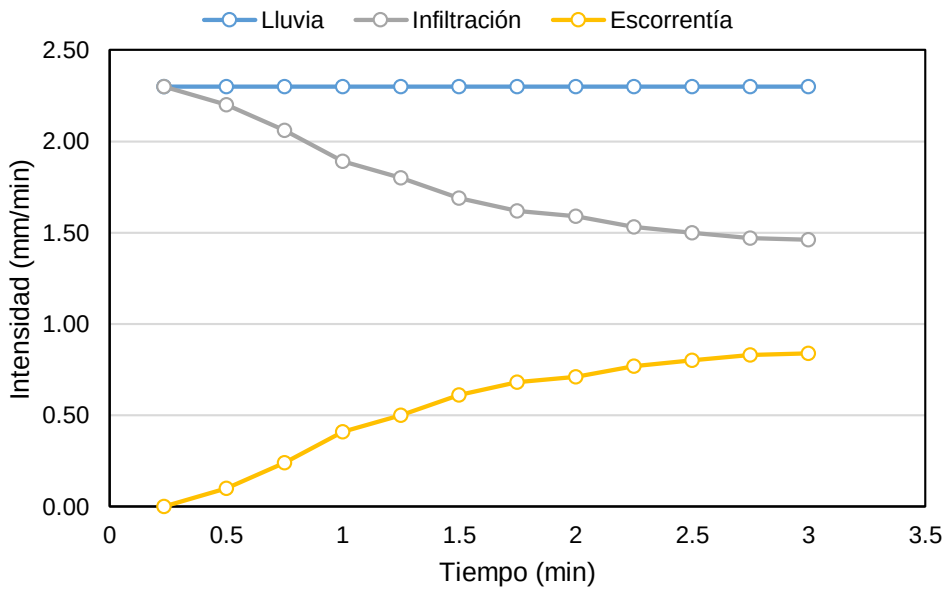
Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°03 en muestra N°03 – suelo con vegetación ligera.

N°	Tiempo (seg)	Tiempo (min)	Volumen de Lluvia (mm)	Volumen de infiltración (mm)	Volumen de Escorrentía (mm)
1	13	0.2167	2.30	2.30	0.00
2	30	0.5	2.30	2.15	0.15
3	45	0.75	2.30	2.00	0.30
4	60	1	2.30	1.89	0.41
5	75	1.25	2.30	1.76	0.54
6	90	1.5	2.30	1.70	0.60
7	105	1.75	2.30	1.61	0.69
8	120	2	2.30	1.55	0.75
9	135	2.25	2.30	1.52	0.78
10	150	2.5	2.30	1.49	0.81
11	165	2.75	2.30	1.47	0.83
12	180	3	2.30	1.45	0.85

Fuente: Elaboración propia.

Figura 49

Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°03 en suelo con vegetación ligera.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30

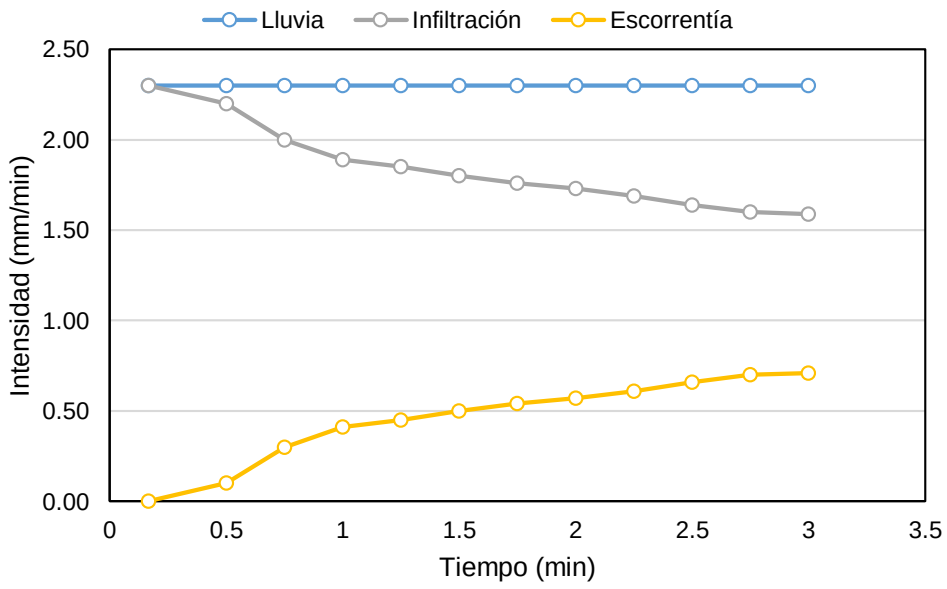
Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°01 en muestra N°04 – suelo con hojarasca.

N°	Tiempo (seg)	Tiempo (min)	Volumen de Lluvia (mm)	Volumen de infiltración (mm)	Volumen de Escorrentía (mm)
1	10	0.167	2.30	2.30	0.00
2	30	0.5	2.30	2.20	0.10
3	45	0.75	2.30	2.00	0.30
4	60	1	2.30	1.89	0.41
5	75	1.25	2.30	1.85	0.45
6	90	1.5	2.30	1.80	0.50
7	105	1.75	2.30	1.76	0.54
8	120	2	2.30	1.73	0.57
9	135	2.25	2.30	1.69	0.61
10	150	2.5	2.30	1.64	0.66
11	165	2.75	2.30	1.60	0.70
12	180	3	2.30	1.59	0.71

Fuente: Elaboración propia.

Figura 50

Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°01 en suelo con hojarasca.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31

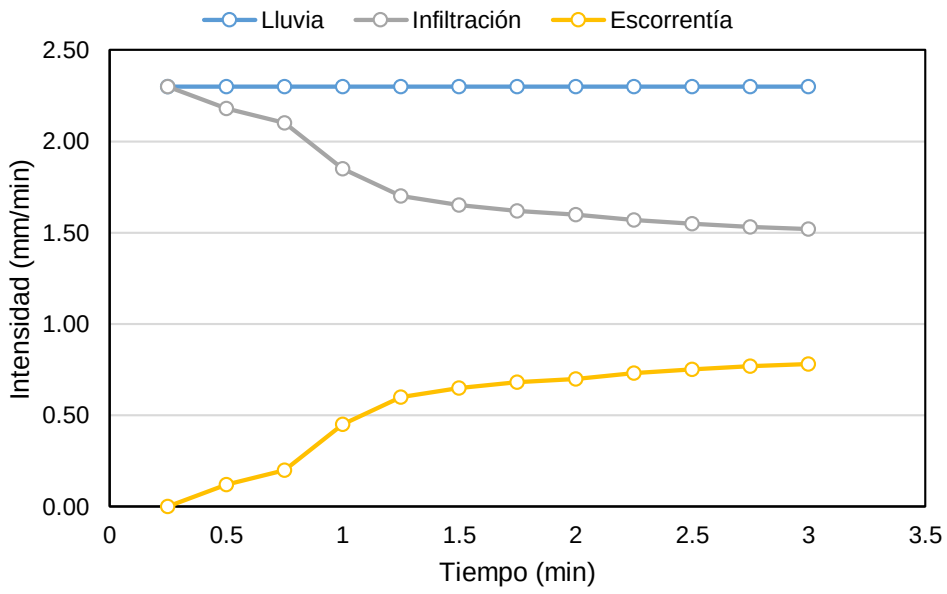
Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°02 en muestra N°04 – suelo con hojarasca.

N°	Tiempo (seg)	Tiempo (min)	Volumen de Lluvia (mm)	Volumen de infiltración (mm)	Volumen de Escorrentía (mm)
1	15	0.25	2.30	2.30	0.00
2	30	0.5	2.30	2.18	0.12
3	45	0.75	2.30	2.10	0.20
4	60	1	2.30	1.85	0.45
5	75	1.25	2.30	1.70	0.60
6	90	1.5	2.30	1.65	0.65
7	105	1.75	2.30	1.62	0.68
8	120	2	2.30	1.60	0.70
9	135	2.25	2.30	1.57	0.73
10	150	2.5	2.30	1.55	0.75
11	165	2.75	2.30	1.53	0.77
12	180	3	2.30	1.52	0.78

Fuente: Elaboración propia.

Figura 51

Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°02 en suelo con hojarasca.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32

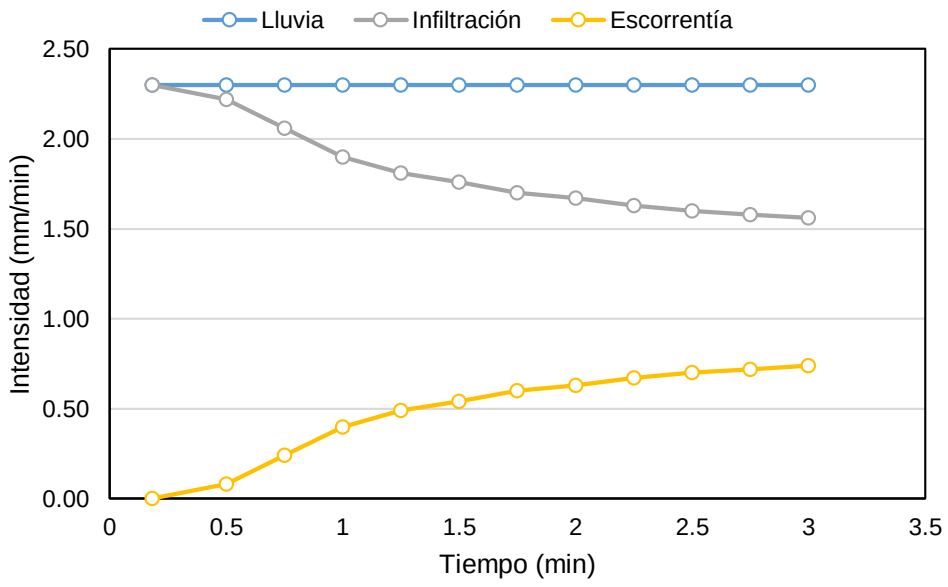
Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°03 en muestra N°04 – suelo con hojarasca.

N°	Tiempo (seg)	Tiempo (min)	Volumen de Lluvia (mm)	Volumen de infiltración (mm)	Volumen de Escorrentía (mm)
1	11	0.1833333	2.30	2.30	0.00
2	30	0.5	2.30	2.22	0.08
3	45	0.75	2.30	2.06	0.24
4	60	1	2.30	1.90	0.40
5	75	1.25	2.30	1.81	0.49
6	90	1.5	2.30	1.76	0.54
7	105	1.75	2.30	1.70	0.60
8	120	2	2.30	1.67	0.63
9	135	2.25	2.30	1.63	0.67
10	150	2.5	2.30	1.60	0.70
11	165	2.75	2.30	1.58	0.72
12	180	3	2.30	1.56	0.74

Fuente: Elaboración propia.

Figura 52

Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°03 en suelo con hojarasca.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33

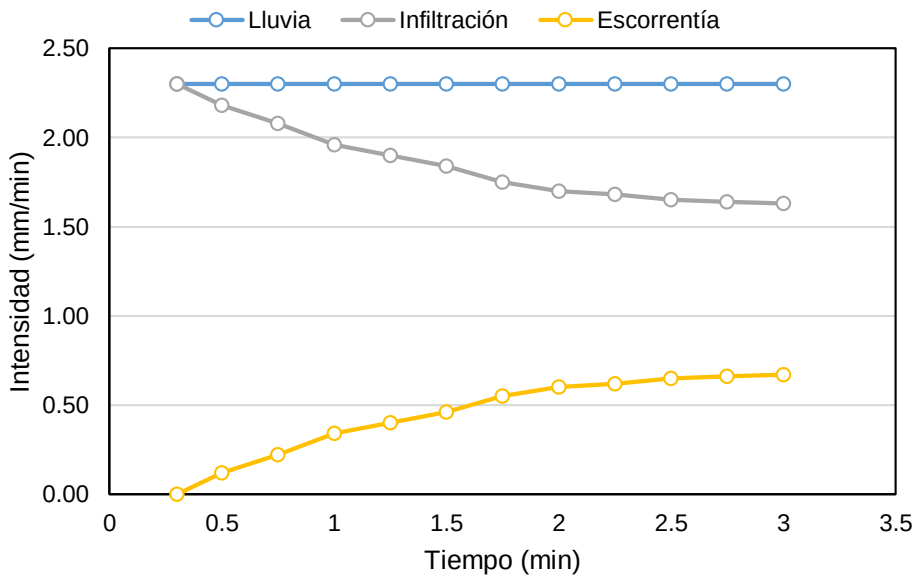
Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°01 en muestra N°05 – suelo con pastizal.

N°	Tiempo (seg)	Tiempo (min)	Volumen de Lluvia (mm)	Volumen de infiltración (mm)	Volumen de Escorrentía (mm)
1	18	0.3	2.30	2.30	0.00
2	30	0.5	2.30	2.18	0.12
3	45	0.75	2.30	2.08	0.22
4	60	1	2.30	1.96	0.34
5	75	1.25	2.30	1.90	0.40
6	90	1.5	2.30	1.84	0.46
7	105	1.75	2.30	1.75	0.55
8	120	2	2.30	1.70	0.60
9	135	2.25	2.30	1.68	0.62
10	150	2.5	2.30	1.65	0.65
11	165	2.75	2.30	1.64	0.66
12	180	3	2.30	1.63	0.67

Fuente: Elaboración propia.

Figura 53

Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°01 en suelo con pastizal.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34

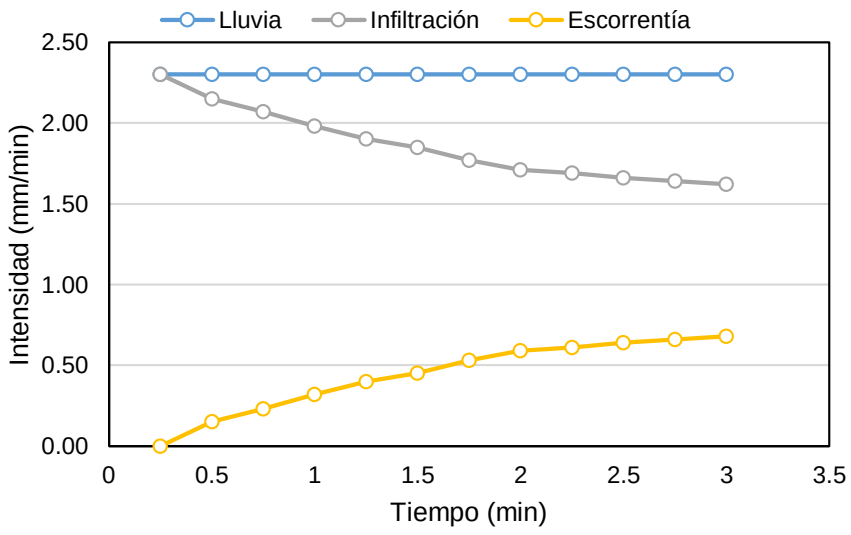
Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°02 en muestra N°05 – suelo con pastizal.

N°	Tiempo (seg)	Tiempo (min)	Volumen de Lluvia (mm)	Volumen de infiltración (mm)	Volumen de Escorrentía (mm)
1	15	0.25	2.30	2.30	0.00
2	30	0.5	2.30	2.15	0.15
3	45	0.75	2.30	2.07	0.23
4	60	1	2.30	1.98	0.32
5	75	1.25	2.30	1.90	0.40
6	90	1.5	2.30	1.85	0.45
7	105	1.75	2.30	1.77	0.53
8	120	2	2.30	1.71	0.59
9	135	2.25	2.30	1.69	0.61
10	150	2.5	2.30	1.66	0.64
11	165	2.75	2.30	1.64	0.66
12	180	3	2.30	1.62	0.68

Fuente: Elaboración propia.

Figura 54

Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°02 en suelo con pastizal.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35

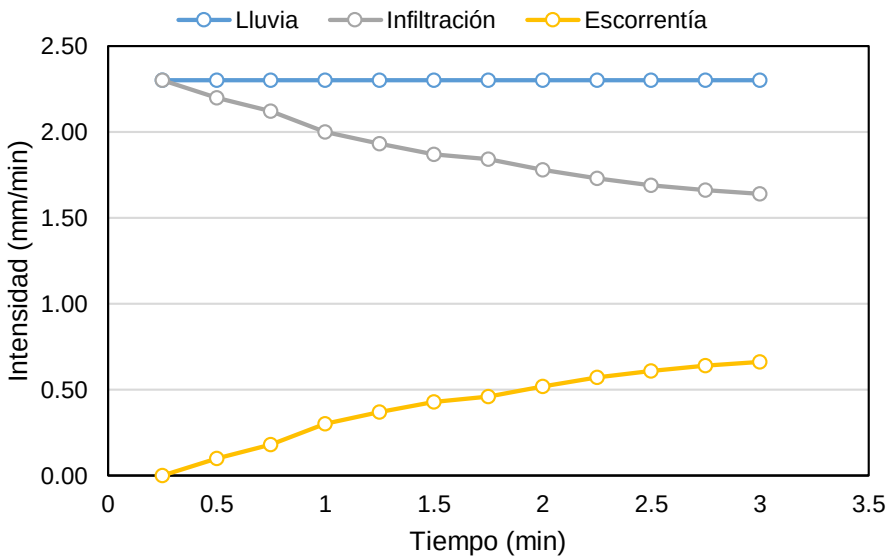
Resultados de ensayo de simulación de lluvias N°03 en muestra N°05 – suelo con pastizal.

N°	Tiempo (seg)	Tiempo (min)	Volumen de Lluvia (mm)	Volumen de infiltración (mm)	Volumen de Escorrentía (mm)
1	15	0.25	2.30	2.30	0.00
2	30	0.5	2.30	2.20	0.10
3	45	0.75	2.30	2.12	0.18
4	60	1	2.30	2.00	0.30
5	75	1.25	2.30	1.93	0.37
6	90	1.5	2.30	1.87	0.43
7	105	1.75	2.30	1.84	0.46
8	120	2	2.30	1.78	0.52
9	135	2.25	2.30	1.73	0.57
10	150	2.5	2.30	1.69	0.61
11	165	2.75	2.30	1.66	0.64
12	180	3	2.30	1.64	0.66

Fuente: Elaboración propia.

Figura 55

Gráfica de ensayo de simulación de lluvias N°03 en suelo con pastizal.



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de ensayos de simulación de lluvias en suelo arcilloso se muestran en la Tabla 36, la escorrentía inicia a los 15 segundos, tiempo en el cual la cantidad de lluvia caída era de 0.575 mm. El volumen de lluvia fue de 2.8 litros, el cual indica un volumen de escorrentía promedio de 1310 mL, donde la cantidad de suelo erosionado fue de 12 gramos, medición hecha por medio del secado de la muestra al horno por 24 horas a una temperatura de 105°C, del cual se obtiene un porcentaje promedio de escorrentía del 45%.

Tabla 36

Resultados de ensayo de simulación de lluvias en muestra N°01 – suelo arcilloso.

Ensayo N°	Pendiente (m/m)	Volumen utilizado (L)	Tiempo de simulación (seg)	Volumen de escorrentía (mL)	Suelo erosionado (g)
1	10.00%	2.8	180.00	1,300	14
2	10.00%	3.0	180.00	1,280	11
3	10.00%	2.9	180.00	1,350	12

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados de ensayos de simulación de lluvias en suelo afirmado se muestran en la Tabla 37, la escorrentía inicia a los 16 segundos, tiempo en el cual la cantidad de lluvia caída era de 0.613 mm. El volumen de lluvia fue de 3 litros, el cual indica un volumen de escorrentía promedio de 682 mL, donde la cantidad de suelo erosionado fue de 7 gramos, medición hecha por medio del secado de la muestra al horno por 24 horas a una temperatura de 105°C, del cual se obtiene un porcentaje promedio de escorrentía del 23%.

Tabla 37

Resultados de ensayo de simulación de lluvias en muestra N°02 – suelo afirmado.

Ensayo N°	Pendiente (m/m)	Volumen utilizado (L)	Tiempo de simulación (seg)	Volumen de escorrentía (mL)	Suelo erosionado (g)
1	10.0%	3.05	180.00	715	10

2	10.0%	3.00	180.00	650	8
3	10.0%	3.00	180.00	682	8

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados de ensayos de simulación de lluvias en suelo con vegetación ligera se muestran en la Tabla 38, la escorrentía inicia a los 14 segundos, tiempo en el cual la cantidad de lluvia caída era de 0.536 mm. El volumen de lluvia fue de 2.98 litros, el cual indica un volumen de escorrentía promedio de 488 mL, donde la cantidad de suelo erosionado fue de 8 gramos, medición hecha por medio del secado de la muestra al horno por 24 horas a una temperatura de 105°C, del cual se obtiene un porcentaje promedio de escorrentía del 16%.

Tabla 38

Resultados de ensayo de simulación de lluvias en muestra N°03 – suelo con vegetación ligera.

Ensayo N°	Pendiente (m/m)	Volumen utilizado (L)	Tiempo de simulación (seg)	Volumen de escorrentía (mL)	Suelo erosionado (g)
1	10.0%	2.90	180.00	510	6
2	10.0%	3.04	180.00	480	9
3	10.0%	3.01	180.00	475	8

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados de ensayos de simulación de lluvias en suelo con hojarasca se muestran en la Tabla 39, la escorrentía inicia a los 12 segundos, tiempo en el cual la cantidad de lluvia caída era de 0.46 mm. El volumen de lluvia fue de 3.02 litros, el cual indica un volumen de escorrentía promedio de 500 mL, donde la cantidad de suelo erosionado fue de 12 gramos, medición hecha por medio del secado de la muestra al horno por 24 horas a una temperatura de 105°C, del cual se obtiene un porcentaje promedio de escorrentía del 17%.

Tabla 39

Resultados de ensayo de simulación de lluvias en muestra N°04 – suelo con hojarasca.

Ensayo N°	Pendiente (m/m)	Volumen utilizado (L)	Tiempo de simulación (seg)	Volumen de escorrentía (mL)	Suelo erosionado (g)
1	10.0%	3.00	180.00	910	9
2	10.0%	3.05	180.00	936	8
3	10.0%	3.00	180.00	905	8

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados de ensayos de simulación de lluvias en suelo con hojarasca se muestran en la Tabla 40, la escorrentía inicia a los 16 segundos, tiempo en el cual la cantidad de lluvia caída era de 0.61 mm. El volumen de lluvia fue de 3 litros, el cual indica un volumen de escorrentía promedio de 597 mL, donde la cantidad de suelo erosionado fue de 11 gramos, medición hecha por medio del secado de la muestra al horno por 24 horas a una temperatura de 105°C, del cual se obtiene un porcentaje promedio de escorrentía del 20%.

Tabla 40

Resultados de ensayo de simulación de lluvias en muestra N°05 – suelo con pastizal.

Ensayo N°	Pendiente (m/m)	Volumen utilizado (L)	Tiempo de simulación (seg)	Volumen de escorrentía (mL)	Suelo erosionado (g)
1	10.0%	3.00	180.00	615	7
2	10.0%	3.00	180.00	585	6
3	10.0%	3.00	180.00	590	9

Fuente: Elaboración Propia.

4.3. Prueba de análisis de varianza.

Se trabaja con el análisis de varianza (ANOVA) para comparar las medias entre los modelos físicos de simulación de lluvias y determinar si existen diferencias significativas entre ellas. Se plantea los siguientes enunciados:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$.

H_1: No todas las varianzas son iguales.

La regla de decisión de esta prueba es, se rechaza la hipótesis nula si el p-valor es menor al nivel de significancia (5%).

Tabla 41

Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA).

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	gl	Promedio de los cuadrados	F	Sign.
Entre grupos	1399659	4	349914.8	558.37	0.000
Dentro de los grupos	6266.67	10	626.67		
Total	1405926	14			

Nota. Resultados obtenidos del software PSPP.

En la Tabla 41 se observa la comparación de las varianzas en la determinación del caudal de escorrentía, donde la prueba señaló un p-valor de 0.000, ya que este valor es menor que el nivel de significancia (5%), seguimos la regla de decisión por lo que rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna, es decir, la varianza de cada grupo es diferente entre sí, por tanto no son iguales, existen diferencias significativas entre cada grupo.

4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

1. Eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano.

Los estudios de campo realizados en el campus universitario permitieron identificar deficiencias en la eficiencia del sistema de drenaje pluvial existente del campus universitario. La combinación de factores (cobertura del suelo con vegetación,

tipo de suelo, pendiente, simulación de lluvias intensas), sumado a la baja permeabilidad del suelo y pendientes bajas, ocasiona que el terreno pierda parcialmente su capacidad de infiltrar el caudal hacia el subsuelo, favoreciendo el encharcamiento y acumulación de agua en sectores sin posibilidad de drenaje, indicando una infraestructura insuficiente para eventos extremos. Los coeficientes de escorrentía obtenidos y calibrados de forma experimental, con una pendiente promedio de 0.9%, para suelo arcilloso fue: C1=0.45; para suelo granular: C2=0.23; para suelo con vegetación ligera: C3=0.16; para suelo con hojarasca: C4=0.21; y para suelo de pastizal: C5=0.20.

Esto se comparó y discutió con los coeficientes de escorrentía propuestos por el MTC, donde siguiendo el método racional para estimación de caudales, con una pendiente del terreno media (<5%) y suelo permeable, considera para suelo con vegetación ligera: C=0.25, el cual es diferente del resultado obtenido experimentalmente; para suelo con hierba: C=0.20, el cual es similar al resultado obtenido experimentalmente, y para suelo sin vegetación: C=0.40, el cual es diferente del resultados obtenido experimentalmente en la investigación.

2. Influencia del relieve en la eficiencia del drenaje pluvial urbano.

El análisis de las características topográficas del terreno y la información geoespacial evidenció que la baja pendiente del terreno (S= 0.9%) y la existencia de zonas bajas que, sumado a la baja permeabilidad del suelo, contribuyen significativamente a las inundaciones por eventos extremos de precipitación en sectores sin posibilidad de drenaje. Aprovechando la morfología del terreno, se observó que las zanjas cubiertas con vegetación y los reservorios de laminación son utilizados adecuándose a la morfología del terreno para reducir la acumulación de aguas pluviales, esto destaca la necesidad de integrar el análisis geoespacial en el diseño de drenaje pluvial urbano en el campus universitario.

Además, el estudio de mecánica de suelos confirma la presencia de suelos arcillosos con alta plasticidad, y una baja capacidad de infiltración del suelo en el

campus universitario, ya que en los modelos físicos de simulación de lluvias se observó que, con una pendiente del terreno de 10%, y una intensidad de lluvia controlada de 2.3 mm/min, a los 15 segundos de iniciar el ensayo comienza la escorrentía superficial. Estos valores son críticos para la calibración del modelo hidráulico de drenaje, ya que afectan directamente la escorrentía y la capacidad de drenaje pluvial del sistema para llevar las aguas pluviales a su destino. De esta manera, el modelo físico reafirma la baja capacidad de infiltración de los suelos en el campus universitario, en su mayoría suelos arcillosos de alta plasticidad y material orgánico limoso, lo que sugiere la importancia de considerar adecuadamente la geotecnia en el diseño de drenajes urbanos sostenibles en la universidad.

3. Implementación de modelos físicos de simulación de lluvias y su impacto en la gestión del drenaje pluvial.

La implementación de modelos físicos de simulación de lluvias fue crucial para la determinación de los caudales de escorrentía y evaluar su impacto en la eficiencia del sistema de drenaje pluvial existente en el campus universitario. Los resultados indican que la intensidad de lluvia utilizada fue de 2.3 mm/min, con un diámetro de 1 mm, un volumen promedio de 3.00 L en la regadera del simulador de lluvias, un tiempo de simulación de 3 minutos, temperatura del agua en 23 grados Celsius y una pendiente de 10%.

Se discutió y comparó con la investigación de Peña & Rodríguez (2020) quienes desarrollaron una investigación experimental de laboratorio y utilizaron una intensidad de lluvia promedio de 2.97 L/min, con un diámetro de 2 mm, un volumen promedio de 3.00 L en la regadera del simulador, un tiempo de simulación de 1 minuto, temperatura del agua de 18 grados Celsius y una pendiente de 30 grados.

Peña & Rodríguez (2020) escogieron una muestra de material granular compactada en laboratorio con energía estándar, y obtuvo el volumen de escorrentía de 456 mL y la cantidad de suelo erosionado de 22 gramos. Esto se discutió con los resultados de esta investigación, ya que se observa la diferencia en los factores

utilizados (pendiente, intensidad de lluvia, diámetro de gota), al tener una mayor pendiente provoca que las gotas de agua que impactan en el suelo sin cobertura vegetal dispersen pequeñas partículas y estas puedan ser transportadas por el agua que fluye en la superficie hacia el punto de descarga, es decir, la pendiente más pronunciada genera mayor cantidad de suelo erosionado en la simulación de lluvia.

En otro caso, Monge & Aguilar (2008) señalaron algunos antecedentes, en una prueba con pendiente del terreno de 52.5%, un suelo con cobertura vegetal de 5%, un tiempo de simulación de lluvia de 13 minutos y una intensidad de lluvia de 3.7 mm/min, se obtuvo una pérdida de suelo erosionado de 14.4 gramos, donde se observa que la escorrentía inicia a los 48 segundos, la escorrentía alcanza su punto estable a los 7 minutos de prueba donde empieza a descender significativamente. Esto se comparó y discutió con los resultados de esta investigación, donde la prueba con una pendiente de 10%, un suelo con cobertura vegetal de 70% aproximadamente, un tiempo de simulación de lluvia de 3 minutos y una intensidad de lluvia de 2.3 mm/min, se obtuvo una pérdida de suelo erosionado de 9 gramos, y se observa que la escorrentía inicia a los 15 segundos. Se observa la diferencia en los factores utilizados (pendiente del terreno, intensidad de lluvia, porcentaje de cobertura vegetal del suelo, tiempo de simulación), se aprecia que al tener una mayor pendiente provoca que las gotas de agua que impactan en el suelo dispersen pequeñas partículas sueltas del material y estas puedan ser transportadas por el agua que fluye en la superficie hacia el punto de descarga, es decir, la pendiente pronunciada genera una cantidad de suelo erosionado significativa lo cual es coherente con los resultados de esta investigación. Además, se observa que la escorrentía inicia más temprano que en otras condiciones, lo cual sugiere que al tener una pendiente más baja las aguas pluviales tienden a infiltrarse al subsuelo lo que favorece la saturación del suelo y da inicio a una escorrentía más temprana.

4. Implementación de sistemas de drenaje urbano sostenibles.

Sobre los sistemas de drenaje urbano sostenible implementados, se discutió con otros tipos de sistemas investigados por otros autores. Por ejemplo, para Robles (2025) en su estudio consideró tres tipos de sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS): los jardines filtrantes, los pavimentos permeables y el tanque de retención, concluyendo que con la implementación de los tres SUDS con una estación de bombeo, permitió reducir los caudales pico en los puntos de descarga del sistema, siendo la mejor alternativa la implementación del tanque de retención en un periodo de retorno de 25 años.

Así mismo, Lezama & Rodríguez (2020) en su estudio exhaustivo acerca de las principales técnicas de sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS) en el mundo, encontró mediante la técnica de revisión bibliográfica que el sistema más aplicado a nivel mundial son los pavimentos permeables, los techos verdes y los jardines de lluvia. Esto se discutió con los resultados observados en esta investigación, ya que se observó que la infraestructura de las aulas, los pabellones y oficinas administrativas y académicas de la universidad tienen techo de concreto que conduce las aguas pluviales a unos tubos de descarga ubicados estratégicamente para evitar el encharcamiento, colocados por encima del nivel de piso terminado del techo (NTT) atravesando los parapetos y sardineles, estas aguas pluviales descargan directamente en los jardines del primer nivel. En la investigación se encontró que el principal sistema utilizado para mitigar los problemas de inundación en la universidad son los jardines de retención, los cuales permiten llevar una parte del caudal hacia el subsuelo y otra parte por escorrentía hacia su destino.

CONCLUSIONES

- El efecto de la simulación de lluvias en la determinación del caudal de escorrentía tiene un impacto significativo en la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano en la Universidad Nacional de Ucayali, ya que los caudales de escorrentía determinados y calibrados de forma experimental (para suelo arcilloso: C1=0.45; para suelo granular: C2=0.23; para suelo con vegetación ligera: C3=0.16; para suelo con hojarasca: C4=0.30; para suelo de pastizal: C5=0.20), con la intensidad de las lluvias obtenida del hietograma de diseño, permite estimar el caudal deseado en la cuenca al variar los factores (cobertura del suelo con vegetación, tipo de suelo, pendiente, intensidad de lluvia) de la cuenca urbana del campus universitario, es decir, permite elegir la combinación de factores más eficiente para el sistema de drenaje pluvial.
- Las características topográficas del terreno influyen de manera significativa en la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano de la Universidad Nacional de Ucayali, ya que el terreno del campus universitario (pendiente promedio S = 0.9%) presenta zonas bajas que, sumado a la baja permeabilidad del suelo, favorecen el encharcamiento y acumulación de agua en sectores sin posibilidad de drenaje, indicando una infraestructura insuficiente para eventos extremos, esto sugiere que, al variar los factores (pendiente, permeabilidad) en el diseño del sistema, se puede lograr un sistema de drenaje pluvial más eficiente.
- La implementación de modelos físicos de simulación de lluvias influye significativamente en la evaluación de la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano existente en el campus universitario, ya que la prueba de análisis de varianza demostró que la varianza de cada grupo es diferente entre sí, con un nivel de significancia menor de 0.01, es decir, que los modelos físicos de simulación de lluvias estudiados tienen un comportamiento diferente respecto a la capacidad de

infiltración y escorrentía de precipitaciones pluviales, de los cuales se concluye que el suelo con vegetación ligera (T3) y el suelo con pastizal (T5) presentaron mayor capacidad de infiltración y menor escorrentía superficial en lluvias con una intensidad de 2.30 mm/min y duración corta (3 minutos).

- La implementación de sistemas de drenaje urbano sostenibles tiene un impacto significativamente positivo en la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano del campus universitario, ya que, el modelamiento hidráulico del sistema, con la implementación de jardines, depósitos de filtración y zanjas vegetales, obtuvo una reducción hasta un 64% de la acumulación de agua en zonas inundables en el campus universitario.

RECOMENDACIONES O SUGERENCIAS

- Se sugiere a las autoridades de la Universidad Nacional de Ucayali la priorización e intervención de recuperación de los espacios del campus universitario en zonas inundables, bajo el marco normativo de la OS.060 y un enfoque ambiental, con la implementación de estrategias basadas en sistemas de drenaje urbano sostenible, con bajo impacto ambiental, como jardines de lluvia, pavimentos permeables, entre otros, para reducir los encharcamientos y las inundaciones por precipitaciones.
- Para futuras investigaciones, proyectar y aplicar la metodología de trabajo en el campus y en otros sectores de la región, utilizando criterios adecuados de gestión de las aguas pluviales para la región, modelamiento hidráulico, IDF, integración de la información geoespacial y geotécnica en el diseño de sistemas de drenaje pluvial urbano.
- Se recomienda a los estudiantes de la escuela profesional de ingeniería civil, la utilización de modelos físicos de simulación de lluvias en lugares geográficos que tengan intensidades de lluvia promedio entre 2 mm/min hasta 6 mm/min de acuerdo a las especificaciones técnicas del equipo, ya que permite determinar información significativa en condiciones de campo como en laboratorio, además de investigar el impacto de otros factores en la búsqueda de sistemas de drenaje pluvial más eficientes y una mejor gestión de las aguas pluviales.
- Se recomienda la utilización de pluviómetros y el monitoreo continuo en las zonas inundables del campus universitario para obtener mayor precisión de la información pluviométrica de estas zonas, lo cual mediante la implementación de estos equipos permitirá la validación y ajuste de los parámetros hidrológicos del modelo físico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aranda Monsalve, R. L. (2009). *Simulación continua de lluvias para el diseño de sistemas de drenaje urbano* [Tesis de maestría]. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile. https://doi.org/10.7764/tesisUC/ING/1352

Bermúdez-Valero, M. L. (2021). *Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en América Latina: ¿una solución basada en la naturaleza con criterio social?* Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/59039/Trabajo_de_Grado.pdf?sequence=1

Beven, K. (2012). *Rainfall-Runoff Modelling: The Primer*. John Wiley & Sons.

Bonilla Granados, C. A., Ramón Valencia, J. D. & Ramón Valencia, J. A. (2022). Sistemas de drenaje urbano – sumideros de captación de aguas lluvias guía básica de implementación de diferentes metodologías existentes en el diseño de sumideros mediante el desarrollo de un caso de estudio. Pamplona, Colombia: Sello Editorial UNIPAMPLONA. https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_10/recursos/2022/documentos/06062022/libro_sistemadrenaje.pdf

Chow, V. T., Maidment, D. R. & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill.

Chow, V. T. (2000). *Hidrología Aplicada*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.

Chuquimango Chilón, O. (2022). *Evaluación del sistema de drenaje pluvial del sector La Molina distrito de Baños del Inca – Cajamarca* [Tesis de pregrado]. Cajamarca, Perú: Repositorio Digital de la Universidad Nacional de Cajamarca (UNC). https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5276

Coronel Armas, L. D. (2014). *Modelo de simulación continua de lluvias en la determinación del caudal de escorrentía de la ciudad Nueva Fuerabamba – Apurímac* [Tesis de pregrado]. Huancayo, Perú: Repositorio Digital de la Universidad Nacional del Centro del Perú. http://hdl.handle.net/20.500.12894/429

Fattorelli, S. Y. (2011). *Diseño Hidrológico*. Zaragoza, España: World Water Assessment Programme (WWAP), UNESCO.

García Del Villar, C. (2020). *Escorrentía urbana: sistemas de recogida y drenaje* [Trabajo de pregrado]. España: Universidad Politécnica de Madrid.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill: México, D.F.

IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.

Lara Tineo, M. G. (2022). *Análisis comparativo de los softwares WaterCAD y SWMM para el diseño del sistema de drenaje pluvial* [Tesis de pregrado]. Repositorios Latinoamericanos: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. http://hdl.handle.net/20.500.12423/5135

Lezama Tisnado, S. J. & Rodríguez De La Sota, M. M. (2020). *Una revisión de los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS) aplicados a nivel mundial* [Tesis de pregrado]. Trujillo, Perú: Repositorio Digital Institucional de la Universidad César Vallejo (UCV). https://hdl.handle.net/20.500.12692/56412

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2011). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. Lima, Perú: Editorial Macro.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Norma OS.060 Drenaje Pluvial Urbano – Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima, Perú: Normas Legales, Diario El Peruano.

Monge Jeremías, R. & Aguilar Pereira, J. F. (2008). *Manual de operación del simulador de lluvia para la cuantificación de la infiltración, escorrentía y erosión de suelos*. San José: Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

Moreno Pulido, P. A., Roa Granja, L. J. & Vela Prieto, S. J. (2021, julio, 30). *Análisis para la implementación de sistema urbano de drenaje sostenible para mitigación de riesgo por rebosamiento del alcantarillado en el barrio Santa Cecilia de la localidad de Suba* [Tesis de pregrado]. Bogotá, Colombia: Repositorio Institucional de la Universidad Piloto de Colombia. http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/10917

Organización Meteorológica Mundial. (2020). *Gestión de los recursos hídricos*. https://wmo.int/es/site/frontline-of-climate-action/priorities/water-resource-management

Palomino Remón, P. & Hernández Fernández, A. F. (2023). *Criterios de diseño de canaletas de techos para drenaje urbano en la ciudad de Huancayo* [Tesis de pregrado]. Lima, Perú: Repositorio Digital de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas: https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/670220/Palomino_RP.pdf?sequence=1

Peña Castañeda, E. C. & Rodríguez Muñoz, N. A. (2020). *Modelo físico del equipo de simulador de lluvia para medir en el laboratorio la erosión hídrica por escorrentía superficial en el suelo*. Repositorio Digital de la Universidad Piloto de Colombia. https://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/9958/Art%C3%ADculo.pdf?sequence=1

Pérez Hurtado, O. F. (2020). *Uso de los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en el Municipio de Paipa* [Tesis de pregrado]. Repositorio Digital de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia. https://repositorio.uptc.edu.co/server/api/core/bitstreams/8d182d9e-bcb0-475d-974b-bb55500c19e9/content

Ramírez Quispe, R. M. (2019). *Simulación de lluvia escorrentía para el óptimo funcionamiento de estructuras de captación en la cuenca urbana del centro histórico de Huancavelica* [Tesis de pregrado]. Huancavelica, Perú: Repositorio Digital de la Universidad Nacional de Huancavelica. https://repositorio.unh.edu.pe/items/bf9e399f-6b75-456f-8523-c55b4949819f

Robles Rodríguez, C. P. (2025). *Efecto de la implementación de tres sistemas de drenaje urbano sostenible en el caudal de descarga en la avenida Hoyos Rubio, Cajamarca-2023* [Tesis de pregrado]. Cajamarca, Perú: Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional de Cajamarca. http://hdl.handle.net/20.500.14074/8103

Rojas Vasquez, D. R. (2021). *Sistema de drenaje urbano sostenible entre la Av. Nuevo Cajamarca y Jr. Yurimagyas, Cajamarca 2021* [Tesis de pregrado]. Cajamarca, Perú: Repositorio Digital de la Universidad Privada del Norte (UPN). https://repositorio.upn.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/ac40b6ca-b051-418c-ba6d-399a1bfd5236/content

Román Claros, W. G. (2018). Pautas para elaborar proyecto de Tesis y trabajos de investigación en ingeniería (Parte I). Edit. UNU-UNMSM-2018.

Trujillo López, A. & Quiroz Lasprilla, D. P. (2013). *Pavimentos porosos utilizados como sistemas alternativos al drenaje urbano*. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. https://sf2217758f40e4116.jimcontent.com/download/version/1713019989/module/12787327331/name/TrujilloLopezAlejandra2013.pdf

Tucci, C. (2007). *Urban Flood Management*. CRC Press.

Villón Bejár, M. (2002). *Hidrología*. Cartago, Costa Rica: Taller de Publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Zita Fernandes, A. (s.f.). *Ciclo del Agua*. Enciclopedia Significados. https://www.significados.com/ciclo-del-agua/

ANEXOS

Anexo N°01 – Matriz de consistencia

Título: "DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE ESCORRENTÍA PARA EL DRENAJE PLUVIAL URBANO MEDIANTE LA SIMULACIÓN DE LLUVIAS EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI"

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	INSTRUMENTO	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL • ¿Cómo influye el modelo de simulación de lluvias en la determinación del caudal de escorrentía y la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano en la Universidad Nacional de Ucayali? PROBLEMAS ESPECÍFICOS • ¿Qué efecto tienen las características topográficas del terreno en la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano de la Universidad Nacional de Ucayali?	OBJETIVO GENERAL • Determinar el efecto de la simulación de lluvias en la determinación del caudal de escorrentía y la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano en la Universidad Nacional de Ucayali. OBJETIVOS ESPECÍFICOS • Analizar las características topográficas del terreno y su influencia en la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano de la Universidad Nacional de Ucayali. • Analizar el efecto de la implementación de	HIPOTESIS GENERAL • La simulación de lluvias tiene un efecto significativo en la determinación del caudal de escorrentía y la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano en la Universidad Nacional de Ucayali. HIPOTESIS ESPECÍFICAS • Las características topográficas del terreno tienen un efecto significativo en la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano en la Universidad Nacional de Ucayali.	**Variable independiente:** Determinación del caudal de escorrentía	Características topográficas	Pendiente	Razón continua	Curvas de nivel, QGIS	**Tipo:** Aplicada **Enfoque:** Cuantitativo. **Nivel:** Descriptiva-explicativa **Diseño de investigación:** Pre experimental de laboratorio, de corte transversal. **Población:** Cuenca urbana del
				Estudio de Mecánica de Suelos	Granulometría Límites de Atterberg	Razón continua	Tamices, balanza y probeta graduada	
				Estudio Hidrológico	Precipitación pluvial	Razón continua	Data meteorológica de estación del SENAMHI	
				Volumen	Cantidad de material recogida después del ensayo	Razón continua	Probeta graduada	
				Tiempo de simulación	Duración de la simulación de lluvia del ensayo	Razón continua	Cronómetro	
				Caudal de escorrentía	Cantidad de agua que se desplaza por la	Razón continua	Simulador de lluvias, probeta	

• ¿Qué efecto tiene el análisis y modelos físicos de simulación de lluvias en la evaluación de la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano existente del campus universitario? • ¿Qué efecto tiene la implementación de sistemas de drenaje urbano sostenibles (SUDS) en la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano existente del campus universitario?	modelos físicos de simulación de lluvias en la evaluación de la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano existente del campus universitario. • Evaluar el efecto de la implementación de sistemas de drenaje urbano sostenibles (SUDS) en la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano del campus universitario.	• La implementación de modelos físicos de simulación de lluvias influye en la evaluación de la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano existente del campus universitario. • La implementación de sistemas de drenaje urbano sostenibles (SUDS) tiene un impacto positivo en la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano del campus universitario.	**Variable dependiente:** Eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano	Carga hidráulica Diseño del sistema de drenaje pluvial urbano	superficie de muestra Coeficiente de escorrentía Intensidad de precipitación Área de cuenca Porcentaje de eficiencia	Razón continua Razón continua	graduada y cronómetro H-Canales SWMM	campus universitario **Muestra:** Sub cuencas y 05 tipos de superficies de escorrentía

Anexo N°02 – Instrumento de recolección

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

GUÍA DE OBSERVACIÓN N°01

Proyecto: DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE ESCORRENTÍA PARA EL DRENAJE PLUVIAL URBANO MEDIANTE LA SIMULACIÓN DE LLUVIAS EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

Autor: Silvia Melany Ramirez Pérez

Instrucción: Se va registrar la observación y medición de las variables en las pruebas de los modelos físicos de simulación de lluvias, según lo indicado respectivamente, de acuerdo al diseño de la investigación.

N°	Código	Tipo de suelo	Pendiente, en %	Volumen, en L	Tiempo de simulación, en seg	Caudal de escorrentía, en mL	Suelo erosionado, en g
1	T1	Suelo arcilloso	10.0%	2.8	180.00	1,300	14
2	T1	Suelo arcilloso	10.0%	3.0	180.00	1,280	11
3	T1	Suelo arcilloso	10.0%	2.9	180.00	1,350	12
4	T2	Suelo granular	10.0%	3.05	180.00	715	10
5	T2	Suelo granular	10.0%	3.00	180.00	650	8
6	T2	Suelo granular	10.0%	3.00	180.00	682	8
7	T3	Suelo con vegetación ligera	10.0%	2.90	180.00	510	6
8	T3	Suelo con vegetación ligera	10.0%	3.04	180.00	480	9
9	T3	Suelo con vegetación ligera	10.0%	3.01	180.00	475	8
10	T4	Suelo con hojarasca	10.0%	3.00	180.00	910	9
11	T4	Suelo con hojarasca	10.0%	3.05	180.00	936	8
12	T4	Suelo con hojarasca	10.0%	3.00	180.00	905	8
13	T5	Suelo con pastizal	10.0%	3.00	180.00	615	7
14	T5	Suelo con pastizal	10.0%	3.00	180.00	585	6
15	T5	Suelo con pastizal	10.0%	3.00	180.00	590	9

Anexo N°03 – Base de datos hidrológicos de la Estación Meteorológica

Manual UNU-SENAMHI

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
Estación Meteorológica UNU-SENAMHI

Estación : PUCALLPA
DEPARTAMENTO: UCAYALI
PROVINCIA: CORONEL PORTILLO
DISTRITO: CALLERÍA
LATITUD: 8° 24' 48" S
LONGITUD: 74° 34' 18" W
ALTITUD: 160 m.s.n.m.
PRECIPITACION 2004-2024 mm

Año/Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2004	116.10	206.50	232.00	385.80	62.00	79.30	186.40	126.90	202.70	132.00	215.70	240.70
2005	81.60	141.30	234.50	203.70	26.00	65.80	5.40	43.80	28.40	210.50	137.40	304.00
2006	133.20	436.90	98.70	249.10	23.70	44.50	29.80	86.00	53.90	161.00	210.00	137.30
2007	49.60	204.40	202.50	112.50	266.80	7.80	16.80	88.30	40.90	172.90	136.00	170.30
2008	403.56	237.50	214.40	227.20	123.30	234.10	75.00	33.40	171.40	177.10	153.80	88.60
2009	434.40	168.20	138.70	295.10	185.40	36.60	27.30	15.20	67.80	170.90	94.20	84.90
2010	75.10	168.80	270.20	234.90	201.90	14.50	64.80	45.80	83.10	75.80	173.10	98.30
2011	204.90	311.80	272.90	165.80	219.40	133.90	33.60	59.90	150.60	260.50	107.20	390.00
2012	137.70	177.80	258.00	109.00	93.50	100.20	74.30	25.20	58.30	157.20	105.70	188.90
2013	234.50	251.00	170.20	95.20	77.30	58.50	65.60	79.30	200.70	191.90	296.20	88.10
2014	180.90	90.90	164.90	246.10	70.50	232.40	34.10	100.10	5.30	233.10	406.90	142.50
2015	109.60	112.10	141.90	272.50	90.10	42.70	94.70	64.60	113.30	140.30	337.20	109.90
2016	78.90	275.50	221.50	132.20	65.20	12.10	41.80	144.90	134.00	163.20	131.20	166.20
2017	633.60	168.30	325.90	61.40	251.90	56.90	30.70	14.20	28.50	127.80	192.60	201.50
2018	131.30	277.70	126.50	248.80	169.30	58.00	132.70	103.40	57.70	251.10	251.10	36.60
2019	329.20	239.80	267.30	208.40	85.50	126.50	32.30	16.80	53.60	128.70	302.50	306.10
2020	243.30	180.70	387.60	180.00	157.10	188.40	217.00	24.80	50.60	132.00	178.80	377.10
2021	119.70	375.70	120.20	125.80	150.30	93.70	32.50	75.60	61.80	80.80	156.50	143.20
2022	111.90	326.50	185.20	190.50	151.00	66.90	70.00	57.00	78.90	119.50	248.50	248.50
2023	161.80	115.30	250.80	43.70	103.70	41.40	77.60	20.00	92.20	229.00	267.20	260.50
2024	99.90	280.20	71.10	109.10	146.80	28.20	31.00	50.50	42.10	84.30	155.80	195.70
2025	173.90	138.90	234.20	209.40	158.10	160.30	6.20	19.00	37.80	277.90		

Anexo N°04 – Panel fotográfico



Fotografía N°01 – Calibración de instrumentos en campo.



Fotografía N°02 – Equipo simulador de lluvias.



Fotografía N°03 – Excavación de zanja para recipiente de recolección de muestra.



Fotografía N°04 – Colocación de armazón del terreno y canaleta de recolección.



Fotografía N°05 – Verificación de balanza Gramera y depósito de recolección.



Fotografía N°06 – Ajuste y medición de altura de soporte de regadera.



Fotografía N°07 – Nivelación de soporte de regadera.



Fotografía N°08 – Llenado de regadera con agua.



Fotografía N°09 – Campus universitario – zonas con abundante cobertura vegetal.



Fotografía N°10 – Campus universitario – zonas críticas inundables con arbustos.



Fotografía N°11 – Corredor principal – Cunetas abiertas lateral izquierdo 0.15 x 0.25 m.



Fotografía N°12 – Corredor principal – Cunetas abiertas lateral derecho 0.15 x 0.25 m.



Fotografía N°13 – Cunetas laterales en la sección de vía.



Fotografía N°14 – Campus universitario – plataformas afirmado de suelos granulares.



Fotografía N°15 – Campus universitario – zonas críticas con imposibilidad de drenaje.



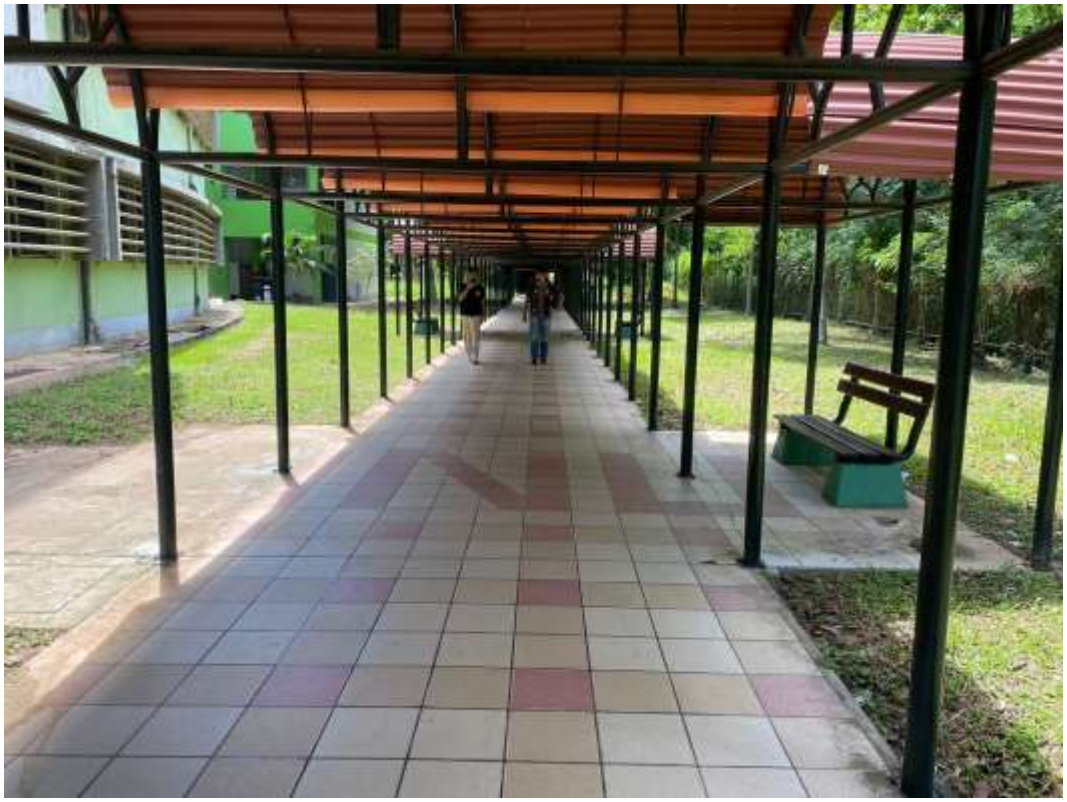
Fotografía N°16 – Obras de arte – Cuneta con rejilla metálica conectado al drenaje.



Fotografía N°17 – Vista parcial lateral y posterior de biblioteca – zona crítica inundable.



Fotografía N°18 – Campus universitario – zonas de jardines cerca de aulas.



Fotografía N°19 – Corredor principal – zonas críticas por falta de obras de drenaje.



Fotografía N°20 – Campus universitario – zonas de jardines cerca de veredas peatonales.



Fotografía N°21 – Campus universitario – zona de jardines cerca de oficinas administrativas



Fotografía N°22 – Campus universitario – zonas de jardines cerca de veredas peatonales.



Fotografía N°23 – Campus universitario – rejillas metálicas para drenaje de jardines.



Fotografía N°24 – Campus universitario – áreas verdes cerca de estacionamientos.



Fotografía N°25 – Pabellón de aulas – sistema de drenaje pluvial.



Fotografía N°26 – Campus universitario – zonas con poca cobertura vegetal.



Fotografía N°27 – Campus universitario – zonas con hojarasca.



Fotografía N°28 – Campus universitario – zonas críticas inundables cerca del centro de salud.



Fotografía N°29 – Losa deportiva de concreto – zona crítica inundable.



Fotografía N°30 – Losa deportiva de concreto – zona crítica inundable.



Fotografía N°31 – Losa deportiva de Grass – zona crítica inundable.



Fotografía N°32 – Laboratorios – zona crítica inundable.



Fotografía N°33 – Losa deportiva “Motelito” – zona crítica inundable.



Fotografía N°34 – Obra de arte – alcantarilla de drenaje.



Fotografía N°35 – Zonas críticas cerca de losa deportiva con cobertura vegetal.



Fotografía N°36 – Obras de arte – rejilla metálica en sección de vía.



Fotografía N°37 – Campus universitario – áreas verdes cerca de centro de salud.



Fotografía N°38 – Obras de arte – ventanilla de drenaje en sección de vía.



Fotografía N°39 – Herbario de la universidad – zona con vegetación y árboles.



Fotografía N°40 – Obra de arte – alcantarilla de drenaje.

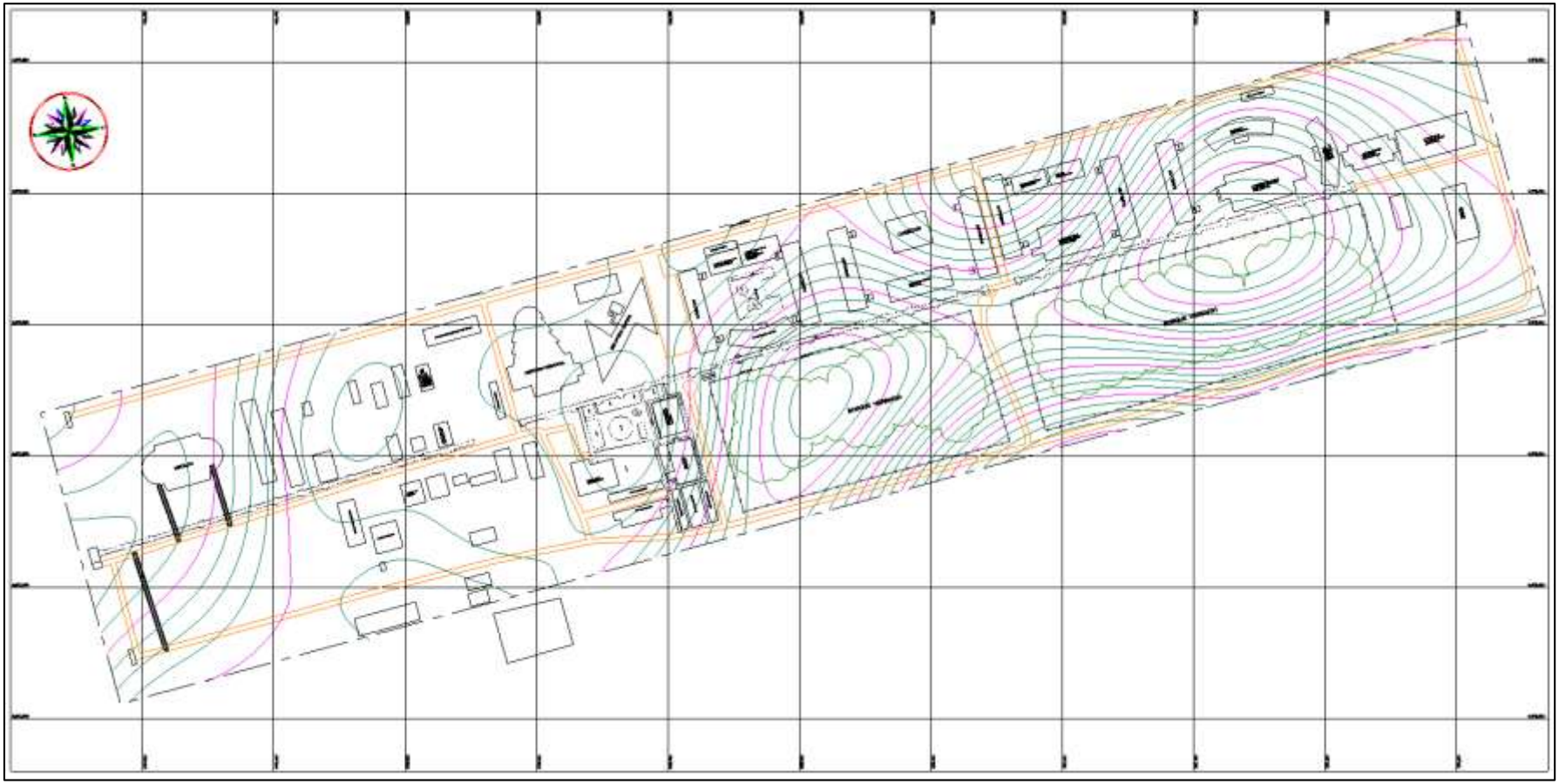


Fotografía N°41 – Campus universitario – Escuela profesional de ingeniería civil.



Fotografía N°42 – Áreas verdes cerca de oficinas administrativas y académicas.

Anexo N°05 – Planos



Universidad Nacional de Ucayali **Facultad de Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Civil** **Escuela Profesional de Ingeniería Civil**		**PLANO DE TOPOGRAFÍA**	T-01
Fecha: Setiembre de 2025	Autor: Silvia Melany Ramírez Pérez	**CURVAS DE NIVEL**	