

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL  
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y  
CIVIL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS:**

**“Planteamiento de los SUDS en la eficiencia del sistema  
de drenaje pluvial urbano de la ciudad de Kimbiri”**

Para optar el título profesional de:

**INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:

**Bach. Luis Herber HUAMANI HUAYANAY**

ASESOR:

**Mg. Ing. Jaime BENDEZU PRADO**

**AYACUCHO - PERÚ**

**2025**

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se basa en la aplicación de los SUDS como celdas de biorretención, zanja de infiltración y cunetas verdes en la capital del Distrito de Kimbiri, con un periodo de retorno de precipitaciones pluviales de 2 años y una duración de 55 minutos. Mediante el modelado con el programa SWMM 5.2 sin SUDS se verifica que existe inundación en los nodos 6, 7, 8, 9, 11 y 12 por lo cual surge la necesidad de implementar los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) frente a los sistemas convencionales planteando soluciones de permeabilidad frente a los problemas de impermeabilidad y la retención frente al problema de escorrentía superficial, reduciendo así la sobrecarga del sistema de drenaje pluvial urbano actual.

Al realizar el modelamiento con SUDS en el programa SWMM 5.2 de las microcuencas de la capital del Distrito de Kimbiri se logró reducir el caudal pico para un periodo de retorno de precipitaciones pluviales de 2 años, la cual se considera como periodo de diseño y con una duración igual al tiempo de concentración de 55 minutos que fue calculado por diferentes métodos.

En conclusión, la implementación de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en la capital del distrito de Kimbiri mejora de manera significativa la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano. Asimismo, se ha verificado que, a medida que aumenta el área de SUDS implementada en relación con el área de la microcuenca de aplicación, estas soluciones se vuelven más prometedoras para mejorar la gestión de las aguas pluviales, por lo que deben considerarse en las zonas de expansión urbana.

Palabras claves: SUDS, eficiencia del sistema de drenaje pluvial, escorrentía superficial.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los sistemas de drenaje pluvial urbano siguen representando un desafío; a pesar de ello, se tiene conocimientos sobre los procesos hidráulicos e hidrológicos que intervienen en ellos, y se dispone de herramientas tecnológicas que facilitan el análisis hidráulico e hidrológico mediante el programa informático Storm Water Management Model (SWMM), desarrollado por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos en 1971, el cual posteriormente se extendió a Australia y Europa, siendo de acceso gratuito y de dominio público.

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) son elementos superficiales, multifuncionales y permeables que forman parte de la estructura urbana, hidrológica y paisajística de las ciudades. Estos sistemas surgieron como consecuencia del aumento de las superficies impermeables del suelo asociado al creciente desarrollo urbano, donde inicialmente había suelos naturales (agrícolas, forestales, de pastizales, humedales, etc.). La impermeabilización de la urbanización provoca un incremento de los volúmenes y de los caudales máximos de escorrentía, así como una disminución de la infiltración y de la recarga de los acuíferos. Esta alteración de las condiciones naturales no solo incrementa los eventos de inundación urbana y sus impactos directos sobre la población, sus bienes materiales y la infraestructura, sino que también tiene repercusiones negativas para el medio ambiente. Todo esto nos conlleva a que debemos cambiar en nuestra forma de construir dejando siempre áreas permeables (áreas verdes); además se debe de implementar los SUDS en nuestra Norma Técnica CE-040 para aplicarlo en todas las regiones de nuestro querido Perú.

## DEDICATORIA

A mis queridos padres, Luis Huamaní y Alicia Huayanay, por sus apoyos incondicionales y sacrificios que han sido mi mayor fuente de inspiración. Gracias por sus sabios consejos y por guiarme en cada paso de mi vida. A mi hermana Zelma Huamaní, por sus palabras de aliento y por compartir conmigo cada uno de mis logros.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de investigación es fruto del arduo proceso investigativo y dedicación, que marca un hito importante en mi trayectoria académica. La culminación de este trabajo ha sido posible gracias al apoyo de diversas personas, a quienes expreso mi más sincero agradecimiento. En primer lugar, a Dios por su sabiduría y la oportunidad de alcanzar esta meta. A mis padres por sus ayudas incondicionales, mis primeros maestros y mi inspiración constante. Agradezco profundamente a los ingenieros Edward León Palacios y Saúl Walter Retamozo Fernández por su loable generosidad y disponibilidad de tiempo al compartir sus conocimientos en este trabajo de investigación. De manera especial, agradezco a mi asesor, Ing. Jaime Leonardo Bendezú Prado, Ing. Jeannette Zambrano Nájera y al Ing. Nick Ramos Chávez por sus valiosas orientaciones en cada etapa de este proceso de investigación.

## INDICE GENERAL

RESUMEN.....	III
INTRODUCCIÓN.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTOS.....	VI
<b>INDICE GENERAL</b> .....	<b>VII</b>
INDICE DE FIGURAS.....	XI
INDICE DE TABLAS.....	XIII
GLOSARIO.....	1
ACRONIMOS.....	2
CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Descripción del problema.....	3
1.1.1 Descripción de la realidad problemática mundial.....	3
1.1.2 Descripción de la realidad problemática nacional.....	4
1.1.3 Descripción de la realidad problemática regional.....	5
1.2 Delimitación del problema.....	6
1.2.1 Espacial.....	6
1.2.2 Temporal.....	6
1.2.3 Temática y unidad de análisis.....	7
1.3 Formulación del problema.....	7
1.3.1 Problema general.....	7
1.3.2 Problemas específicos.....	7
1.4 Justificación e importancia.....	8
1.5 Limitaciones de la investigación.....	8
1.6 Objetivos.....	8
1.6.1 Objetivo general.....	8
1.6.2 Objetivos específicos.....	9
CAPITULO II. MARCO TEORICO.....	10
2.1 Antecedentes.....	10
2.1.1 Investigaciones internacionales.....	10
2.1.2 Investigaciones nacionales.....	12
2.2 Bases teóricas.....	13
2.2.1 Hidrología aplicada.....	13
2.2.2 Análisis estadístico de datos hidrológicos.....	16
2.2.3 Drenaje pluvial urbano.....	22
2.2.4 EPA SWMM 5.2.....	36

2.2.5	Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).....	37
2.2.6	Parámetros de SUDS con SWMM .....	47
2.3	Marco conceptual .....	56
CAPITULO III. MÉTODO DE LA INVESTIGACION.....		60
3.1	Enfoque .....	60
3.2	Alcance.....	60
3.3	Diseño de investigación .....	61
3.4	Población y muestra .....	61
3.5	Hipótesis.....	62
3.5.1	Hipótesis general .....	62
3.5.2	Hipótesis específica.....	62
3.6	Operacionalización de variables, definición conceptual y operacional .....	62
3.6.1	Variables .....	62
3.6.2	Dimensiones.....	63
3.6.3	Indicadores.....	64
3.6.4	Operacionalización de variables .....	65
3.7	Técnicas e instrumentos .....	66
3.7.1	Técnicas .....	66
3.7.2	Técnica de recolección y procesamiento de datos.....	67
3.7.3	Instrumentos.....	71
3.8	Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información .....	72
3.8.1	Descriptiva.....	72
3.8.2	Inferencial.....	72
3.8.3	Software y paquete estadístico .....	72
3.9	Desarrollo del trabajo de tesis.....	73
3.9.1	Información del área de estudio.....	73
3.9.2	Sistema actual del drenaje pluvial.....	74
3.9.3	Estudios Geológicos .....	75
3.9.4	Cuenca Hidrográfica del Distrito de Kimbiri.....	76
3.9.5	Precipitación de Diseño .....	81
3.9.6	Intensidades Máximas de Diseño de la zona de estudio.....	83
3.9.7	Hietograma para la zona de estudio .....	84
3.9.8	Modelación .....	84
3.9.9	Modelación Red de drenaje pluvial existente .....	86
3.9.10	Modelación de la red existente aplicando los SUDS .....	87
CAPITULO IV. RESULTADOS.....		90
4.1	Contrastación de hipótesis.....	90

4.2	Análisis e interpretación.....	91
CAPITULO V. CONCLUSIONES .....		101
5.1	Conclusiones.....	101
5.2	Recomendaciones.....	102
5.3	Trabajos futuros.....	102
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....		103
ANEXOS.....		106
Anexo 1: Matriz de consistencia.....		107
Anexo 2: Precipitación máxima diaria anual ordenado por mes y por año obtenido del producto PISCO - SENAMHI .....		108
Anexo 3: Parámetros estadísticos de la prueba de datos dudosos.....		109
Anexo 4: Análisis de frecuencias para diferentes distribuciones de probabilidades... ..		111
Anexo 5: Prueba de bondad de ajuste de kolmogorov - smirnov aceptada para la distribución Normal.....		113
Anexo 6: Precipitación máxima anual con diferentes distribuciones y periodos de retorno.....		115
Anexo 7: Resultados de regresión lineal múltiple.....		115
Anexo 8: Obtención de la ecuación de intensidad.....		116
Anexo 9: Cálculo de intensidad máxima para T = 2 años.....		116
Anexo 10: Bloques alternos para T = 2 años.....		117
Anexo 11: Estimación de infiltración con el método del CN para T = 2años.....		117
Anexo 12: Precipitación y escorrentía para T = 2 años con una duración de 55 min.....		118
Anexo 13: Permeabilidad de los suelos finos.....		118
Anexo 14: Clasificación de coberturas y propiedades hidrológicas asociadas.....		119
Anexo 15: Fotografía de la Av. La Convención .....		120
Anexo 16: Fotografía de la Av. Aeropuerto .....		120
Anexo 17: Rangos típicos para parámetros de celdas de bio-retención.....		121
Anexo 18: Características del suelo típico de celdas de bio-retención.....		121
Anexo 19: Rangos típicos de zanjas de infiltración.....		121
Anexo 20: Rangos típicos de cunetas verdes.....		122
Anexo 21: Plano en planta del canal de drenaje pluvial existente.....		123
Anexo 22: Plano del perfil de la canalización II (Jr. Ayacucho).....		124
Anexo 23: Plano de sección del canal de drenaje pluvial existente.....		125
Anexo 24: Plano de detalles de Zanja de infiltración (SUDS) .....		126
Anexo 25: Plano de detalles de Celdas de Biorretención (SUDS).....		127
Anexo 26: Plano en planta y sección transversal de cunetas verdes (SUDS).....		128
Anexo 27: Plano de sección vial A-A de la av. circunvalación.....		129

Anexo 28: Plano de cuenca hidrográfica del área de estudio.....	130
Anexo 29: Cálculos de capacidad de la calle. ....	131
Anexo 30: Caudal máximo de la calle para T= 2 años, por el método Racional .....	131
Anexo 31: Cálculos de capacidad de la calle para un drenaje convencional. ....	132
Anexo 32: Cálculos de capacidad de la calle para un drenaje con la implementación de SUDS.....	132
Anexo 33: Cálculos de porcentaje de área permeable e impermeable.....	134

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Comportamiento de la infiltración mediante el modelo de Horton.....	25
Figura 2 división idealizada de la subcuenca en el modelo. ....	28
Figura 3 Modelo conceptual de escorrentía en SWMM 5.2 .....	29
Figura 4 Alteraciones en el ciclo hidrológico generado por las urbanizaciones. ....	30
Figura 5 Modelización comparativa de caudales en cuencas urbanas y rurales .....	31
Figura 6 Hidrogramas en cuencas con y sin implementación de SUDS. ....	38
Figura 7 Cunetas vegetativas. ....	39
Figura 8 Sistemas de biorretención.....	40
Figura 9 Sección típica de jardín de lluvia.....	41
Figura 10 Techo verde.....	42
Figura 11 Aplicación del tipo de SUDS - depósito de lluvia.....	43
Figura 12 Pavimentos permeables.....	45
Figura 13 Zanja de infiltración.....	46
Figura 14 Parámetros de altura de berma.....	47
Figura 15 Parámetro de volumen de vegetación.....	47
Figura 16 Parámetro de rugosidad de Manning.....	48
Figura 17 Parámetro de pendiente de superficies.....	48
Figura 18 Parámetro de espesor de suelo.....	49
Figura 19 Parámetro de porosidad de suelo.....	49
Figura 20 Parámetro de capacidad de campo.....	50
Figura 21 Parámetro de punto de marchitez.....	50
Figura 22 Parámetro de punto de conductividad.....	51
Figura 23 Parámetro de pendiente de conductividad.....	51
Figura 24 Parámetro de Cabeza de Succión.....	52
Figura 25 Parámetro de espesor de la capa de almacenamiento.....	52
Figura 26 Parámetro de relación de vacío.....	53
Figura 27 Parámetro de tasa de filtración.....	53
Figura 28 Parámetro de factor de obstrucción.....	54
Figura 29 Parámetro de coeficiente C y exponente n.....	54
Figura 30 Parámetro de Altura de desfase del drenaje.....	55
Figura 31 Parámetro de retardo de drenaje.....	55
Figura 32 Secciones de conductos predefinidos en el SWMM 5.2 .....	59

Figura 33 Análisis de precipitaciones extremas mediante percentiles (75, 90, 95 y 99) y evaluación de la confiabilidad de la interpolación con círculos buffer. ....	68
Figura 34 Procesamiento en Rstudio del producto PISCOp.....	69
Figura 35 Visualización de la precipitación PISCOp en Qgis. ....	69
Figura 36 Coeficiente de Correlación (CC), BIAS en porcentaje y RMSE. ....	71
Figura 37 Mapa de ubicación del Distrito de Kimbiri.....	73
Figura 38 Microcuenca del estudio. ....	74
Figura 39 Mapa de Cobertura Vegetal de Kimbiri.....	75
Figura 40 Microcuenca del área de estudio.....	77
Figura 41 Gráfica de curva hipsométrica y frecuencia de altitudes.....	81
Figura 42 Gráfica de precipitación máxima anual para diferentes periodos de retorno. ....	82
Figura 43 Curva IDF para diferentes periodos de retorno. ....	83
Figura 44 Hietograma de bloques alternos para T = 2 años.....	84
Figura 45 Intensidad incremental centrada cargado al SWMM 5.2 ....	85
Figura 46 Visor de serie temporal en SWMM 5.2.....	85
Figura 47 Perfil con la red de drenaje pluvial en el pico de la lluvia.....	86
Figura 48 SUDS de celdas de Biorretención en SWMM 5.2.....	87
Figura 49 SUDS de zanjas de infiltración en SWMM 5.2.....	88
Figura 50 SUDS de cunetas verdes en SWMM 5.2.....	88
Figura 51 SUDS incorporados a microcuenca del SWMM 5.2 ....	89
Figura 52 Hidrograma sin SUDS en la microcuenca 5 (SC_5). ....	90
Figura 53 Hidrograma con SUDS en la microcuenca 5 (SC_5).....	91
Figura 54 Hidrograma para diferentes periodos de retorno con una duración de 55min. ....	95
Figura 55 Volumen de lluvia con áreas diferentes de SUDS y una duración de 55min. ....	96
Figura 56 Velocidad máxima de 11.88 m/s con SUDS. ....	99
Figura 57 Velocidad máxima de 12.96 m/s sin SUDS. ....	99
Figura 58 Relación del coeficiente de Manning y la influencia vegetal. ....	133
Figura 59 Clasificación del grado de retardo con influencia vegetal. ....	133

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Valores del coeficiente Kn en función del tamaño muestral.....	19
Tabla 2	Valores referenciales para la prueba de Kolmogorov-Smirnov.....	21
Tabla 3	Parámetros de las capas que integran los SUDS.....	37
Tabla 4	Variables de la investigación.....	63
Tabla 5	Matriz de operacionalización de variables.....	66
Tabla 6	Registro histórico de precipitaciones máximas en 24 horas.....	70
Tabla 7	Clasificación de mapa de suelo de Kimbiri.....	75
Tabla 8	Reclasificación del Mapa del suelo de Kimbiri.....	76
Tabla 9	Permeabilidad de los suelos finos.....	76
Tabla 10	Obtención de parámetros de microcuenca.....	77
Tabla 11	Datos de áreas y pendientes de microcuencas.....	78
Tabla 12	Datos de las microcuencas ingresadas al SWMM 5.2.....	78
Tabla 13	Datos de las cámaras ingresadas al SWMM 5.2.....	78
Tabla 14	Dato de la cota de vertido ingresado al SWMM 5.2.....	79
Tabla 15	Datos del canal subterráneo de concreto armado.....	79
Tabla 16	Información de los colectores incorporados en SWMM 5.2.....	79
Tabla 17	Cálculo del tiempo de concentración por diferentes métodos.....	80
Tabla 18	Áreas entre curvas de nivel.....	80
Tabla 19	Precipitación máxima anual para diferentes periodos de retorno.....	82
Tabla 20	Intensidades máxima anual para diferentes periodos de retorno.....	83
Tabla 21	Comparación de escorrentía punta con SWMM 5.2 para T = 2 años.....	91
Tabla 22	Escorrentía superficial del Sector Kimbiri (capital).....	92
Tabla 23	Tránsito de flujo del Sector Kimbiri (capital).....	92
Tabla 24	Escorrentía punta con SUDS para diferentes periodos de retorno.....	93
Tabla 25	Cálculo de Intensidades para lluvias de T = 25 años.....	93
Tabla 26	Cálculo de Intensidades para lluvias de T = 10 años.....	94
Tabla 27	Cálculo de Intensidades para lluvias de T = 2 años.....	94
Tabla 28	Resumen de lluvia de diseño.....	94
Tabla 29	Volumen de lluvias con T = 2 años y $A_{SUDS}$ de 504 m <sup>2</sup> .....	95
Tabla 30	Volumen de lluvias con T = 2 años y $A_{SUDS}$ de 7560 m <sup>2</sup> .....	96
Tabla 31	Resumen de volumen de lluvia.....	96
Tabla 32	Escorrentía punta con SWMM 5.2 para las microcuencas 3 y 4.....	97

Tabla 33 Niveles de inundación en nudos del sector Kimbiri con SUDS para T= 2 años.....	97
Tabla 34 Inundación en nudos del sector Kimbiri sin SUDS para T= 2 años. ....	98
Tabla 35 Cálculo de la eficiencia con SUDS para T= 2 años. ....	98
Tabla 36 Cálculo de la eficiencia sin SUDS para T= 2 años.....	98
Tabla 37 Parámetros hidráulicos de Vía. ....	131
Tabla 38 Distribución de áreas para la microcuenca 3. ....	134
Tabla 39 Distribución de áreas para la microcuenca 4. ....	135
Tabla 40 Distribución de áreas para la microcuenca 5. ....	135

## GLOSARIO

**Agua pluvial.** - Agua procedente de la precipitación natural. (NTE CE-040, 2021)

**Drenaje urbano:** Son procesos destinados a captar, conducir e infiltrar o descargar las aguas de lluvia que se generan en áreas urbanizadas, con el fin de dirigitas hacia cauces naturales como ríos, lagos o el mar (Dirección de Obras Hidráulicas, 2013).

**Duración de la lluvia.** - Es el período de tiempo durante el cual se registra precipitación continua o intermitente. Se mide desde el inicio de la primera gota hasta el final de la última gota de lluvia.

**Eficiencia de un sistema de drenaje.** - Se refiere a su capacidad para cumplir con su función principal de recolectar, transportar y evacuar de manera adecuada el agua de lluvia o residuales, minimizando los efectos negativos como inundaciones, erosión y contaminación.

**Escorrentía superficial.** Hace referencia al agua de lluvia que fluye sobre la superficie terrestre y se concentra en los cauces fluviales. Este fenómeno se ajusta a las características topográficas, geológicas, climáticas y vegetativas de la cuenca hidrográfica en estudio.

**Retención.** – Es el almacenamiento temporal del agua de lluvia durante un periodo dado, usualmente prolongado.

**Zona impermeable:** Se define como un área del terreno que presenta una resistencia significativa al paso de líquidos, impidiendo su filtración. Actuando como una barrera, evitando que el agua y otros fluidos se desplacen a través de ella.

**Zona permeable:** Se define como el área de terreno que permite el paso de agua y fluidos a través de sus poros, facilitando procesos como la filtración, drenaje y recarga de acuíferos en suelos y rocas.

## ACRONIMOS

**BMP:** Best Management Practices. Mejores Prácticas de Gestión. Técnica para reducir contaminantes vertidos en aguas pluviales.

**IDF:** Intensidad, Duración, Frecuencia.

**LID:** Low impact Development. Desarrollo de bajo impacto.

**SUDS:** Sustainable Urban Drainage System. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. Se diseñan para gestionar de manera eficiente y sostenible el agua de lluvia en entornos urbanos, imitando los procesos naturales del ciclo hidrológico.

**SWMM:** Storm Water Management Model. Es una herramienta eficaz para la modelización de sistemas de drenaje y manejo de aguas pluviales en entornos urbanos. Con este software, se puede simular una amplia variedad de procesos relacionados con la gestión del agua.

**PISCO:** Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations.

**SENAMHI:** Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

## CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### **1.1 Descripción del problema**

#### **1.1.1 Descripción de la realidad problemática mundial**

Las inundaciones pluviales constituyen un problema de carácter internacional que ha sido ocasionado por el desarrollo urbanístico, el cual ha sido objeto de estudio durante un largo período de tiempo. En diversos países, este problema ha sido mitigado mediante la implementación de Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS), los cuales reducen o retienen la escorrentía a través de diferentes estructuras, prácticas y técnicas. (Rey, 2019)

Este problema ha sido ampliamente estudiado en ciudades planas, pero también se presenta en ciudades con relieves montañosas. La causa más común reportada en la literatura es la insuficiente capacidad hidráulica de la red de alcantarillado; no obstante, en las ciudades con relieves montañosas, las condiciones topográficas generan velocidades de flujo elevadas, lo que resulta caudales picos mucho mayores a los caudales de diseño. La hipótesis de este trabajo es que las inundaciones pluviales en cuencas de montaña se deben a un problema de velocidad de flujo superficial. Este fenómeno también se observa dentro de la red, donde las altas velocidades de flujo incrementan más aún los caudales máximos y acortan el tiempo necesario para alcanzarlos.(Rey, 2019)

Los criterios de sustentabilidad de los sistemas de drenaje pluvial urbano se han analizado y se ha comparado la aplicación de dos proyectos en un desarrollo habitacional en un bioclima templado de México. Uno de los proyectos se diseñó como un sistema convencional de gestión de aguas pluviales, mientras que el otro utilizó sistemas más sostenibles denominados Sistemas Urbanos de Drenaje Sustentable

(SUDS). El estudio se basa en un análisis hidrológico y en el programa informático xpdrainage® de diseño y evaluación. Además, se concluye que los SUDS se pueden implementar en las regiones con este tipo de bioclima. (Urías & Álvares, 2018)

Este artículo establece que quienes realicen obras de construcción que generen áreas impermeables, deben incluir en sus proyectos, medidas o dispositivos que regulen el caudal máximo de lluvias con un periodo de retorno de 10 años. Este concepto se denomina "Impacto Hidrológico Cero" (IHC) tiene como objetivo determinar que el caudal máximo urbanizado sea igual o inferior al que existía en estado natural (antes de la urbanización), con el fin de mitigar el exceso de volumen de agua generado por cualquier construcción. No obstante, existen otros criterios que deben considerarse para lograr un funcionamiento sostenible de estos sistemas (Urías & Álvares, 2018).

### **1.1.2 Descripción de la realidad problemática nacional**

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) consideran diversos factores, como el cambio climático en países como Perú. En la ciudad de Arequipa se producen períodos prolongados de precipitaciones de diferentes intensidades durante el verano, como ocurrió en febrero de 2013, lo que ha causado pérdidas humanas. Esto ha llevado a la búsqueda de métodos de drenaje pluvial más eficientes, no solo desde la perspectiva hidráulica, sino también desde los enfoques ambiental y de desarrollo sostenible, prestando atención a la calidad del agua captada y a las posibles aplicaciones, dado que se trata de un recurso muy valioso. En Perú, el tema de los SUDS aún es escaso y no cuenta con una normativa específica para su diseño, construcción y mantenimiento. Por lo tanto, se utilizan normativas de otros países con más experiencia en SUDS, como el CIRIA de España, para obtener información relevante (Lima & Quispe, 2018).

En el distrito de Villa El Salvador, se ejecutaron obras de pavimentación en el tramo de la Avenida Mateo Pumacahua, comprendido entre las Avenidas Separadora Industrial y Pachacútec. Dichas obras han reducido la infiltración y las precipitaciones registradas

en los últimos años en el distrito, las cuales habían provocado inundaciones y accidentes tanto peatonales como vehiculares (López & Villavicencio, 2021).

Para dar solución técnica a este problema, se propone implementar el Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS), el cual consiste en técnicas de gestión de las aguas pluviales que permiten restablecer el ciclo del agua en las poblaciones urbanizadas, mejorar la calidad del agua a infiltrar y evitar las inundaciones (López & Villavicencio, 2021).

Mediante cunetas verdes se recolectarán los excedentes de aguas pluviales procedentes de las pendientes altas y el agua recolectada se distribuirá para mejorar las áreas verdes de la zona de estudio. El hidrograma unitario sintético del SCS se modeló con el HEC-HMS, y los resultados fueron un caudal de diseño de  $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$  y un volumen excedente de  $6400 \text{ m}^3$ . Por otro lado, el balance hídrico mostró un déficit que no permitiría cubrir el 1,5 % del mantenimiento de las áreas verdes. Tras analizar las alternativas, se escogieron las cunetas verdes por ser la opción más económica y ofrecer los mismos beneficios técnicos y ambientales. Las precipitaciones registradas el 08/08/2018 fueron de  $0,2 \text{ mm/h}$  y ocasionaron inundaciones en la zona de estudio. Las cunetas verdes están diseñadas para eventos extraordinarios, lo que permitirá solucionar los problemas de inundaciones, mediante el control del caudal punta y la mejora de la calidad del agua antes de que esta llegue a cuerpos receptores o sistemas de drenaje tradicionales (López & Villavicencio, 2021).

### **1.1.3 Descripción de la realidad problemática regional**

La problemática de las escorrentías superficiales en áreas urbanas debido al crecimiento poblacional y la impermeabilización del suelo, específicamente en el distrito de Kimbiri, se debe a que enfrentan lluvias prolongadas en esta región de la selva generan focos infecciosos por el almacenamiento de agua, inundaciones y acumulación de sedimentos de gran magnitud en las calles más importantes de la ciudad. Por lo que surge la necesidad de aplicar métodos de drenaje pluvial eficientes que tengan en

cuenta los aspectos hidráulicos, ambientales y de desarrollo sostenible; así como la calidad del agua captada para su posible uso como recurso vital.

El presente trabajo de investigación consiste en implementar los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en la Ciudad de Kimbiri (Capital) para reducir la cantidad de agua vertida y mejorar su calidad del agua vertida al medio natural, y así conseguir soluciones de gestión integrada del ciclo del agua ligadas a la protección ambiental de las aguas receptoras. Asimismo, mejorar el problema de la congestión del tránsito y por los problemas de contaminación ambiental que se produce a consecuencia de la inexistencia de un drenaje urbano sostenible que reduce inundaciones y crear espacios verdes, contribuyendo a mejorar la calidad de vida de la población. El acceso a un sistema de drenaje eficiente puede considerarse como un servicio básico, ya que protege la salud y los bienes de las personas. Por ello, la participación de la población de Kimbiri es clave para garantizar el mantenimiento a largo plazo de los SUDS. Al sentir que el proyecto es suyo, los ciudadanos estarán más dispuestos a cuidarlo y protegerlo.

## **1.2 Delimitación del problema**

### **1.2.1 Espacial**

La cuenca urbana de Kimbiri de la presente investigación está ubicada en el Distrito de Kimbiri, Provincia La Convención y Región Cusco con una altitud promedio de 650 m.s.n.m. con una superficie total de 831,958.00 km<sup>2</sup> cuyo punto de aforo es el río Apurímac.

### **1.2.2 Temporal**

En el presente trabajo de investigación se utiliza la data grillada Piscop del SENAMHI con un registro del año 1981 al 2016 para su procesamiento de datos aplicando los SUDS (Sistemas urbanos de drenaje sostenibles) mediante el programa SWMM versión 5.2.

### 1.2.3 Temática y unidad de análisis

**Temática:** La temática de la investigación se centra en la disminución del caudal máximo en áreas urbanas y más concretamente, en la aplicación de los SUDS para mejorar el sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Kimbiri.

**Unidad de análisis:** La unidad de análisis se centra en los elementos y componentes de los SUDS, como las cunetas verdes, las zanjas de infiltración y las celdas de biorretención, que trabajan juntos para reducir el impacto de las lluvias intensas y crear espacios verdes urbanos.

## 1.3 Formulación del problema

### 1.3.1 Problema general

¿Cómo afecta la implementación de la metodología de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) a la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano en la ciudad de Kimbiri, con el fin de mejorar la gestión de aguas pluviales y reducir problemas de escorrentía e inundaciones?

### 1.3.2 Problemas específicos

1. ¿Cómo la aplicación de las metodologías de celdas de biorretención y zanjas de infiltración reducirá el caudal de escorrentía en la ciudad de Kimbiri?
2. ¿Cómo afecta la implementación de la metodología de cunetas verdes en la capacidad del sistema de drenaje para manejar y mitigar inundaciones de la ciudad de Kimbiri?
3. ¿En qué medida varía la eficiencia hidráulica del sistema de drenaje pluvial con la implementación de los SUDS en comparación con el sistema convencional en la ciudad de Kimbiri?

## **1.4 Justificación e importancia**

La investigación busca implementar Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en la ciudad de Kimbiri para resolver el estancamiento de agua de lluvia y mejorar la movilidad y el paisaje urbano, reduciendo la contaminación y permitiendo la recolección y uso del agua de lluvia, lo cual contribuirá a la preservación del recurso hídrico y promoverá lineamientos nacionales para un manejo más sostenible del agua en zonas urbanas.

La implementación de SUDS en la ciudad de Kimbiri es un proceso complejo que requiere un enfoque multidisciplinario y la colaboración de diferentes actores. Sin embargo, los beneficios ambientales y sociales de los SUDS hacen que este desafío valga la pena.

Es importante adoptar medidas sostenibles para gestionar el agua de lluvia en la ciudad de Kimbiri, especialmente en aquellas con un alto grado de urbanización. Los sistemas SUDS se presentan como una solución prometedora para reducir los riesgos de inundaciones y mejorar la calidad del agua, contribuyendo así a una mayor resiliencia urbana y a la protección del medio ambiente.

## **1.5 Limitaciones de la investigación**

La disponibilidad de datos locales sobre la hidrología y el comportamiento del suelo es limitada en la localidad de Kimbiri (Capital) para el modelamiento de los SUDS mediante la aplicación del software SWMM versión 5.2.

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivo general**

Evaluar la implementación de la metodología de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano de la

ciudad de Kimbiri, con el fin de mejorar la gestión de aguas pluviales y reducir problemas de escorrentía e inundaciones.

### **1.6.2 Objetivos específicos**

1. Analizar la aplicación de las metodologías de celdas de biorretención y zanjas de infiltración para reducir el caudal de escorrentía en la ciudad de Kimbiri.
2. Evaluar la implementación de la metodología de cunetas verdes en la capacidad del sistema de drenaje para manejar y mitigar inundaciones de la ciudad de Kimbiri.
3. Analizar la eficiencia hidráulica del sistema de drenaje pluvial con la implementación de los SUDS en comparación con el sistema convencional en la ciudad de Kimbiri.

## CAPITULO II. MARCO TEORICO

### 2.1 Antecedentes

#### 2.1.1 Investigaciones internacionales

(Cortés Oyanedel, 2014), en su tesis titulada “Modelación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), usando SWMM 5.1” realizada en la Universidad de Valparaíso (Chile) comparó cinco SUDS y son los siguientes: jardín de lluvia, zanja de infiltración, canal vegetativo, estanque y laguna de almacenamiento. Estos fueron descritos en cuanto a diseño, dimensionamiento y ejemplo en el Manual de Drenaje Urbano de la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas. La comparación se efectuó mediante modelación en SWMM 5.1, proponiendo como objetivo contrastar el dimensionamiento sugerido por el manual con los resultados numéricos del programa, y evaluar sus diferencias. Para ello, se utilizaron los datos de cada ejemplo del manual.

En conclusión, los SUDS modelados demostraron cumplir con el objetivo principal del drenaje urbano sostenible en disminuir y retardar el volumen de escorrentía generado por las cuencas aportantes.

(Caicedo Padilla, 2020), en su tesis titulada “Modelación de dos Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para la Ciudad de Cali. Estudio de caso: Ciudadela Calida”, elaborada en la Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales, planteó que las inundaciones pluviales son uno de los principales problemas de las zonas urbanas en el siglo XXI. Estas se deben, principalmente, a los cambios en el paisaje de las cuencas provocados por la urbanización, lo cual altera la hidrología. Entre los principales efectos se encuentran la reducción de la infiltración y la evapotranspiración, así como el aumento de la escorrentía superficial. Esto, sumado a mayores velocidades de flujo en las calles, supera la capacidad de los sistemas de drenaje, generando inundaciones. La

situación se complica en ciudades con topografía plana, como Santiago de Cali. En este estudio se revisaron los registros de inundaciones en Cali, evidenciando un incremento continuo desde 1912, a pesar de las fuertes inversiones en infraestructura pluvial. Por ello, se plantea como alternativa el uso de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), donde se evaluaron pavimentos permeables y techos verdes mediante modelación hidrodinámica con SWMM en una zona de expansión futura de la ciudad. Donde se concluye que los resultados muestran que los métodos convencionales no controlan las inundaciones en eventos intensos de lluvia, mientras que los SUDS ofrecen una solución más sostenible y eficaz.

(Zorrilla Martínez, 2015), en su tesis “Estudio de alternativas para la construcción de Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS) en el Campus de las Llamas de la Universidad de Cantabria”, elaborada en la Universidad de Cantabria, propuso analizar la posible implementación de SUDS en dicho campus. Para ello, aplicó conocimientos adquiridos en asignaturas como Construcción de Obras Públicas, Hidráulica e Hidrología, Obras Hidráulicas, Geotecnia, Impacto Ambiental, Edificación, Caminos, Proyectos y Sostenibilidad en Construcciones Civiles.

La normativa europea y española contempla la inclusión de SUDS en proyectos urbanos, y el Plan Estratégico de la Universidad de Cantabria los propone como una medida a implementar en la ordenación del campus. Su instalación busca gestionar la escorrentía superficial reduciendo las superficies impermeables y desconectando áreas del sistema de saneamiento, lo que disminuye el volumen de agua a tratar y mejora su calidad al reducir contaminantes. También protegen frente a lluvias extremas.

Se dividió el Campus de las Llamas de la Universidad de Cantabria en zonas: A, B, C, D, E, F y G. Donde para cada zona se seleccionaron SUDS considerando la climatología, geotecnia, impactos ambientales, factores físicos y sociales, el medio receptor, y la eficacia en el manejo del agua de escorrentía. El dimensionamiento se basó en bibliografía especializada. Posteriormente, se formularon varias alternativas en función de la zonificación y buscando equilibrar los costos, ya que salvo las alternativas

0 (sin intervención) y 1, las demás tenían presupuestos similares. La evaluación de las alternativas se hizo mediante un análisis multicriterio con variables técnicas, económicas, ambientales y sociales. Se resume las zonas en una tabla y los SUDS asignados por alternativa. Tras el análisis, se determinó que la opción más adecuada era la alternativa 2, que contempla la construcción de SUDS en las zonas A, B y G.

(Molina et al., 2011), en su documento técnico de soportes de “Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS para el plan de ordenamiento zonal norte POZN”, manifiesta que, para el caso de Colombia, específicamente en su capital Bogotá, se han estudiado los “Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible” para la amortiguación de los volúmenes de escorrentía, ya que en las zonas urbanas el hidrograma de escorrentía de una lluvia dada es totalmente distinto al que se produce en una zona natural de la misma área. La generación del caudal punta en muy poco tiempo se debe al mayor porcentaje de superficie impermeable, donde la gestión de estos caudales picos para evitar daños en las ciudades motiva la construcción de sistemas de drenaje de gran tamaño con el fin de mitigar y controlar los problemas asociados con ellos, mejorando la calidad de los cuerpos receptores de modo que estos presten un servicio al paisaje urbano.

### **2.1.2 Investigaciones nacionales**

(Albines Lozano, 2023), en su tesis titulada “Propuesta de mejoramiento del Sistema de drenaje pluvial Urbano de la Cuenca Alameda – Ayacucho utilizando SUDS”, realizada en la Universidad Nacional de Ingeniería, plantea como objetivo general la mejora del sistema de drenaje pluvial urbano de la cuenca del río Alameda en el sector correspondiente a la ciudad de Ayacucho utilizando SUDS. En su resumen, indica que el estudio presenta una propuesta integral para mejorar el sistema de drenaje de la zona, priorizando soluciones sostenibles y eficaces para reducir los riesgos asociados a eventos extremos de lluvia. En concreto, plantea alternativas sostenibles de uso de pavimento permeable y zanjas de infiltración que reducen el caudal máximo y aumentan el tiempo de concentración de las aguas pluviales. Se determinó que la alternativa

basada en pavimento permeable era la más adecuada teniendo en cuenta los criterios evaluados.

(Lima & Quispe, 2018), en su tesis que lleva por título “Evacuación de aguas pluviales aplicando técnicas de drenaje urbano sostenible en la localidad de Alto Libertad”, realizada en la Universidad Nacional de San Agustín donde propusieron un sistema de drenaje urbano sostenible en Alto Libertad, utilizando drenajes filtrantes (SUDS) para evacuar las aguas pluviales. Esta solución resultó ser altamente efectiva, ya que eliminó hasta un 88% de impurezas del agua y demostró ser una alternativa valiosa para hacer frente al cambio climático y la creciente problemática de estrés hídrico y el déficit en los recursos hídricos.

(Vasquez & Valdivia, 2023), en su tesis que lleva por título “Diseño de un Sistema Urbano de drenaje sostenible en el Distrito de Huancayo – Región de Junín con adaptación a escenarios climáticos y modificación de la norma técnica peruana CE.040”, realizada en la Pontificia Universidad Católica del Perú donde concluyen tras un análisis detallado sobre las técnicas de gestión de aguas pluviales, en especial en las técnica de cubiertas verdes y los pavimentos permeables, las cuales permiten la infiltración del agua de lluvia en el suelo, reduciendo el escurrimiento superficial y evitando la saturación de la red de drenaje. Asimismo, la capacidad de retener temporalmente el agua y liberarla gradualmente posibilita una gestión más efectiva de los picos de lluvia y mejora notablemente la calidad del agua y la eficiencia en la gestión de aguas pluviales en Huancayo.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Hidrología aplicada**

**Tiempo de concentración (Tc):** Se define como el tiempo que tarda una gota de lluvia que cae en el punto más alejado de una cuenca hidrográfica en llegar a un punto de interés específico, como puede ser un punto de desagüe o un aforo. Este concepto es

fundamental en la hidrología, ya que permite entender la dinámica del escurrimiento superficial y la respuesta de la cuenca ante eventos de precipitación. Existen diversos métodos para calcular este tiempo, que pueden incluir fórmulas empíricas y se detallan a continuación: (NTE CE-040, 2021).

**Tiempo que demora una gota de lluvia desde el punto más alejado de la cuenca al punto de interés.**

**Método de Kirpich:**

$$T_C = 0.01947 \times L^{0.77} \times S^{-0.385}$$

Donde:

L= longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida. (m).

S = pendiente promedio de la cuenca.

**Método de California:**

$$T_C = 0.0195 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Donde:

L= longitud del curso de agua más largo (m).

S = Diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida (m).

**Método de Federal A.A:**

$$T_C = 0.7035 \frac{(1.1-C)L^{0.50}}{S^{0.333}}$$

Donde:

C = Coeficiente de escorrentía del método racional.

L = Longitud del flujo superficial (m).

S = pendiente de la superficie (m/m).

**Método de SCS:**

$$T_c = \frac{0.0136 \cdot L^{0.80} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{S^{0.5}}$$

Donde:

L = Longitud hidráulica de la cuenca mayor trayectoria de flujo (m).

CN = Número de curva SCS.

S = pendiente promedio de la cuenca (m/m).

**Método de Témez:**

$$T_c = 0.3 \times \frac{L^{0.76}}{S^{0.19}}$$

Siendo:

L: longitud del cauce más largo en Km.

S: pendiente media de la cuenca.

Tc: tiempo de concentración expresado en horas.

**Método de Giandotti:**

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}}$$

Siendo:

L: longitud del cauce más largo en Km.

H: desnivel máximo de la cuenca en m.

A: superficie de la cuenca en Km<sup>2</sup>.

Tc: tiempo de concentración expresado en horas.

**Método de Bransbi Williams:**

$$T_C = 0.245 \times L A^{-1} \times S^{-2}$$

Siendo:

L: longitud del cauce más largo en Km.

A: superficie de la cuenca en Km<sup>2</sup>

S: pendiente media de la cuenca.

Tc: tiempo de concentración expresado en horas.

**Coeficiente de escorrentía.** - Coeficiente que indica la parte de la lluvia que escurre superficialmente. Este coeficiente varía entre 0 y 1:

Para la cuenca urbana en estudio se determinó:  $C_{prom} = 0.72$

**2.2.2 Análisis estadístico de datos hidrológicos.****Distribución de probabilidades****Distribución Normal:**

$$X = \bar{X} + k_T \cdot S$$

Donde:

X: valor extremo buscado ( $P_{\max}(T)$ ).

$\bar{X}$ : media de la serie de valores del registro histórico.

S: desviación estándar de la serie de valores del registro histórico

$K_T$ : factor de frecuencia:

$$K_T = W - \frac{2.515517 + 0.802853W + 0.010328W^2}{1 + 1.43278W + 0.189269W^2 + 0.001308W^3}$$

$$W = \left[ \ln \left( \frac{1}{p^2} \right) \right]^{1/2}$$

Siendo:  $p = 1/T$

### **Distribución Log Normal de 2 Parámetros**

Guarda similitud con la distribución normal; sin embargo, sus medidas de tendencia central y dispersión se calculan considerando el logaritmo de los datos provenientes del registro histórico.

La relación se plantea como:  $\ln[X_T] = X_Y + K S_Y$

De donde:  $X_T = e^{\ln(X_T)}$

### **Distribución Gumbel:**

$$X = \bar{X} + k_T \cdot S$$

Donde:

X: valor extremo buscado ( $P_{\max}(T)$ ).

$\bar{X}$ : media de la serie de valores del registro histórico.

S: desviación estándar de la serie de valores del registro histórico

$K_T$ : factor de frecuencia:

$$K_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0.5772 + \ln \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right] \right\}$$

Se tiene también:

La escala ( $\alpha$ ):

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} S$$

La posición ( $\beta$ ):

$$\beta = \bar{X} - 0.5772\alpha$$

### Prueba de datos dudosos

En una muestra de datos, se identifican puntos que se desvían significativamente del comportamiento general, denominados outliers o valores atípicos. Estos pueden afectar negativamente el análisis estadístico y la interpretación de resultados, por lo que su detección y evaluación son cruciales. El Water Resources Council sugiere utilizar una prueba específica para identificar datos dudosos, permitiendo discernir cuáles son realmente atípicos (Chow, Maidment, & Mays, 1994). La eliminación de outliers se realiza considerando criterios matemáticos e hidrológicos para no distorsionar los parámetros estadísticos, especialmente en muestras pequeñas donde un solo dato puede tener un gran impacto. Al decidir si un dato debe ser descartado, se evalúa su relevancia y contexto, asegurando que solo se eliminen aquellos que no reflejan adecuadamente la realidad del fenómeno estudiado. Para determinar qué valores son aceptables, se utilizan ecuaciones que establecen intervalos de confianza basados en estadísticas descriptivas como la media y la desviación estándar. Este proceso es fundamental para garantizar la calidad y confiabilidad de los datos hidrológicos utilizados en estudios posteriores (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

La siguiente ecuación de frecuencias puede utilizarse para detectar datos dudosos altos:

$$x_H = \bar{X} + k_N \cdot S$$

La siguiente ecuación se utiliza para detectar valores atípicos bajos:

$$x_L = \bar{X} - k_N \cdot S$$

Donde:  $x_H$  = corresponde al umbral superior atípico expresado en unidades de registro.

$x_L$  = representa el umbral inferior atípico, expresado en unidades logarítmicas.

$\bar{X}$  = indica el promedio logarítmico de los picos sistemáticos (X's), excluyendo aquellos asociados a caudales nulos, valores por debajo de la base del medidor y registros previamente identificados como atípicos.

$S$  = denota la desviación estándar de los valores  $X$ 's.

$k_N$  = es el coeficiente  $K$  dependiente del tamaño muestral  $n$ , cuyo valor se consulta en la Tabla 1.

*Tabla 1*

*Valores del coeficiente  $K_n$  en función del tamaño muestral.*

Tamaño de muestra $n$	$K_n$	Tamaño de muestra $n$	$K_n$	Tamaño de muestra $n$	$K_n$	Tamaño de muestra $n$	$K_n$
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	2.65	55	2.804	-	-

*Nota.* El coeficiente  $K_n$  depende del tamaño de la muestra “ $n$ ” y es adaptado de (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

### **Pruebas de bondad de ajuste**

En la evaluación de datos empíricos, se utilizan pruebas de bondad de ajuste para determinar si un conjunto de valores se alinea con una distribución teórica específica.

Estas pruebas son fundamentales en estadística, ya que permiten verificar la adecuación de un modelo a los datos observados, evaluando si las frecuencias observadas en una muestra se corresponden con las frecuencias esperadas bajo una hipótesis nula (Chow, Maidment, & Mays, 1994). Para identificar discrepancias significativas entre los datos y la distribución propuesta, se pueden emplear ajustes gráficos o pruebas estadísticas (Villón, 2005). El uso de estas pruebas es crucial para asegurar la validez de los análisis realizados, ya que una mala adecuación del modelo puede llevar a conclusiones erróneas. Por lo tanto, el proceso de evaluación incluye tanto la identificación de la distribución adecuada como la aplicación rigurosa de las pruebas pertinentes para validar los resultados obtenidos.

Las más conocidas son las siguientes:

- **Ajuste gráfico**

Consiste en comparar las curvas obtenidas a partir de la función empírica con aquellas derivadas de la función teórica, con el fin de evaluar el grado de similitud entre ambas. Para ello puede emplearse papel milimétrico, en el cual las distribuciones tienden a representarse como una línea recta (Villón, 2005).

- **Prueba de Kolmogorov – Smirnov**

Este procedimiento estadístico permite identificar la distribución que mejor representa al modelo planteado. La técnica se basa en calcular la diferencia absoluta máxima (D) entre la función de distribución empírica  $F_o(X_m)$  y la función teórica  $F(X_m)$ , de acuerdo con la expresión:

$$\Delta = \text{máx} |F(X_m) - F_o(X_m)|$$

(Villón, 2005).

Donde:

$\Delta$ : Estadístico de Sirmov- Kolmogotov.

$F(X_m)$ : Probabilidad de la distribución teórica.

$F_o(X_m)$  : Probabilidad empírica de los datos.

Si  $\Delta < \Delta_o$ , el ajuste es bueno para el nivel de significación seleccionado.

Si  $\Delta \geq \Delta_o$ , el ajuste no es bueno para el nivel de significación seleccionado.

La estimación empírica de probabilidades para los datos se obtiene aplicando la expresión propuesta por Weibull así:

$$F_o(X_m) = \frac{m}{n + 1}$$

Donde: m es el número de orden y n es el número de datos.

El estadístico debe ser comparado con un valor crítico ( $\Delta_o$ ) definido para un nivel de significancia  $\alpha$ , lo cual se muestra en la tabla 2.

*Tabla 2*  
*Valores referenciales para la prueba de Kolmogorov-Smirnov.*

Tamaño de la muestra	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.30	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

Nota. Los valores críticos corresponden a diferentes niveles de significancia empleados en la prueba Kolmogorov–Smirnov y es adaptado de (Aparicio, 1992).

### **Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF)**

Son la representación gráfica de la relación existente entre la intensidad, la duración y la frecuencia o período de retomo de la precipitación.

En este trabajo se emplea las curvas de intensidad – duración - frecuencia (IDF), las cuales permiten relacionar la intensidad de la lluvia, su duración y la frecuencia con la que puede llegar a presentarse. A esto último se le conoce como periodo de retorno. En dichas curvas, la intensidad de precipitación (mm/h) se presenta en el eje vertical (Y) y el tiempo de duración (min) en el horizontal (X).

Las distintas curvas IDF pueden quedar descritas estadísticamente mediante la siguiente ecuación compacta que relaciona simultáneamente a las tres variables involucradas:

$$I_{max} = \frac{KxT^m}{D^n}$$

Donde:

I: intensidad máxima (mm/hr)

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

T: período de retorno, en años.

D: duración de la precipitación (en minutos u horas).

### **2.2.3 Drenaje pluvial urbano**

#### **2.2.3.1 Hidrología Urbana**

Según (Butler, Digman, Makropulos, & Davies, 2018) , cuando llueve sobre una superficie natural, parte del agua se evapora, otra parte se transpira a través de las plantas y otra parte se infiltra en el suelo y se convierte en agua subterránea, mientras que el resto fluye por la superficie. Las dos últimas fracciones acaban llegando a un cuerpo de agua, como un río o una quebrada, aunque el escurrimiento superficial ocurre más rápidamente. En cambio, en las áreas urbanas, el volumen de agua que escurre es mayor que el infiltrado debido a la impermeabilización de las superficies provocada por la urbanización. Este fenómeno provoca un caudal máximo mayor que llega al río o quebrada en un tiempo reducido, lo que incrementa el riesgo de inundaciones repentinas y eleva la cantidad de sedimentos transportados. Además, la velocidad del flujo se intensifica, lo que provoca una mayor erosión en las superficies urbanas. Por lo tanto, la gestión del agua en entornos urbanos es crucial para mitigar estos riesgos y proteger la infraestructura.

Los modelos matemáticos que usa el programa SWMM 5.2 se basan en:

#### **Pérdidas por infiltración**

Bajo el concepto del fenómeno por el que el agua de lluvia penetra la superficie del terreno de los suelos no saturados de las áreas permeables de la subcuenca, el SWMM permite seccionar entre tres modelos diferentes de infiltración:

#### **Green-Ampt**

El modelo de Green-Ampt, formulado en 1911 por Green y Ampt, constituye una aproximación simplificada para estimar las pérdidas de agua por infiltración. Se fundamenta en la ecuación de Darcy y busca representar de manera práctica el avance del frente húmedo en el perfil del suelo(Gómez, 2006). La simplificación principal

consiste en considerar que la zona comprendida entre la superficie y el frente húmedo se encuentra completamente saturada, mientras que en la parte inferior de dicho frente persiste la humedad previa al evento de precipitación. A partir de este planteamiento, se definen las expresiones correspondientes a la infiltración acumulada ( $I$ ) y a la capacidad de infiltración o infiltrabilidad ( $f_c$ ).

$$f_c(t) = K_s \left( \frac{\psi \Delta \theta}{I(t)} + 1 \right) \quad \dots(1)$$

$$I(t) = K_s t + \psi \cdot \Delta \theta \cdot \ln \left( \frac{I(t)}{\psi \Delta \theta} + 1 \right) \quad \dots(2)$$

$$\Delta \theta = \eta - \theta_i \quad \dots(3)$$

$K_s$  = conductividad hidráulica (mm/h).

$\Psi$  = potencial de succión del frente húmedo (mm).

$\eta$  = porosidad (fracción).

$\theta_i$  = humedad inicial (fracción)

$\Delta \theta$  = déficit inicial humedad (fracción)

$I(t)$  = infiltración acumulada para el momento  $t$  (mm).

$f_c$  = capacidad de infiltración o infiltrabilidad (mm/h).

### **Horton**

El enfoque desarrollado por Horton se basa en evidencias empíricas que evidencian cómo, durante un evento de lluvia prolongada, la capacidad de infiltración tiende a decrecer de manera exponencial, pasando de un valor inicial máximo hasta alcanzar un mínimo estable (Rossman L. , 2015). La expresión matemática que representa este comportamiento se plantea en forma exponencial y se formula de la siguiente manera:

$$\frac{df(t)}{dt} = -k(f(t) - f_c)$$

Reorganizando la ecuación diferencial

$$\frac{df(t)}{f(t)-f_c} = -kdt$$

Integrando ambos lados:

$$\int \frac{df(t)}{f(t)-f_c} = \int -kdt$$

$$\ln|f(t) - f_c| = -kt + C$$

Al aplicar el logaritmo natural en ambos miembros de la ecuación, se introduce la constante de integración representada por  $C$ .

$$|f(t) - f_c| = e^{-kt+C} = e^C \cdot e^{-kt} = A \cdot e^{-kt}$$

$$f(t) - f_c = A \cdot e^{-kt} \dots (4)$$

Para determinar el valor de  $A$ , aplicamos la condición inicial: en  $t=0$ , la capacidad de infiltración es  $f_0$ :

$$f_{(0)} - f_c = A \cdot e^{-k(0)} = A$$

Sustituyendo el valor de  $A = f_{(0)} - f_c$  en la ecuación (4) obtenemos la fórmula de Horton.

$$f_p = f_\infty + (f_0 - f_\infty)e^{-k_d t} \dots (5)$$

Donde:

$f_p$  = capacidad de infiltración (mm/s).

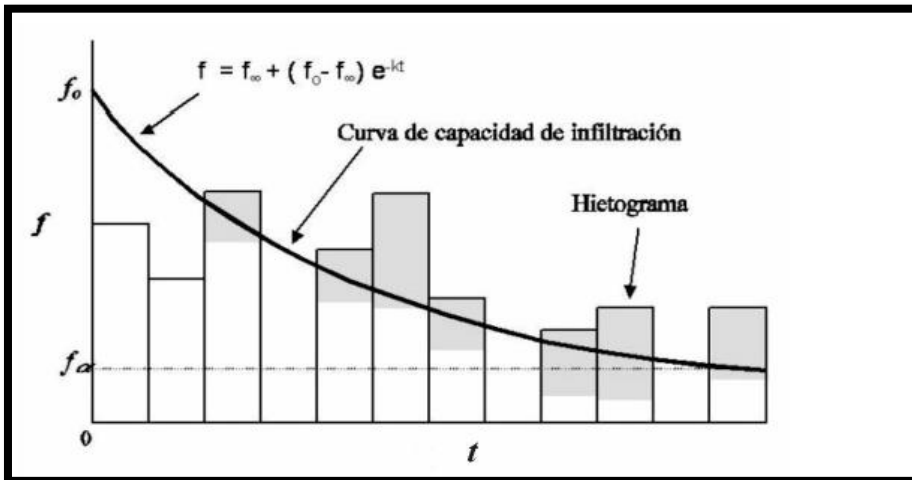
$f_\infty$  = capacidad de infiltración mínima o valor de infiltración para un tiempo infinito (mm/s).

$f_0$  = Valor inicial de la capacidad de infiltración para tiempo cero (mm/s).

$t$  = tiempo desde el inicio de la lluvia (s).

$k_d$  = coeficiente de decaimiento ( $s^{-1}$ ).

Figura 1: Comportamiento de la infiltración mediante el modelo de Horton.



Nota. Infiltración en el modelo de Horton (1933), adaptado de (Gómez V. , 2007)

$$F(t_p) = \int_0^{t_p} f_p dt = f_\infty * t_p + \frac{(f_0 - f_\infty)}{k_d} * (1 - e^{-k_d * t}) \dots (6)$$

F= capacidad de infiltración acumulada en el tiempo  $t_p$  (mm)

Cuando la curva que describe el proceso de infiltración se ubica por encima del hietograma, la capacidad de infiltración adopta el mismo valor que la intensidad de la precipitación (Gómez V. , 2007).

Donde:  $f(t) = \text{mínimo} [ f, i(t) ]$

Donde:

I =intensidad de lluvia (mm/h)

Según Horton, la infiltración decrece con el tiempo sin depender del volumen infiltrado, salvo cuando la intensidad de lluvia supera la capacidad del suelo (Gómez V. , 2007).

En SWMM, esta limitación se aborda mediante modificaciones al modelo, expresadas a través de las siguientes ecuaciones (Rossman & Huber, 2016).

$$F = f_\infty * t_p + \frac{f_0 - f_p}{k_d} \dots (7)$$

$$f_p = f_0 - k_d * F_e \dots (8)$$

$$F_e = \sum_i (f_i - f_\infty) * \Delta t \quad \dots (9)$$

$F_e$  = infiltración acumulada por encima de la capacidad de infiltración mínima  $f_\infty$  (mm).

$f_i$  = infiltración en el intervalo de tiempo anterior (mm).

$\Delta t$  = intervalo de tiempo (s).

El modelo ajusta la capacidad de infiltración  $f_p$  (ecuación 8) mediante la incorporación del término  $F_e$  (ecuación 9), lo que refleja una reducción progresiva hasta alcanzar la capacidad mínima del suelo. Se considera que una fracción del agua percola a dicho límite, de modo que la infiltración decrece con el tiempo. Esta formulación ofrece resultados más confiables en eventos de precipitación de baja intensidad (Rossman & Huber, 2016).

### Número de curva del SCS

El método del número de curva (CN) del SCS se desarrolló para estimar la escorrentía y es ampliamente usado gracias a sus tablas estandarizadas. En SWMM se aplica una variante que solo calcula la infiltración, mientras que otras pérdidas se estiman aparte; en este modelo, la ecuación (10) relaciona la escorrentía (Q), la precipitación (P) y la capacidad máxima de almacenamiento de humedad del suelo ( $S_{m\acute{a}x}$ ) (Rossman & Huber, 2016).

$$Q = \frac{P^2}{P + S_{m\acute{a}x}} \quad \dots (10)$$

Donde:

Q = escorrentía total (mm).

P = precipitación total (mm).

$S_{m\acute{a}x}$  = capacidad máxima de humedad del suelo (mm).

La capacidad máxima de humedad del suelo,  $S_{m\acute{a}x}$ , equivale a la diferencia del volumen de agua para suelo totalmente saturado y el volumen de agua para el suelo totalmente drenado. Este parámetro se calcula a partir del número de curva (CN) con la ecuación 11) (Rossman & Huber, 2016).

$$S_{m\acute{a}x} = \frac{1000}{CN} - 10 \dots (11)$$

Donde:

$S_{m\acute{a}x}$  = capacidad máxima de la humedad del suelo (mm).

CN = Número de curva.

El número de curva (CN) se vincula con la capacidad de infiltración máxima, la textura del suelo y la cobertura o uso del terreno. Cada subcuenca recibe un valor de CN entre 0 y 100, determinado por estas características. Los suelos se agrupan en clases hidrológicas A, B, C y D, donde A corresponde a materiales altamente permeables y D a los más impermeables. Así, un CN cercano a 100 indica ausencia de infiltración, mientras que un CN próximo a 0 refleja una infiltración elevada (Gómez V. , 2007).

En este modelo, al no considerarse las demás pérdidas incluidas en el enfoque tradicional, la fracción de lluvia que no logra infiltrarse se transforma directamente en escorrentía superficial. En consecuencia, la infiltración acumulada  $F$  (mm) se determina mediante la Ecuación 13 (Rossman & Huber, 2016).

$$F = P - Q \dots (12)$$

$$F = P - \frac{P^2}{P + S_{m\acute{a}x}} \dots (13)$$

$F$  = infiltración total acumulada (mm).

$Q$  = escorrentía total (mm)

$P$  = precipitación total (mm).

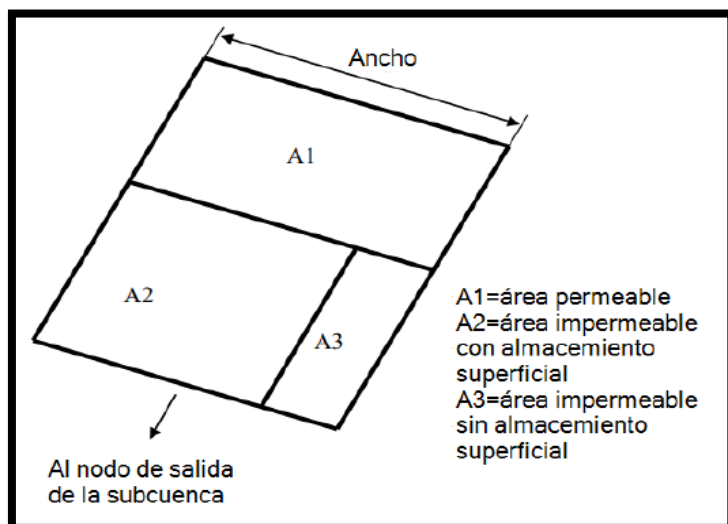
$S_{\text{máx}}$ = capacidad máxima de la humedad del suelo (mm).

### Pérdidas por almacenamiento superficial

El almacenamiento superficial se determina a partir de una abstracción inicial ( $h_0$ ), la cual se representa en la figura 3 y se expresa en la ecuación 14. (Rossman & Huber, 2016).

El modelo SWMM estima el almacenamiento diferenciando dos zonas principales: superficies permeables e impermeables. En el caso de las áreas impermeables, se asigna un porcentaje específico en el que puede acumularse agua, lo que en la práctica implica una subdivisión en tres categorías, como se ilustra en la figura 2. La abstracción inicial puede incluir tanto el almacenamiento superficial como la interceptación; sin embargo, debido a la dificultad de determinar este parámetro de manera directa, se recomienda emplear valores de referencia reportados en la literatura especializada para su estimación (Gómez, 2006).

*Figura 2*  
*división idealizada de la subcuenca en el modelo.*



Nota. La figura muestra cómo SWMM subdivide las áreas en zonas permeables e impermeables, considerando además una fracción de almacenamiento en la superficie impermeable; adaptado de (Rossman & Huber, 2016).

## Pérdidas por evapotranspiración

La evapotranspiración únicamente se considera en simulaciones de carácter continuo. En el presente análisis, al trabajar con una simulación de tipo evento, este proceso no resulta relevante, dado que no llega a manifestarse en dicho intervalo temporal.

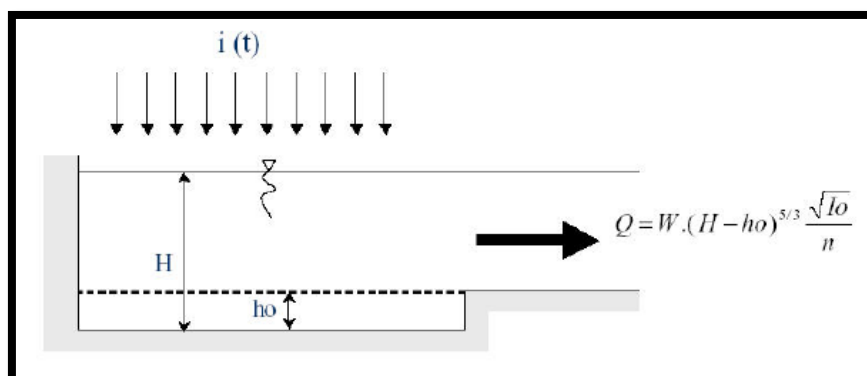
## Transformación lluvia- escorrentía

La precipitación neta corresponde a la diferencia entre la lluvia total y las pérdidas, siendo el punto de inicio de la transformación lluvia - escorrentía. En SWMM, este proceso se modela mediante un depósito no lineal por subcuenca, combinando un modelo de almacenamiento con la ecuación de Onda Cinemática. El nivel del depósito ficticio  $H$  se vincula con el caudal de salida, incorporando una abstracción inicial ( $h_0$ ) que impide el inicio de escorrentía hasta superarse dicho umbral. De este modo, el excedente  $(H-h_0)$  se asocia con la altura normal del flujo de salida (Gómez V. , 2007). El cálculo del caudal depende de parámetros físicos como ancho, pendiente y rugosidad de Manning. La escorrentía generada puede dirigirse hacia el punto de salida o redistribuirse entre áreas permeables e impermeables (Rossman L. , 2015).

$$Q = W * (H - h_0)^{5/3} * \frac{\sqrt{I_0}}{n} \dots (14)$$

Figura 3

Modelo conceptual de escorrentía en SWMM 5.2



Nota. El esquema muestra cómo SWMM 5.2 transforma la precipitación neta en escorrentía mediante un depósito no lineal con una abstracción inicial ( $h_0$ ), adaptado de (Rossman & Huber, 2016).

Donde:

$i(t)$  Intensidad de precipitación caída en la subcuenca.

$W$  = Ancho de la subcuenca (m).

$H$  = Altura de agua en la subcuenca (mm).

$h_0$  = Abstracción inicial o umbral de escorrentía de la subcuenca (mm).

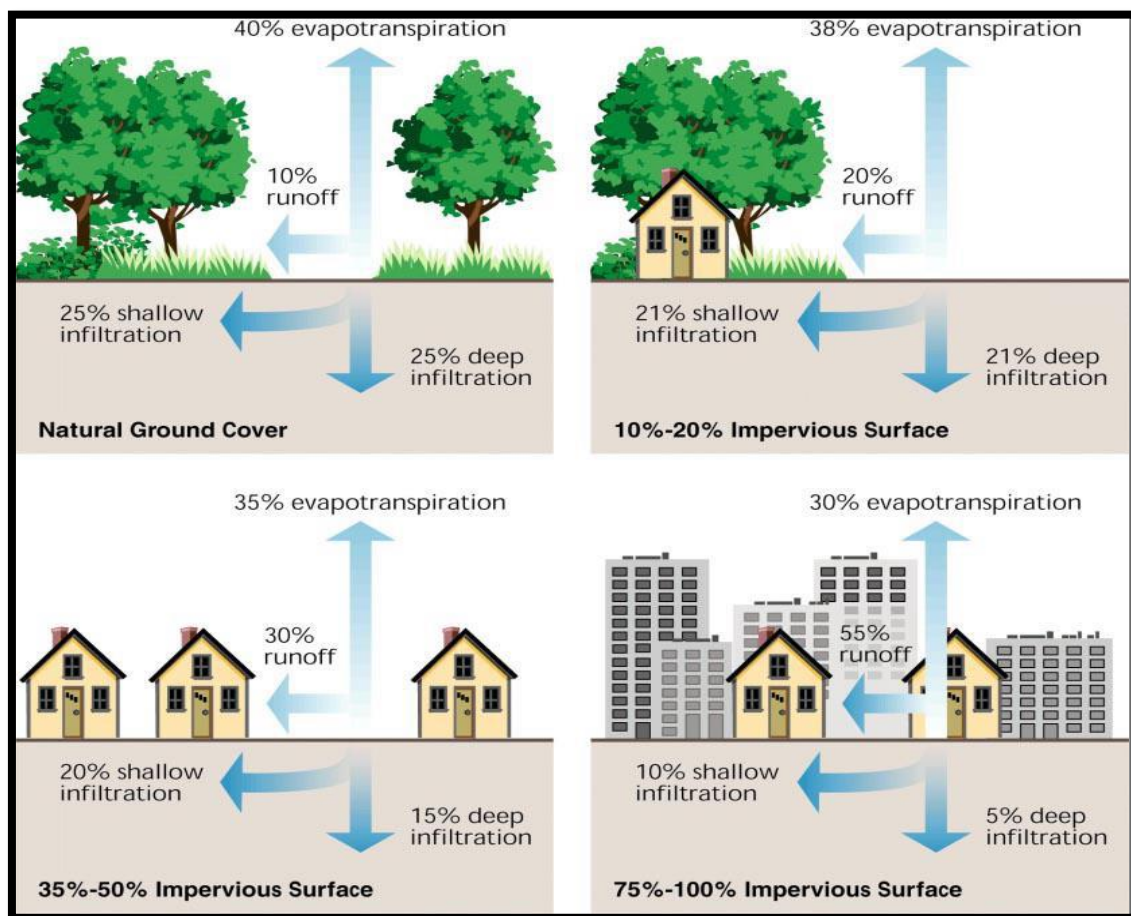
$l_0$  = Pendiente media de la subcuenca (%).

$n$  = Coeficiente de rugosidad superficial (adimensional).

$Q$  = caudal de escorrentía (mm/h)

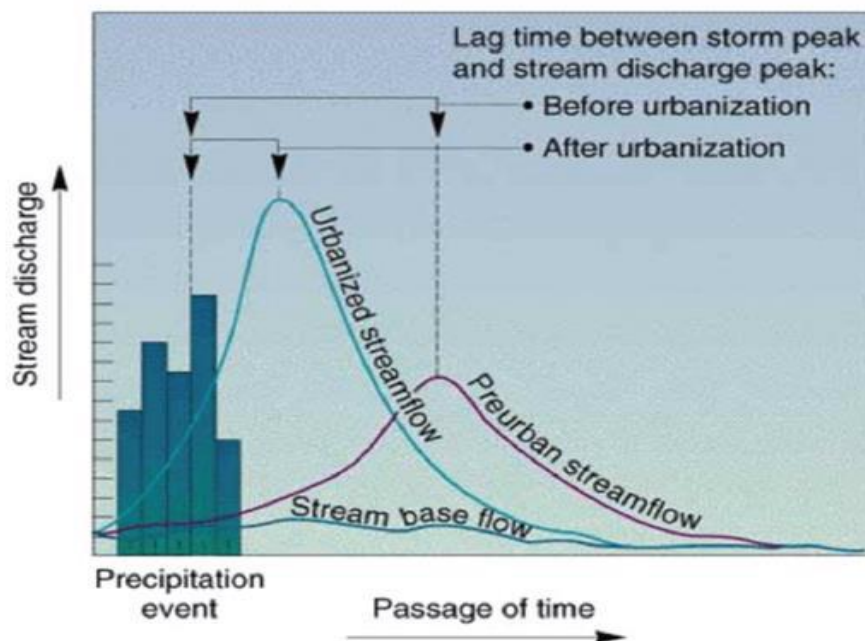
*Figura 4*

*Alteraciones en el ciclo hidrológico generado por las urbanizaciones.*



Nota. La figura ilustra las principales modificaciones del ciclo hidrológico como consecuencia de procesos de urbanización, Adaptado de Department of Energy and Environment (DOEE., 2020).

Figura 5  
Modelización comparativa de caudales en cuencas urbanas y rurales



Nota. La figura muestra las diferencias en la respuesta hidrológica de áreas urbanizadas frente a zonas rurales, destacando la variación en la generación y concentración de caudales, adaptado de Vogel, Stringer y Beem (2017).

### 2.2.3.2 Hidráulica Urbana

En las áreas urbanas, la escorrentía generada por precipitaciones se dirige hacia los sistemas de drenaje, que incluyen calles, cunetas y alcantarillas, entre otros conductos.

De acuerdo con (Guo, 2017), el flujo dentro de este tipo de infraestructura hidráulica se caracteriza por ser no permanente, propagándose a manera de ondas largas, cuya dinámica puede modelarse mediante las ecuaciones de Saint-Venant.

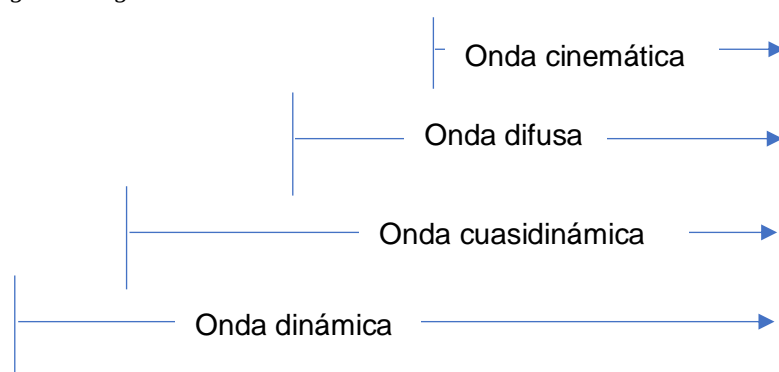
Al considerar distintos niveles de simplificación en el análisis del flujo en canales, se reconocen cuatro categorías de ondas largas no estacionarias: dinámica, cuasi-dinámica, difusiva y cinemática. Entre ellas, la onda dinámica presenta la mayor complejidad, dado que incorpora los efectos de la gravedad, fricción, presión, así como las aceleraciones tanto espaciales como temporales.

El enrutamiento mediante onda dinámica constituye el método que más se aproxima al comportamiento real de los sistemas de drenaje pluvial, especialmente cuando se integran distintos tipos de colectores. Este enfoque permite representar con mayor

fidelidad las variaciones del flujo frente a cambios en las condiciones hidráulicas (Guo, 2017).

Las ecuaciones de Saint-Venant describen el flujo unidimensional y no permanente en tuberías a lámina libre (Meirlaen, 2002, p. 16). SWMM utiliza estas ecuaciones mediante un esquema numérico de diferencias finitas explícitas, requiriendo pasos de tiempo pequeños para garantizar la estabilidad de la solución (Gómez Valentín, 2007).

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\beta Q^2}{A} \right) + \cos\theta \frac{\partial h}{\partial x} - S_0 - S_f = 0 \quad \dots (15)$$



SWMM tiene tres opciones para el cálculo hidráulico (Gómez Valentín, 2007):

✓ **Régimen permanente (Steady Flow)**

En este método, el hidrograma se desplaza desde los conductos superiores hacia los inferiores sin alterarlo ni generar desfases temporales. Su aplicación se limita a redes arborescentes cuyos nodos de salida se conectan a un único conducto (Gómez Valentín, 2007).

✓ **Onda cinemática (Kinematic Wave)**

La opción de onda cinemática aproxima las ecuaciones de Saint-Venant considerando únicamente los términos de gravedad y fricción, ignorando las fuerzas de inercia y presión. Este método se aplica únicamente en redes jerárquicas, permite pasos de tiempo mayores y ofrece mayor estabilidad, especialmente en flujos rápidos. Su uso está limitado a redes acíclicas dirigidas; los nodos de unión pueden tener un único conducto de salida, los nodos divisores deben contar con dos enlaces de salida tipo conducto, y los nodos de almacenamiento pueden presentar múltiples enlaces de

cualquier tipo. Las compensaciones ascendentes en los conductos se ignoran, salvo en nodos de almacenamiento.

#### ✓ **Onda dinámica (Dynamic Wave)**

La onda dinámica toma en cuenta todas las fuerzas como: gravedad, fricción, presión e inercia, resolviendo las ecuaciones completas de Saint-Venant, y puede aplicarse en redes jerárquicas y malladas. En SWMM, al utilizar un esquema numérico de diferencias finitas explícitas, se requieren intervalos de tiempo cortos, usualmente menores a un minuto. Para realizar el cálculo hidráulico, es indispensable contar con información detallada de la red, incluyendo topología, cotas y geometría de los conductos. SWMM representa la red mediante nodos, que corresponden a uniones, divisores, salidas o tanques de almacenamiento, y conductos, para los cuales se especifican nodo de entrada y salida, geometría, rugosidad y diferencias de cota entre conducto y cámara.

#### **Discretización mediante método numérico de diferencias finitas explícitas**

En SWMM 5.2 se emplea una variante del método explícito de diferencias finitas para discretizar las ecuaciones (15) y (16), transformando las derivadas espaciales y temporales en diferencias algebraicas que se resuelven de forma iterativa (Chow, Maidment, & Mays, 1994). El modelo de onda cinemática se representa mediante la

ecuación de continuidad:  $\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \dots (16)$

La ecuación de momento se puede expresar como:  $A = \alpha \cdot Q^\beta \dots (17)$

Donde la ecuación de Manning considerando  $S_0 = S_f$  y  $R = A/P$  es:  $Q = \frac{1.49S_0^{1/2}}{nP^{2/3}} A^{5/3}$

La cual puede resolverse para A como:  $A = \left( \frac{nP^{2/3}}{1.49\sqrt{S_0}} \right)^{3/5} Q^{3/5}$

$\alpha = \left[ \frac{nP^{2/3}}{1.49\sqrt{S_0}} \right]^{0.6}$  y  $\beta = 0.6$  para este caso.

La ecuación (16) contiene dos variables dependientes, A y Q pero A puede eliminarse diferenciando la ecuación (17) (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \alpha\beta Q^{\beta-1} \left( \frac{\partial Q}{\partial t} \right) = q \dots (18)$$

Las ondas cinemáticas resultan de cambios en Q, donde un incremento de flujo dQ, se puede escribir como:  $dQ = \frac{\partial Q}{\partial x} dx + \frac{\partial Q}{\partial t} dt$

Aplicando diferencias finitas de la derivada espacial para un esquema lineal tenemos:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} \approx \frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}}{\Delta x}$$

La forma de diferencias finitas de la derivada temporal es:  $\frac{\partial Q}{\partial t} \approx \frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^j}{\Delta t}$

Para encontrar la ecuación lineal Q promediamos, luego:  $Q \approx \frac{Q_{i+1}^j + Q_i^{j+1}}{2}$

Obtenemos el caudal lateral "q" promediando los valores en la (i+1) – ésima línea de distancia (Chow, Maidment, & Mays, 1994) con:  $q \approx \frac{q_{i+1}^{j+1} + q_{i+1}^j}{2}$

Sabemos que en la ecuación (18):  $\frac{\partial Q}{\partial x} + \alpha\beta Q^{\beta-1} \left( \frac{\partial Q}{\partial t} \right) = q$

Reemplazando tenemos:

$$\frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^j}{\Delta x} + \alpha\beta \left( \frac{Q_{i+1}^j + Q_i^{j+1}}{2} \right)^{\beta-1} \left( \frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^j}{\Delta t} \right) = \frac{q_{i+1}^{j+1} + q_{i+1}^j}{2}$$

Despejando se tiene:

$$Q_{i+1}^{j+1} = \frac{\left[ \frac{\Delta t}{\Delta x} Q_i^{j+1} + \alpha\beta Q_{i+1}^j \left( \frac{Q_{i+1}^j + Q_i^{j+1}}{2} \right)^{\beta-1} + \Delta t \left( \frac{q_{i+1}^{j+1} + q_{i+1}^j}{2} \right) \right]}{\left[ \frac{\Delta t}{\Delta x} + \alpha\beta \left( \frac{Q_{i+1}^j + Q_i^{j+1}}{2} \right)^{\beta-1} \right]}$$

**Capacidad hidráulica de la calle:** Para determinar la capacidad de la sección de una calle se utiliza la fórmula de Izzard, esta es muy útil para secciones triangulares. (U.S. department of transportation, 2009, pág. 97)

$$Q = 0.00175 \left( \frac{Z}{n} \right) S_0^{1/2} Y^{8/3}$$

Donde:

Q= caudal (l/s).

$Z = \frac{1}{S_x}$  (Inverso de la pendiente transversal)

Y= Profundidad del agua en el brocal (cm).

$S_0$ = pendiente longitudinal de la calle (m/m).

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

El caudal en canales abiertos como tuberías que no fluyen a presión como canales, zanjas y cunetas es fundamental para el diseño de sistemas de drenaje por lo cual se usa la fórmula de Manning y se expresa así:

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S_0^{1/2}$$

Teniendo la velocidad, el caudal (Q) se puede calcular usando la ecuación de continuidad (Chow, Maidment, & Mays, 1994):

$$Q = VA = \frac{A}{n} R_h^{2/3} S_0^{1/2}$$

### **Eficiencia (E%)**

La eficiencia en sistemas de drenaje urbano puede analizarse con varias dimensiones como: eficiencia hidráulica, eficiencia hidrológica, eficiencia de tratamiento (calidad del agua) y eficiencia económica o funcional. En general, se refiere a la capacidad del sistema para captar, transportar, infiltrar, almacenar o tratar la escorrentía urbana generada por eventos de lluvia, con el objetivo de minimizar el riesgo de inundaciones la erosión y otros impactos negativos mejorando la calidad ambiental.

La eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano, se calculará de la siguiente manera, adaptado de (U.S. department of transportation, 2009):

$$E\% = \frac{Q_{tratado}}{Q_{generado}} \times 100\%$$

Donde:

$Q_{\text{Tratado}}$  = Caudal tratado o captado de la subcuenca en estudio ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$Q_{\text{generado}}$  = caudal generado de la microcuenca en estudio ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Otro indicador de la eficiencia es la retención o reducción del pico de escorrentía según (Palla, Gnecco, & Lanza, 2010, pág. 151) se expresa a continuación:

$$\text{Eficiencia de reducción del Pico (\%)} = \left( \frac{Q_{\text{Sin SUDS}} - Q_{\text{con SUDS}}}{Q_{\text{Sin SUDS}}} \right) \times 100$$

Donde:

$Q_{\text{Sin SUDS}}$  = Caudal sin SUDS (l/s)

$Q_{\text{con SUDS}}$  = Caudal con SUDS (l/s)

#### **2.2.4 EPA SWMM 5.2**

Para la modelación hidrológica e hidráulica se empleará el Storm Water Management Model (SWMM) de la EPA, conocido en español como Modelo de Gestión de Aguas Pluviales. Este programa informático permitirá diseñar la red de drenaje pluvial con el objetivo de evitar futuras inundaciones. SWMM es muy importante para diseñar sistemas de drenaje y saneamiento, ya que puede simular el movimiento del agua de precipitaciones y de contaminantes del suelo. El modelo puede utilizarse para simular un solo evento pluviométrico o un amplio período de tiempo continuo.

Para este estudio, se utilizará el EPA SWMM, versión 5.2. Esta decisión se tomó teniendo en cuenta que esta versión incorpora la novedad de las técnicas de drenaje sostenible o LID.

#### **Herramientas EPA SWMM versión 5.2**

En SWMM 5.2, las herramientas LID se representan mediante capas superpuestas verticalmente, cuyas propiedades se definen por unidad de área. Cada diseño puede adaptarse a distintas dimensiones de cobertura. Los parámetros que conforman estas capas, utilizados para modelar los SUDS, se detallan a continuación:

*Tabla 3*  
*Parámetros de las capas que integran los SUDS.*

Capas	Características y dimensiones
Superficie	Altura Berma (mm)
	Vegetación (Fracción de Volumen)
	Rugosidad de la superficie ( <i>n</i> Manning)
	Pendiente de la Superficie (%)
Suelo	Grosor (mm)
	Porosidad (fracción de volumen)
	Capacidad del campo (Fracción de volumen)
	Punto de marchitez (fracción de volumen)
	Conductividad
	Pendiente de conductividad
	Cabeza de Succión (mm)
Drenaje	Coefficiente de flujo
	Exponente de flujo
	Compensación
Almacenamiento	Grosor (mm)

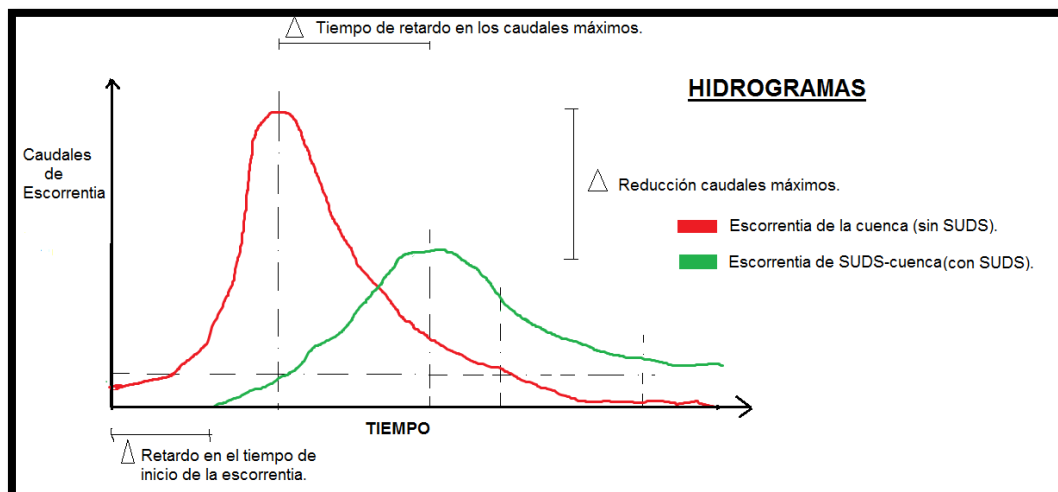
Nota. Los parámetros corresponden a las propiedades de las capas que conforman los SUDS, definidos por unidad de área, según lo indicado en SWMM 5.2 (Rossman, 2015).

Como se observa en la Tabla 3, hay numerosos parámetros a tener en cuenta en los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS); no obstante, los parámetros específicos a utilizar estarán determinados por el tipo de SUDS que se pretenda diseñar.

### **2.2.5 Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)**

Los SUDS son elementos superficiales, multifuncionales y permeables que forman parte de la estructura urbana, hidrológica y paisajística de las ciudades; es decir son soluciones basadas en la naturaleza. Los SUDS (Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible) pueden clasificarse según distintos criterios. Una forma se basa en su función principal, como retención, infiltración o filtración de escorrentía. Otra considera el tipo de actuación, diferenciando entre estructuras puntuales o distribuidas. También pueden clasificarse según el sistema empleado y su ubicación, ya sea en áreas públicas, privadas, infraestructuras lineales o zonas recreativas. (De la Fuente et al., 2011).

Figura 6  
Hidrogramas en cuencas con y sin implementación de SUDS.



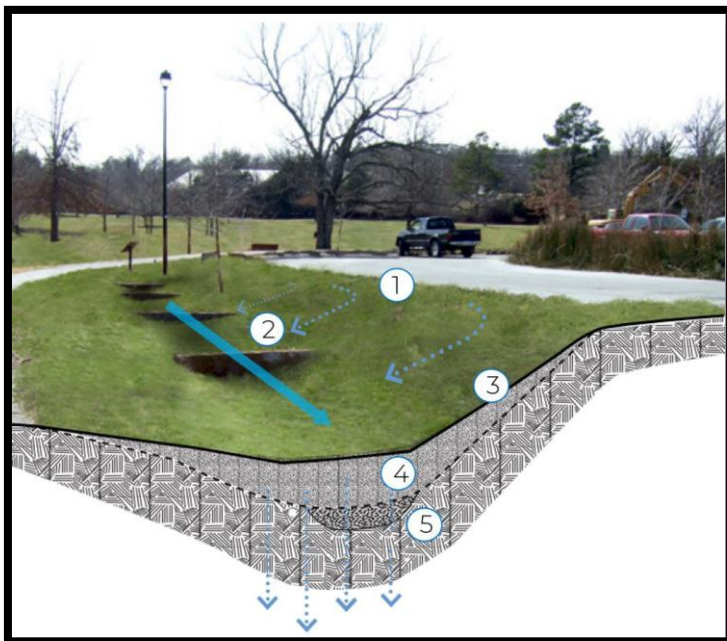
Nota. La figura compara la respuesta hidrológica en cuencas donde se aplican SUDS, frente a cuencas sin su implementación, mostrando la reducción de caudales máximos y el retraso en el tiempo pico, adaptado de De la Fuente et al. (2011).

### 2.2.5.1 Tipos de SUDS

#### Cunetas vegetativas (vegetative swale)

Los canales abiertos de poca profundidad, conocidos como cunetas vegetadas, están cubiertos de vegetación y reciben las escorrentías provenientes de superficies impermeables cercanas. Su función principal es transportar y tratar estas escorrentías, permitiendo también su infiltración cuando es posible (De la Fuente et al., 2011). La profundidad del agua en las cunetas es generalmente baja y presentan pendientes suaves que facilitan el transporte del agua hacia otros Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) o elementos del drenaje urbano. El flujo en estas cunetas suele ser lento, lo que favorece el filtrado a través de la vegetación y, en algunos casos, la infiltración. En situaciones donde las pendientes son pronunciadas, se pueden incluir represas para disminuir la velocidad del flujo y promover la infiltración (De la Fuente et al., 2011). La entrada de escorrentías a las cunetas suele ser homogénea desde los laterales, y las pendientes laterales se diseñan de manera suave para minimizar la erosión y facilitar la distribución de contaminantes en la vegetación adyacente (De la Fuente et al., 2011).

Figura 7  
Cunetas vegetativas.



Nota. La figura muestra una aplicación de cunetas verdes, utilizadas para el control y filtración de escorrentía en áreas urbanas, según lo establece University of Arkansas Community Design Center (2010).

Donde:

- 1) Representa la entrada lateral de las escorrentías.
- 2) Representa represas para la reducción de velocidad (opcional, según pendiente longitudinal).
- 3) Representa las pendientes laterales suaves (máxima pendiente 1V:3H)
- 4) Representa el medio filtrante.
- 5) Representa la capa drenante (conducto drenante opcional).

### Criterios de Diseño:

Se sugiere emplear una sección trapezoidal, dado que esta geometría resulta eficiente en términos de construcción, operación y mantenimiento. La longitud de la base generalmente varía entre 0,5 y 3 m, aunque puede ajustarse según las condiciones específicas. Para la pendiente longitudinal se recomiendan valores entre 0,5 % y 5 %. Cuando la pendiente supera el 3 %, se aconseja incorporar elementos de contención transversal. En cambio, si la pendiente es inferior al 1,5 % y la infiltración no es factible, se deben considerar conductos de drenaje en la base. Las pendientes laterales deben ser suaves (1V:3H o 1V:4H, cuando sea posible), lo que disminuye el riesgo de erosión y facilita las labores de mantenimiento.

### **Sistemas de biorretención (bio- retention cell).**

Los sistemas de biorretención consisten en excavar depresiones poco profundas para acumular agua temporalmente, donde se coloca vegetación con una capa de fertilizante y el suelo con la permeabilidad adecuada (Wyoming Department of Environmental Quality, 2013).

Esta técnica se emplea para mejorar tanto la calidad como el volumen de la escorrentía. La calidad se optimiza a través de procesos de filtrado y sedimentación en la capa del suelo, así como en las raíces y microorganismos presentes, lo que imita los procesos biológicos que ocurren en el suelo de ecosistemas naturales (Wyoming Department of Environmental Quality, 2013). Por otro lado, la reducción del volumen de escorrentía se logra al fomentar el almacenamiento superficial y la infiltración del agua. Esto significa que, al permitir que una mayor cantidad de agua se absorba en el suelo y se almacene temporalmente en la superficie, se disminuye la cantidad de escorrentía que fluye rápidamente hacia cuerpos de agua. Así, esta técnica no solo contribuye a la gestión del agua de lluvia, sino que también ayuda a mitigar problemas relacionados con inundaciones y contaminación, promoviendo un manejo más sostenible del agua en entornos urbanos. (Department of Environmental Protection, 2006) .

*Figura 8*  
*Sistemas de biorretención.*



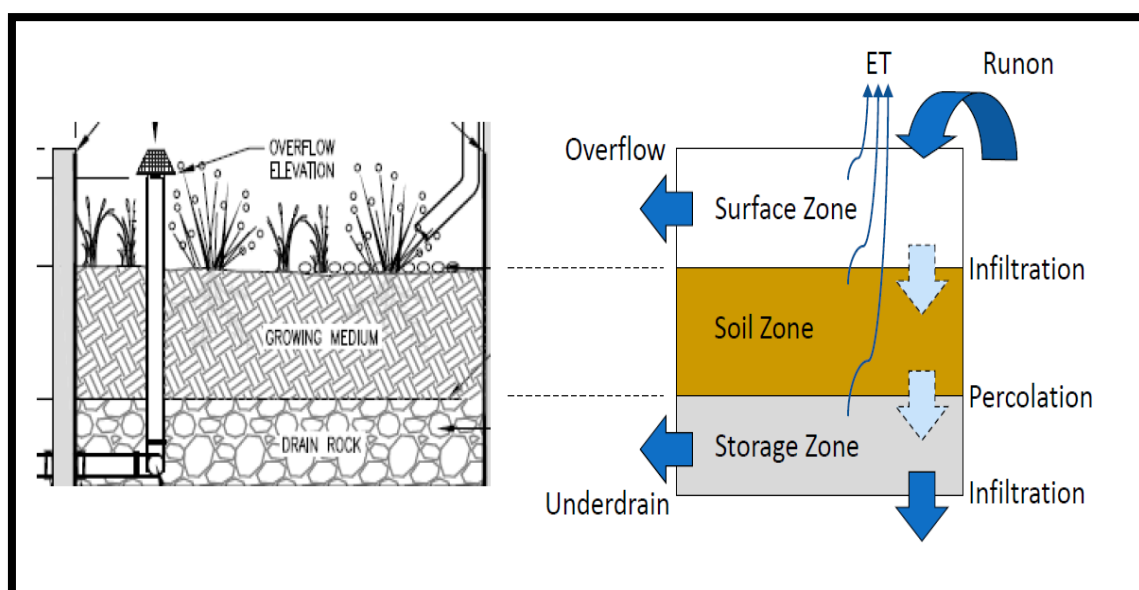
Nota. La figura ilustra un ejemplo de sistemas de biorretención utilizados para la captura y tratamiento de escorrentía urbana, adaptado de Woods Ballard et al. (2015).

### Jardines de lluvia (rain gardens)

Los Jardines de Lluvia es un tipo de sistemas de drenaje urbano sostenible, específicamente dentro de los sistemas de infiltración. Estas pequeñas estructuras están diseñadas para captar la escorrentía superficial generada por techos, terrazas y otras superficies impermeables, como estacionamientos y calles. Su objetivo principal es reducir y retardar los volúmenes de escorrentía, almacenando el agua y facilitando su infiltración en el suelo (James, 2012). Según el Manual de Drenaje Urbano, estos jardines son fáciles de implementar, requieren poco espacio y son económicos, lo que los hace ideales para residencias, propiedades comerciales e industriales. Además de mejorar el paisajismo, contribuyen a la gestión del agua pluvial y promueven la biodiversidad al proporcionar hábitats para diversas especies vegetales y animales. Por lo tanto, los Jardines de Lluvia representan una opción efectiva y sostenible para el manejo del agua en entornos urbanos (James, 2012).

Los jardines de lluvia están compuestos por tres capas horizontales, que se aprecian en la figura 6 (James, 2012).

*Figura 9*  
*Sección típica de jardín de lluvia.*



Nota. La figura representa una sección de jardín de lluvia, adaptado de James (2012).

### **Techos verdes (Green roofs)**

Los techos verdes son sistemas vivos que integran vegetación en la estructura del techo de un edificio. Estos sistemas incluyen un sustrato de suelo y una membrana impermeable (Dirección de Obras Hidráulicas, 2013). Se componen de capas que sostienen la vegetación, y su principal función es interceptar la precipitación para disminuir el volumen de escorrentía generada (Woods et al., 2007). Estos techos no solo ayudan a gestionar el agua pluvial, sino que también ofrecen beneficios estéticos y ecológicos al mejorar el entorno urbano. Además, contribuyen a la sostenibilidad al promover la biodiversidad y reducir el impacto ambiental asociado con las superficies impermeables. En resumen, los techos verdes representan una solución efectiva para el manejo del agua en áreas urbanas, integrando elementos naturales en la infraestructura construida.

*Figura 10*  
*Techo verde.*



Nota. La ilustración representa un techo verde, detallando la disposición estructural y las capas de sustrato, adaptado de Woods Ballard et al. (2015).

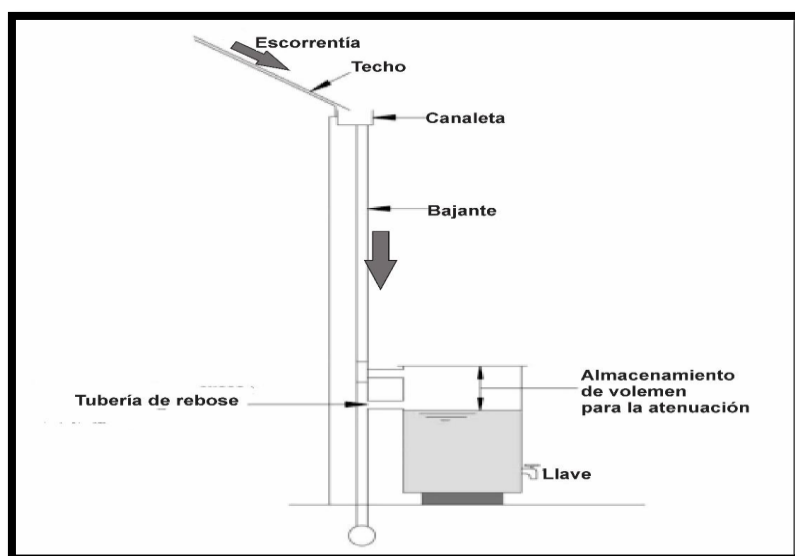
### **Depósitos de lluvia (rain barrel)**

Los depósitos son una solución eficaz para gestionar el agua de lluvia, contribuyendo a la reducción del volumen de escorrentía que puede causar inundaciones y mejorando la sostenibilidad del uso del agua en áreas urbanas. Su implementación permite

aprovechar un recurso natural valioso, minimizando la dependencia de fuentes de agua convencionales y promoviendo prácticas más sostenibles en la gestión hídrica.

El propósito de un depósito o cisterna de lluvia es recolectar la escorrentía proveniente de techos y otras superficies para almacenarla y utilizarla en el futuro. Estos depósitos tienen diversas aplicaciones, que dependen de la calidad del agua recolectada, como riego o uso en inodoros; sin embargo, no están destinados para el consumo humano directo. Para que el agua recolectada sea apta para el consumo humano, debe someterse a un tratamiento que cumpla con las normativas de calidad establecidas (Woods et al., 2007).

*Figura 11*  
*Aplicación del tipo de SUDS - depósito de lluvia.*



Nota. La ilustración esquematiza lo correspondiente a un depósito de lluvia, adaptado de Woods-Ballard et al., (2007).

### **Pavimentos permeables (permeable pavement)**

Los pavimentos permeables son estructuras que facilitan la filtración de la escorrentía hacia zonas de almacenamiento temporal subterráneo, permitiendo al mismo tiempo el tránsito de personas o vehículos sobre ellos. Este almacenamiento puede llevarse a cabo utilizando materiales como gravas, celdas o cajas reticulares, desde donde la escorrentía puede infiltrarse en el suelo o ser descargada de manera controlada. La

clasificación de estos pavimentos se realiza según el tipo de superficie permeable utilizada (De la Fuente et al., 2011).

Estos sistemas no solo ayudan a gestionar el agua pluvial, sino que también contribuyen a la sostenibilidad urbana al reducir el riesgo de inundaciones y mejorar la calidad del agua. Al permitir que el agua se infiltre, los pavimentos permeables ayudan a recargar los acuíferos y disminuyen la escorrentía superficial, lo que es beneficioso para el medio ambiente y la infraestructura urbana.

#### **- Pavimentos permeables por junta:**

Estos pavimentos están compuestos por un material impermeable cuya configuración y/o método de instalación permite la creación de juntas que se rellenan con vegetación, grava u otros materiales que facilitan el paso del agua. Las unidades estructurales de este tipo de pavimentos suelen ser adoquines fabricados con diversos materiales, siendo el hormigón y la cerámica los más comunes (De la Fuente et al., 2011).

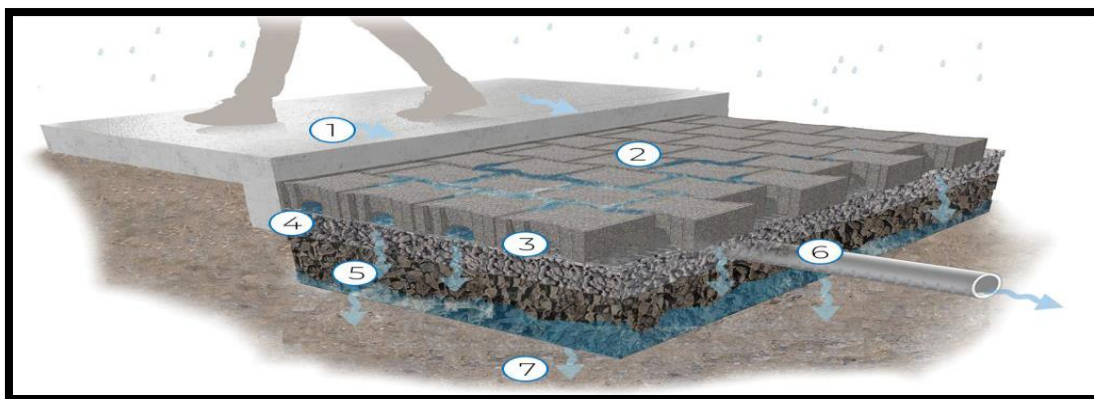
Este diseño no solo contribuye a la gestión del agua, sino que también mejora la estética del entorno urbano al integrar elementos naturales en la superficie pavimentada. Además, su capacidad para permitir la infiltración del agua ayuda a reducir la escorrentía superficial y a recargar los acuíferos, promoviendo así prácticas sostenibles en el manejo del agua.

#### **- Pavimentos porosos:**

Se trata de pavimentos cuya superficie está completamente recubierta por un material poroso que facilita la filtración de la escorrentía a través de toda su área. Estos pavimentos pueden estar compuestos por materiales como asfalto permeable, hormigón permeable, o sistemas que incluyen mallas y geoceldas rellenas con tierra vegetada o grava, los cuales permiten el paso del agua de escorrentía (De la Fuente et al., 2011).

Este tipo de pavimento es especialmente útil en la gestión del agua pluvial, ya que promueve la infiltración y reduce la escorrentía superficial, contribuyendo así a la sostenibilidad de los entornos urbanos.

*Figura 12*  
*Pavimentos permeables.*



Nota. La ilustración muestra al pavimento permeable, incluido sus partes, adaptado de Alameda County Flood Control & Water Conservation District (2021).

Donde:

- 1) Representa la entrada lateral de las escorrentías.
- 2) Representa represas para la reducción de velocidad (opcional, según pendiente longitudinal).
- 3) Representa las pendientes laterales suaves (máxima pendiente 1V:3H)
- 4) Representa el medio filtrante.
- 5) Representa la capa drenante (conducto drenante opcional).

### **Zanjas de infiltración (Infiltration Trench)**

Las zanjas de infiltración son sistemas de drenaje diseñados para captar, filtrar y almacenar temporalmente la escorrentía, permitiendo que esta se infiltre en el suelo. Su capacidad de almacenamiento se debe a que están rellenas con un material altamente poroso (De la Fuente et al., 2011). Además, es esencial que incluyan un geotextil en la superficie para facilitar su mantenimiento. Según su forma, se clasifican en:

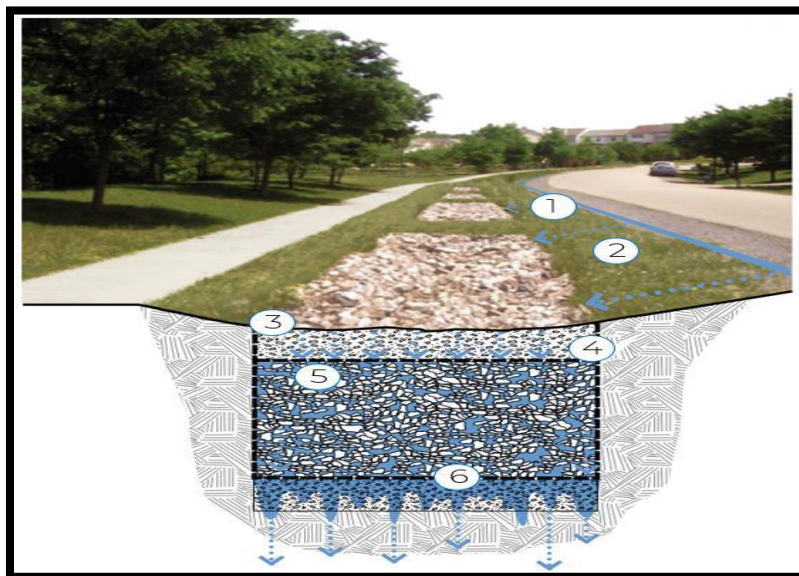
**Zanjas:** Son técnicas lineales poco profundas que pueden estar cubiertas con vegetación, grava o arena (De la Fuente et al., 2011).

**Pozos:** Son perforaciones verticales profundas que pueden ser sin revestir, donde la excavación se llena con material drenante, o revestidos, donde la estructura del pozo

se refuerza con ladrillos panal o anillos de hormigón perforados (De la Fuente et al., 2011).

Estos sistemas no solo ayudan a gestionar el agua pluvial, sino que también contribuyen a reducir la erosión y mejorar la calidad del agua infiltrada.

*Figura 13*  
*Zanja de infiltración.*



Nota. Se ilustra la zanja de infiltración con sus partes que la componen, adaptado de University of Arkansas Community Design Center (2010).

Donde:

- 1) Representa la entrada lateral de escorrentía.
- 2) Representa la franja vegetada de pretratamiento.
- 3) Representa la capa de gravas.
- 4) Representa la capa de geotextil.
- 5) Representa la grava o material drenante sintético.
- 6) Representa la infiltración al terreno.

## 2.2.6 Parámetros de SUDS con SWMM

### 2.2.6.1 Parámetros de la capa superficial

Figura 14

Parámetros de altura de berma.

Surface	Soil	Storage	Drain
Berm Height (in. or mm)		<input type="text" value="0.0"/>	
Vegetation Volume Fraction		<input type="text" value="0.0"/>	
Surface Roughness (Mannings n)		<input type="text" value="0.1"/>	
Surface Slope (percent)		<input type="text" value="1.0"/>	

#### Alto de berma

Cuando hay paredes confinadas o bermas, esta es la profundidad máxima a la que el agua puede acumularse por encima de la superficie de la unidad antes de que se produzca el desbordamiento (EPA, 2016).

Nota. La ilustración detalla los parámetros geométricos asociados con la altura de berma, los cuales son determinantes para optimizar el diseño hidráulico y la eficiencia en la conducción de escorrentía, adaptado de EPA (2016).

Figura 15

Parámetro de volumen de vegetación.

Surface	Soil	Storage	Drain
Berm Height (in. or mm)		<input type="text" value="0.0"/>	
Vegetation Volume Fraction		<input type="text" value="0.0"/>	
Surface Roughness (Mannings n)		<input type="text" value="0.1"/>	
Surface Slope (percent)		<input type="text" value="1.0"/>	

#### Volumen de vegetación

Fracción del volumen de almacenamiento llena de vegetación. Volumen ocupado por tallos y hojas. Se puede ignorar, si no puede ser de 0.1-0.2 para vegetación densa (EPA, 2016).

Nota. La ilustración detalla los parámetros asociados al volumen de vegetación, el cual influye en la retención y filtración de escorrentía, adaptado de EPA (2016).

*Figura 16*  
*Parámetro de rugosidad de Manning.*

Surface	Soil	Storage	Drain
Berm Height (in. or mm)		0.0	
Vegetation Volume Fraction		0.0	
Surface Roughness (Mannings n)		0.1	
Surface Slope (percent)		1.0	

**Rugosidad de Manning**

n de Manning para cualquier superficie superficial como cobertura del suelo, pavimento, techos o vegetación en las zanjas. Se coloca 0 en los otros LID (EPA, 2016).

Nota. Se ilustra el parámetro de rugosidad de Manning, el cual se utiliza para caracterizar la resistencia al flujo en canales, cunetas y superficies permeables, adaptado de EPA (2016).

*Figura 17*  
*Parámetro de pendiente de superficies.*

Surface	Soil	Storage	Drain
Berm Height (in. or mm)		0.0	
Vegetation Volume Fraction		0.0	
Surface Roughness (Mannings n)		0.1	
Surface Slope (percent)		1.0	

**Pendiente superficie**

Pendiente de la superficie del techo, del pavimento, o de la zanja con vegetación (en porcentaje). Usar 0 en los otros LID (EPA, 2016).

Nota. Se ilustra el parámetro asociado a la pendiente de superficies, los cuales son determinantes para el diseño hidráulico, adaptado de EPA (2016).

### 2.2.6.2 Parámetros de la capa de suelo.

Figura 18

Parámetro de espesor de suelo.

Surface	Soil	Storage	Drain
	Thickness (in. or mm)	<input type="text" value="0"/>	
	Porosity (volume fraction)	<input type="text" value="0.5"/>	
	Field Capacity (volume fraction)	<input type="text" value="0.2"/>	
	Wilting Point (volume fraction)	<input type="text" value="0.1"/>	
	Conductivity (in/hr or mm/hr)	<input type="text" value="0.5"/>	
	Conductivity Slope	<input type="text" value="10.0"/>	
	Suction Head (in. or mm)	<input type="text" value="3.5"/>	

#### Espeor

Espeor de la capa de suelo (in o mm). Los valores típicos varían de 18 a 36 pulgadas (450 a 900 mm) para jardines de lluvia, jardineras y otras unidades de bio-retención en tierra, pero solo de 3 a 6 pulgadas (75 a 150 mm) para techos verdes (EPA, 2016).

Nota. Se ilustra el parámetro asociado al espesor del suelo, el cual es clave en el diseño de aguas pluviales, adaptado de EPA (2016).

Figura 19

Parámetro de porosidad de suelo.

Surface	Soil	Storage	Drain
	Thickness (in. or mm)	<input type="text" value="0"/>	
	Porosity (volume fraction)	<input type="text" value="0.5"/>	
	Field Capacity (volume fraction)	<input type="text" value="0.2"/>	
	Wilting Point (volume fraction)	<input type="text" value="0.1"/>	
	Conductivity (in/hr or mm/hr)	<input type="text" value="0.5"/>	
	Conductivity Slope	<input type="text" value="10.0"/>	
	Suction Head (in. or mm)	<input type="text" value="3.5"/>	

#### Porosidad

Volumen de espacio de poros en relación con el volumen total de suelo (como una fracción)

Ver la tabla de recomendaciones (EPA, 2016)

Nota. Se ilustra el parámetro asociado a la porosidad del suelo, el cual es clave para determinar la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, adaptado de EPA (2016).

*Figura 20*  
*Parámetro de capacidad de campo.*

Surface	Soil	Storage	Drain
	Thickness (in. or mm)	<input type="text" value="0"/>	
	Porosity (volume fraction)	<input type="text" value="0.5"/>	
	Field Capacity (volume fraction)	<input type="text" value="0.2"/>	
	Wilting Point (volume fraction)	<input type="text" value="0.1"/>	
	Conductivity (in/hr or mm/hr)	<input type="text" value="0.5"/>	
	Conductivity Slope	<input type="text" value="10.0"/>	
	Suction Head (in. or mm)	<input type="text" value="3.5"/>	

**Capacidad de campo**

Volumen de agua de poros en relación con el total después de drenar totalmente (fracción). Por debajo de este nivel, no se produce el drenaje vertical del agua a través de la capa del suelo.

Ver tabla (EPA, 2016).

Nota. Se ilustra el parámetro asociado a la capacidad de campo del suelo, esencial para evaluar la infiltración, adaptado de EPA (2016).

*Figura 21*  
*Parámetro de punto de marchitez.*

Surface	Soil	Storage	Drain
	Thickness (in. or mm)	<input type="text" value="0"/>	
	Porosity (volume fraction)	<input type="text" value="0.5"/>	
	Field Capacity (volume fraction)	<input type="text" value="0.2"/>	
	Wilting Point (volume fraction)	<input type="text" value="0.1"/>	
	Conductivity (in/hr or mm/hr)	<input type="text" value="0.5"/>	
	Conductivity Slope	<input type="text" value="10.0"/>	
	Suction Head (in. or mm)	<input type="text" value="3.5"/>	

**Punto de marchitez**

Volumen de agua de poros en relación con el volumen total para un suelo bien seco donde solo queda agua unida (fracción). El contenido de humedad del suelo no puede caer por debajo de este límite (EPA, 2016).

Nota. Se ilustra el parámetro asociado al punto de marchitez del suelo, definido como el contenido de agua por debajo del cual las plantas no pueden extraer humedad, adaptado de EPA (2016).

**Figura 22**  
Parámetro de punto de conductividad.

Surface	Soil	Storage	Drain
	Thickness (in. or mm)	<input type="text" value="0"/>	
	Porosity (volume fraction)	<input type="text" value="0.5"/>	
	Field Capacity (volume fraction)	<input type="text" value="0.2"/>	
	Wilting Point (volume fraction)	<input type="text" value="0.1"/>	
	Conductivity (in/hr or mm/hr)	<input type="text" value="0.5"/>	
	Conductivity Slope	<input type="text" value="10.0"/>	
	Suction Head (in. or mm)	<input type="text" value="3.5"/>	

**Conductividad**

Conductividad hidráulica para el suelo totalmente saturado (in/hr o mm/hr). (EPA, 2016).

Nota. Se ilustra el parámetro asociado a la conductividad hidráulica del suelo, que indica la capacidad del suelo para transmitir agua a través de los poros, adaptado de EPA (2016).

**Figura 23**  
Parámetro de pendiente de conductividad.

Surface	Soil	Storage	Drain
	Thickness (in. or mm)	<input type="text" value="0"/>	
	Porosity (volume fraction)	<input type="text" value="0.5"/>	
	Field Capacity (volume fraction)	<input type="text" value="0.2"/>	
	Wilting Point (volume fraction)	<input type="text" value="0.1"/>	
	Conductivity (in/hr or mm/hr)	<input type="text" value="0.5"/>	
	Conductivity Slope	<input type="text" value="10.0"/>	
	Suction Head (in. or mm)	<input type="text" value="3.5"/>	

**Pendiente de conductividad**

Pendiente de la curva de log (conductividad) vs humedad del suelo (adimensional). Los valores típicos varían de 30 a 60. Se puede estimar a partir de un análisis del tamaño de grano de suelo estándar como 0.48 (% de arena) + 0.85 (% de arcilla) (EPA, 2016).

Nota. Se ilustra el parámetro asociado a la pendiente de conductividad hidráulica del suelo, que refleja la variación espacial y su influencia en la infiltración, adaptado de EPA (2016).

**Figura 24**  
**Parámetro de Cabeza de Succión.**

Surface	Soil	Storage	Drain
		Thickness (in. or mm)	<input type="text" value="0"/>
		Porosity (volume fraction)	<input type="text" value="0.5"/>
		Field Capacity (volume fraction)	<input type="text" value="0.2"/>
		Wilting Point (volume fraction)	<input type="text" value="0.1"/>
		Conductivity (in/hr or mm/hr)	<input type="text" value="0.5"/>
		Conductivity Slope	<input type="text" value="10.0"/>
		Suction Head (in. or mm)	<input type="text" value="3.5"/>

### Cabeza de succión

Valor promedio de la succión capilar del suelo a lo largo del frente húmedo (in o mm). Este es el mismo parámetro que se usa en el modelo de infiltración de Green-Ampt (EPA, 2016).

Nota. Se ilustra el parámetro asociado al cabezal de succión del suelo, que representa la presión negativa requerida para iniciar el movimiento del agua en el suelo, adaptado de EPA (2016).

### 2.2.6.3 Parámetro de Capa de almacenamiento.

**Figura 25**  
**Parámetro de espesor de la capa de almacenamiento.**

Surface	Soil	Storage
		Thickness (in. or mm)
		Void Ratio (Voids / Solids)
		Seepage Rate (in/hr or mm/hr)
		Clogging Factor

### Espesor

Es el espesor de la capa de grava o la altura de un barril de lluvia (in o mm). Las capas de piedra triturada y grava suelen tener un grosor de 6 a 18 pulgadas (150 a 450 mm), mientras que los barriles de lluvia de una sola familia varían en altura desde 24 a 36 pulgadas (600 a 900 mm) (EPA, 2016).

Nota. Se ilustra el parámetro correspondiente al espesor de la capa de almacenamiento para determinar la capacidad de retención, adaptado de EPA (2016).

Figura 26  
Parámetro de relación de vacío.

Surface	Soil	Storage
Thickness (in. or mm)		<input type="text" value="0"/>
Void Ratio (Voids / Solids)		<input type="text" value="0.75"/>
Seepage Rate (in/hr or mm/hr)		<input type="text" value="0.5"/>
Clogging Factor		<input type="text" value="0"/>

#### Relación de vacío

El volumen de espacio vacío en relación al volumen de sólidos en la capa. Los valores típicos van desde 0.5 a 0.75 para lechos de grava. Tener en cuenta que la porosidad = relación de vacío/(1 + relación de vacío) (EPA, 2016).

Nota. Se ilustra el parámetro asociado a la relación de vacíos del suelo, que indica la proporción de poros vacíos disponibles para la retención de agua, adaptado de EPA (2016).

Figura 27  
Parámetro de tasa de filtración.

Surface	Soil	Storage
Thickness (in. or mm)		<input type="text" value="0"/>
Void Ratio (Voids / Solids)		<input type="text" value="0.75"/>
Seepage Rate (in/hr or mm/hr)		<input type="text" value="0.5"/>
Clogging Factor		<input type="text" value="0"/>

#### Tasa de filtración

Velocidad a la que el agua se filtra hacia el suelo debajo de la capa (in/hr o mm/hr). Corresponde a  $K_s$  de la subcuenca circundante si se usa Green-Ampt o la Velocidad de Infiltración Mínima para Horton. Si hay un estrato impermeable debajo de la capa, usar 0.

Nota. Se ilustra el parámetro asociado a la tasa de infiltración del suelo, que indica la velocidad a la que puede atravesar el perfil del suelo, adaptado de EPA (2016).

Figura 28  
Parámetro de factor de obstrucción.

Surface	Soil	Storage
Thickness (in. or mm)		<input type="text" value="0"/>
Void Ratio (Voids / Solids)		<input type="text" value="0.75"/>
Seepage Rate (in/hr or mm/hr)		<input type="text" value="0.5"/>
Clogging Factor		<input type="text" value="0"/>

**Factor de obstrucción**

Volumen total de escorrentía tratada que se tarda en obstruir completamente la parte inferior de la capa dividida por el volumen vacío de la capa. Usar 0 para ignorarla. La obstrucción reduce progresivamente la tasa de infiltración en proporción directa al volumen acumulado de escorrentía tratada y solo es importante para trincheras de infiltración con fondos permeables y sin desagües (EPA, 2016).

Nota. La ilustración representa el parámetro asociado al factor de obstrucción, que refleja la reducción del flujo de agua debido a los obstáculos o vegetación en el Sistema de drenaje, adaptado de EPA (2016).

#### 2.2.6.4 Parámetros de capa de drenaje.

Figura 29  
Parámetro de coeficiente C y exponente n.

Surface	Soil	Storage	Drain
Flow Coefficient*		<input type="text" value="0"/>	
Flow Exponent		<input type="text" value="0.5"/>	
Offset Height (in. or mm)		<input type="text" value="6"/>	
<a href="#">Drain Advisor</a>			

**Coeficiente C**

Coeficiente de la ecuación.

Si no hay drenaje se coloca 0 (EPA, 2016).

**Exponente n**

Exponente de la ecuación.

Normalmente se coloca 0.5 (EPA, 2016).

\*Units are for flow in either in/hr or mm/hr; use 0 if there is no drain.

Nota. La ilustración representa los parámetro hidráulicos de coeficiente "C" y el exponente "n", los cuales son fundamentales para caracterizar la relación entre la escorrentía y la lluvia, adaptado de EPA (2016).

Figura 30  
Parámetro de Altura de desfase del drenaje.

Surface	Soil	Storage	Drain
Flow Coefficient*			<input type="text" value="0"/>
Flow Exponent			<input type="text" value="0.5"/>
Offset Height (in. or mm)			<input type="text" value="6"/>
<a href="#">Drain Advisor</a>			
*Units are for flow in either in/hr or mm/hr; use 0 if there is no drain.			

**Altura de desfase del drenaje**

Esta es la altura de la línea de drenaje sobre el fondo de la capa de almacenamiento o del barril de lluvia (in o mm) (EPA, 2016).

Nota. Se ilustra el parámetro asociado a la altura de desfase del drenaje, el cual determina la diferencia vertical entre la superficie del suelo y el Sistema de drenaje subyacente, adaptado de EPA (2016).

Figura 31  
Parámetro de retardo de drenaje.

Storage	Drain
Flow Coefficient*	<input type="text" value="0"/>
Flow Exponent	<input type="text" value="0.5"/>
Offset Height (in. or mm)	<input type="text" value="6"/>
Drain Delay (hours)	<input type="text" value="6"/>
<a href="#">Drain Advisor</a>	

**Retardo de drenaje (solo para barriles de lluvia)**

Cantidad de horas de clima seco que deben transcurrir antes de que se abra el drenaje en un barril de lluvia (se supone que se cerrará una vez que comience la lluvia). 0 significa que el drenaje del barril está siempre abierto y drena continuamente (EPA, 2016).

Nota. La ilustración representa el parámetro de retardo de drenaje, que representa el tiempo requerido para que el agua se desplace a través del Sistema de drenaje, adaptado de EPA (2016).

## **2.3 Marco conceptual**

### **Ciclo hidrológico:**

El ciclo hidrológico, también es conocido como el ciclo del agua, se refiere a la serie de etapas que el agua atraviesa al moverse de la atmósfera a la tierra y regresar nuevamente a la atmósfera. Este proceso incluye la evaporación del agua de suelos, océanos y cuerpos de agua continentales, la formación de nubes a través de la condensación, la precipitación, así como la acumulación en el suelo o en cuerpos de agua y la posterior evaporación (Dirección de Obras Hidráulicas, 2013).

El ciclo del agua, es el ciclo de fases o procesos en los que el agua cambia de estado entre líquido, gaseoso (vapor) y sólido (hielo) mientras se mueve continuamente por la Tierra. La evaporación, la precipitación, la escorrentía superficial, la infiltración y el flujo subterráneo son algunos de los procesos que componen el ciclo.

### **PISCO:**

El producto PISCO (Datos Interpolados Peruanos de las Observaciones Climatológicas e Hidrológicas del SENAMHI), en sus versiones diaria y mensual, resulta de la combinación de datos provenientes de estaciones meteorológicas y pluviométricas, reanálisis y productos satelitales que estiman las lluvias. Esto permite crear una base de datos a nivel nacional con alta resolución espacial (~5x5 km). La serie temporal de estos datos abarca desde el 1 de enero de 1981 hasta el 31 de diciembre de 2016 (Aybar, y otros, 2017).

Esta base de datos es fundamental para diversas aplicaciones relacionadas con el análisis hidrológico, ya que proporciona información detallada sobre la precipitación en diferentes regiones del país. Además, su resolución espacial permite un mejor monitoreo y modelación de fenómenos hidrológicos, contribuyendo así a una gestión más eficiente de los recursos hídricos en Perú.

**Infiltración:**

Es el movimiento del agua a través de la superficie del suelo y hacia su interior, impulsado por fuerzas gravitacionales y capilares. La diferencia entre la cantidad de agua de lluvia que se acumula en una cuenca y la que se evapora o infiltra se denomina pérdidas. Estas pérdidas generalmente incluyen la intercepción del agua en el follaje de las plantas y en los techos de las edificaciones, la retención en depresiones o charcos (que luego se evaporan o infiltran), así como la evaporación y la infiltración. En la práctica, es complicado separar estos cuatro componentes; sin embargo, la mayor parte de las pérdidas se atribuye a la infiltración, por lo que comúnmente se calculan juntas bajo este término (Aparicio, 1992).

**Permeabilidad:**

Se define como el coeficiente que indica la capacidad de un material para permitir el paso del agua a través de él cuando se encuentra saturado y expuesto a una presión hidrostática específica (Dirección de Obras Hidráulicas, 2013).

**Resiliencia:**

Se refiere a la capacidad de un sistema para resistir y recuperarse de desastres y perturbaciones (Dirección de Obras Hidráulicas, 2013).

**Sumidero:**

Obra destinada a captar el agua de un curso superficial y entregarlo a un sistema de conducción subterráneo (Dirección de Obras Hidráulicas, 2013).

**Pluviómetros  (Rain Gages):**

Proporcionan los datos de entrada de las precipitaciones que se producen en una o varias de las cuencas definidas en el área de estudio. El diseñador puede definir los datos de lluvia mediante series temporales de datos o provenientes de un archivo externo al programa (Miranda & Pachar, 2012).

## **Cuencas** **(subcatchments):**

Son unidades hidrológicas del terreno con topografía y elementos del sistema de drenaje que conducen la escorrentía directamente hacia un punto de descarga.

El diseño de un proyecto hidrográfico requiere que el ingeniero divida el área de estudio en un número adecuado de cuencas e identifique el punto de descarga (outlet) correspondiente a cada una. Estas cuencas pueden clasificarse en zonas permeables e impermeables. La escorrentía superficial tiene la capacidad de infiltrarse en la parte superior del terreno en las áreas permeables. Las zonas impermeables, a su vez, se dividen en dos categorías: aquellas que presentan almacenamiento en depresión y aquellas que no lo tienen. Es posible que el flujo de escorrentía de una sección de la cuenca se dirija hacia otra, o que dos áreas drenen directamente hacia la salida de la cuenca (Miranda & Pachar, 2012).

La infiltración de agua de lluvia en las áreas permeables de una cuenca específica, en la parte superior del suelo no saturado, puede modelarse utilizando tres enfoques distintos y son: el modelo de infiltración de Horton, el modelo de Green-Ampt y el modelo basado en el Número de Curva del SCS (Miranda & Pachar, 2012).

## **Junctions** **(uniones):**

Su función principal es conectar dos o más elementos. Este tipo de objeto puede representar pozos dentro de un sistema de alcantarillado, intersecciones viales, uniones de múltiples canales de drenaje o nodos de conexión. Para cada unión en la versión 5.2 de SWMM, es esencial proporcionar información básica como la cota del fondo y la altura hasta la superficie del terreno (Miranda & Pachar, 2012).

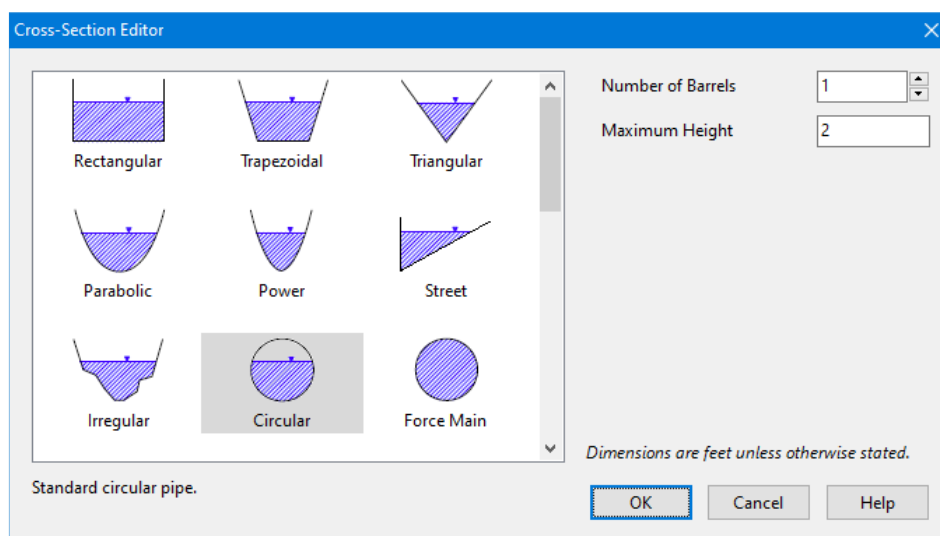
## Outfalls (descargas):

Son los nodos terminales de la red en los que se establecen las condiciones de contorno aguas abajo al aplicar el método de la Onda Dinámica para la propagación del flujo dentro del sistema. Estas condiciones pueden incluir la profundidad crítico o normal del conducto que se conecta al outfall, elevación fija de la lámina de agua y tiempo. Un nodo de descarga está limitado a tener un solo conducto de conexión y requiere, como datos fundamentales, la cota de fondo y el tipo de condiciones de contorno que se utilizarán (Miranda & Pachar, 2012).

## Conduits (conductos):

Son representaciones de las tuberías, conductos o canales superficiales (como cunetas) por las que circula el flujo, lo que hace necesario especificar características como longitud, forma y rugosidad. En la figura 29 se presentan los tipos de secciones predefinidas en la versión 5.2 de SWMM; sin embargo, también se puede representar secciones irregulares (Miranda & Pachar, 2012).

*Figura 32*  
*Secciones de conductos predefinidos en el SWMM 5.2*



Nota. La ilustración representa las distintas secciones de conductos predefinidos disponibles en SWMM 5.2, utilizadas para modelar el flujo de agua en redes de drenaje, adaptado de EPA (2016).

## CAPITULO III. MÉTODO DE LA INVESTIGACION

### **3.1 Enfoque**

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo. Según Hernández-Sampieri & Mendoza Torres (2018), una investigación tiene enfoque cuantitativo, porque utiliza datos numéricos y métodos estadísticos para realizar un análisis.

Los resultados de esta investigación proporcionarán evidencia empírica, porque es obtenida a través de estudios de caso, modelaciones hidrológicas e hidráulicas y análisis comparativo de la efectividad de los SUDS frente a los drenajes convencionales para gestionar de manera más sostenible el agua de lluvia en entornos urbanos y mitigando los impactos ambientales negativos asociados a las inundaciones.

### **3.2 Alcance**

Este tipo de investigación tiene un alcance explicativo, porque busca explicar la relación entre la implementación de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) y la mejora en la eficiencia del drenaje pluvial en Kimbiri. Se pretende identificar cómo y por qué estos sistemas contribuyen a la gestión del agua de lluvia, con el fin de reducir inundaciones y mitigar los impactos ambientales negativos.

La investigación busca comprender cómo la implementación de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible se interrelaciona con los drenajes convencionales, evaluando la eficiencia del drenaje pluvial urbano mediante el modelado en SWMM 5.2. Además, el desarrollo del modelado implica la formulación y verificación de hipótesis sobre las relaciones entre variables, lo que es un elemento definitorio de los estudios explicativos (Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, 2018)

### 3.3 Diseño de investigación

El estudio emplea un diseño no experimental de tipo longitudinal, ya que no controla ni asigna aleatoriamente las intervenciones, sino que se basa en observar y analizar la situación real, recopilando datos sobre los SUDS en Kimbiri sin intervenir en el entorno. Además, el diseño longitudinal proporciona la capacidad de evaluar cómo los SUDS afectan la eficiencia del drenaje pluvial de manera sostenida, permitiendo identificar cambios progresivos con tendencias, como la reducción de inundaciones, la mejora de la calidad del agua y ajustar los beneficios según los eventos climáticos extremos.

### 3.4 Población y muestra

La población (N) en estudio son los registros de precipitación diaria del producto grillado pisco SENAMHI y se calcula considerando que el mes tiene 30 días (30 registros de precipitación), con 36 años, correspondiente a 432 registros de precipitación y se calcula a continuación:

$$N = 30 \times 432 = 12,960 \text{ registros de precipitación diaria.}$$

La muestra (n) para el estudio se calcula según (Arias, 2012) para una población finita con la siguiente expresión:

$$n = \frac{NZ^2\sigma^2}{(N-1)e^2 + Z^2\sigma^2}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra.

N = tamaño de la población.

$\sigma$  = desviación estándar (57.33)

Z = 1.96 para un nivel de confianza de 95%

e = límite de aceptación del error muestral (0.05)

Sustituyendo se tiene:  $n = 12,926.83 = 12,927$  registros de precipitación diaria.

### **3.5 Hipótesis**

#### **3.5.1 Hipótesis general**

La implementación de la metodología de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano de la ciudad de Kimbiri, mejorará la gestión de aguas pluviales reduciendo problemas de escorrentía e inundaciones.

#### **3.5.2 Hipótesis específica**

1. La aplicación de las metodologías de celdas de biorretención y zanjas de infiltración reducirá el caudal de escorrentía en la ciudad de Kimbiri.
2. La implementación de la metodología de cunetas verdes mejorará la capacidad del sistema de drenaje para manejar y mitigar inundaciones de la ciudad de Kimbiri.
3. La eficiencia hidráulica del sistema de drenaje pluvial con la implementación de los SUDS mejorará en comparación con el sistema convencional en la ciudad de kimbiri.

### **3.6 Operacionalización de variables, definición conceptual y operacional**

#### **3.6.1 Variables**

Caballero Romero (2014), define una variable como un conjunto de datos que comparten una característica, propiedad o atributo específico, lo que los incluye dentro del ámbito de esa variable. En el contexto estadístico, una variable se entiende como un símbolo que representa un conjunto determinado de datos, capaz de asumir cualquier valor dentro de ese conjunto.

Existen básicamente dos variables que participan en todo proceso de investigación conocidas como; variables independientes y dependientes.

Tabla 4  
Variables de la investigación.

VARIABLES
<p><b>Variable independiente (X):</b> Los SUDS (Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible). Es el factor que el investigador manipula o controla para observar su efecto en otra variable.</p> <p><b>Variable dependiente (Y):</b> Eficiencia del sistema de drenaje pluvial: Es el factor que el investigador mide y se espera que sea afectado por la manipulación de la variable independiente.</p>

Nota. La tabla presenta las variables consideradas en el estudio, indicando su definición, tipo lo cual permite la interpretación de los resultados, de elaboración propia.

### 3.6.2 Dimensiones

Según Valencia Gutiérrez et al. (2023), las dimensiones corresponden a secciones de una variable que ayudan a desglosarla y examinarla con mayor precisión. Las dimensiones representan subdivisiones de un concepto o variable que permiten analizarla de manera más precisa y detallada.

**Variable independiente (X):** Los SUDS (Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible).

- ✓ **Dimensión 1:** Tipos de SUDS implementado, se refiere a la elección del SUDS a emplear para la presente investigación.
- ✓ **Dimensión 2:** área de implementación, se refiere al área disponible de la microcuenca donde se podrá realizar implementación de los SUDS elegidos.
- ✓ **Dimensión 3:** Configuración y funcionalidad hidráulica, se refiere a los aspectos técnicos y de diseño que determinan el desempeño de cómo están configurados, interconectados y como operan en conjunto las infraestructuras de drenaje pluvial y los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).

**Variable dependiente (Y):** Eficiencia del sistema de drenaje pluvial.

- ✓ **Dimensión 1:** Reducción de la escorrentía, se refiere a la evaluación de la capacidad de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) y del sistema pluvial urbano para disminuir el volumen, caudal pico y velocidad del agua

generada por precipitaciones, reduciendo riesgos de inundación con el uso del programa SWMM 5.2.

- ✓ **Dimensión 2:** Capacidad de manejo de inundaciones, se refiere a la habilidad del sistema de drenaje pluvial urbano y de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) para prevenir, controlar, reducir y mitigar los impactos de los eventos de lluvia intensa que pueden generar acumulaciones de agua en zonas críticas.
- ✓ **Dimensión 3:** Capacidad hidráulica, se refiere a la aptitud de las infraestructuras de drenaje pluvial y de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) para conducir, almacenar, infiltrar o evacuar los caudales generados por las precipitaciones.

### 3.6.3 Indicadores

Caballero Romero (2014) los indicadores son herramientas que permiten organizar y utilizar datos, generalmente expresados en tasas observables en la realidad, como por ejemplo la tasa de natalidad o la mortalidad.

#### **Indicadores independientes:**

Los indicadores de la reducción de la escorrentía son:

- ✓ Cunetas verdes.
- ✓ Celdas de biorretención.
- ✓ Zanjas de infiltración.

Los indicadores del área de implementación de los SUDS son:

- ✓ Superficie en metros cuadrados donde se instalan los SUDS.
- ✓ Porcentaje de área urbana cubierta con SUDS (%).
- ✓ Porcentaje de reducción del área impermeable (%).
- ✓ Número de dispositivos SUDS instalados (adimensional).

Los indicadores de la configuración y funcionalidad hidráulica son:

- ✓ Profundidad de las cunetas verdes.
- ✓ Pendiente hidráulica de la red de drenaje.
- ✓ Periodo de retorno.

#### **Indicadores dependientes:**

Los indicadores de la reducción de la escorrentía son:

- ✓ Reducción del caudal pico.
- ✓ Coeficiente de escorrentía reducido (adimensional).
- ✓ Volumen de escorrentía reducido.

Los indicadores de la Capacidad de manejo de inundaciones son:

- ✓ Volumen máximo de almacenamiento.
- ✓ Nivel máximo de lámina de inundación.
- ✓ Frecuencia de eventos en las inundaciones.

Los indicadores de la Capacidad hidráulica son:

- ✓ Caudal máximo de conducción.
- ✓ Índice de eficiencia hidráulica.
- ✓ Capacidad de infiltración del sistema.

#### **3.6.4 Operacionalización de variables**

La definición operacional de variables de una investigación se especifica en el procedimiento de medición de las variables, señalando los indicadores, unidades de medición y el procedimiento que se realizara para cumplir los objetivos específicos de la investigación. A continuación, se presenta en la tabla 5 un desglose de las variables identificadas para esta investigación (Sánchez Espejo, 2019).

Tabla 5  
Matriz de operacionalización de variables.

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
1.- Variable independiente(X):  Los SUDS (Sistemas Urbanos de drenaje sostenible)	Tipos de SUDS implementado.	Cunetas verdes (m <sup>2</sup> ) Celdas de biorretención (m <sup>2</sup> ) Zanjas de infiltración (m <sup>2</sup> )
	Área de Implementación	Superficie en metros cuadrados donde se instalan los SUDS (m <sup>2</sup> ) Porcentaje de área urbana cubierta con SUDS (%). Porcentaje de reducción del área impermeable (%). Número de dispositivos SUDS instalados (adimensional).
	Configuración y funcionalidad hidráulica	Profundidad de las cunetas verdes (m). Pendiente hidráulica de la red de drenaje (%). Periodo de retorno (años).
2.- Variable dependiente (Y):		
Eficiencia del sistema de drenaje pluvial	Reducción de la Escorrentía	Reducción del caudal pico (%). Coeficiente de escorrentía reducido (adimensional). Volumen de escorrentía reducido (m <sup>3</sup> ).
	Capacidad de manejo de inundaciones	Volumen máximo de almacenamiento (m <sup>3</sup> ) Nivel máximo de lámina de inundación (cm) Frecuencia de eventos en las inundaciones (Nº/año)
	Capacidad hidráulica	Caudal máximo de conducción (m <sup>3</sup> /s). Índice de eficiencia hidráulica (%). Capacidad de infiltración del sistema (mm/h)

Nota. La tabla muestra la matriz de operacionalización de variables, detallando las dimensiones, los indicadores y las unidades de medición, con el objetivo de establecer cómo se cuantifican y evalúan las variables dentro del estudio, de elaboración propia.

### 3.7 Técnicas e instrumentos

#### 3.7.1 Técnicas

El desarrollo de la investigación corresponde a la técnica de análisis documental o revisión de fuentes secundarias. Esta técnica se aplica cuando el investigador recurre a documentos, registros oficiales, bases de datos o expedientes relacionados con los SUDS y su impacto en el sistema de drenaje pluvial urbano, ya existentes, para obtener la información requerida en la investigación.

Según Hernández-Sampieri y Mendoza Torres (2018), la recolección de datos mediante fuentes documentales implica trabajar con información previamente registrada que no fue generada específicamente para el estudio en curso, pero que puede ser analizada

y utilizada de manera científica. De igual manera, Arias (2012) indica que el análisis documental es una técnica válida para sustentar investigaciones, siempre que las fuentes sean confiables y pertinentes, como sucede con los registros meteorológicos oficiales del SENAMHI.

### **3.7.2 Técnica de recolección y procesamiento de datos**

El producto PISCO de precipitación (PISCOp) en su versión diaria, es un producto que combina la información satelital de un producto en específico, este es el caso del CHIRPS, con datos terrestres que se tienen en la red de SENAMHI, empleando técnicas geoestadísticas. Los datos de precipitación PISCOp, se encuentran en el siguiente link:

<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SEAMHI/.HSR/.PISCO/>

El producto PISCOp del SENAMHI, pasa por un proceso de control de calidad y se divide en dos partes: automático y visual.

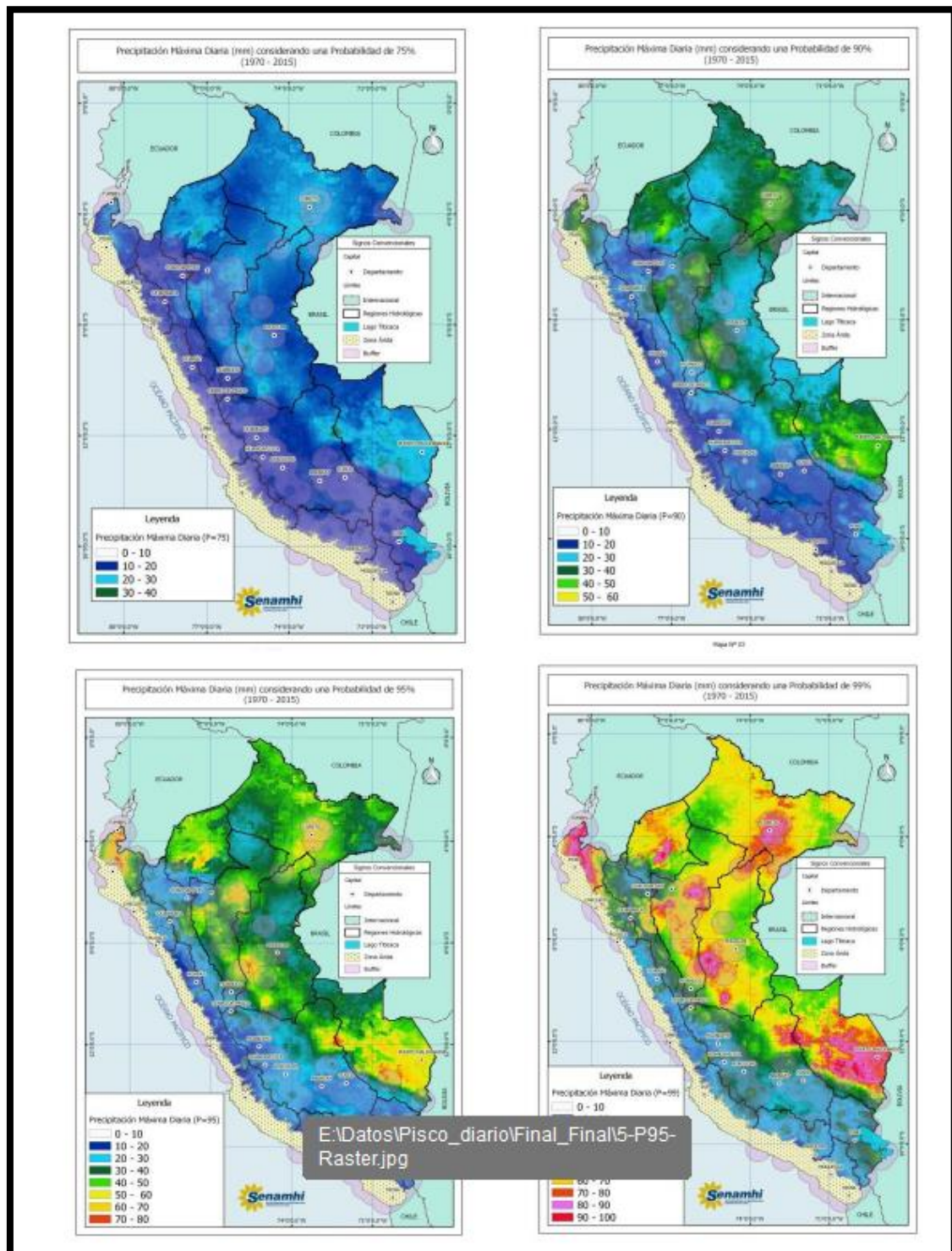
El control automático, consiste en la evaluación general de los datos de precipitación para cada estación (fechas duplicadas, comas decimales, valores -999 y/o -888), rangos fijos, coherencia temporal y espacial. Los valores que superaron los límites establecidos fueron eliminados. Debido a que un solo proceso de control de calidad no es apto para series climáticas (Hunsiker et al., 2017).

El control visual, se realiza a través de la visualización de datos, inspección de rupturas y/o quiebres evidentes en las series de tiempo y eliminación de segmentos que no eran homogéneos.

La completación de datos de las series mensuales y diarias se lleva a cabo basado en una modificación del algoritmo CUTOFF (Feng et al., 2014) y mapeos de cuantiles ("quantile mapping") respectivamente. Finalizando el control de calidad de datos, solo 443 de las 681 estaciones pluviométricas fueron seleccionadas para la generación de datos PISCOp. (Aybar, y otros, 2017)

Figura 33

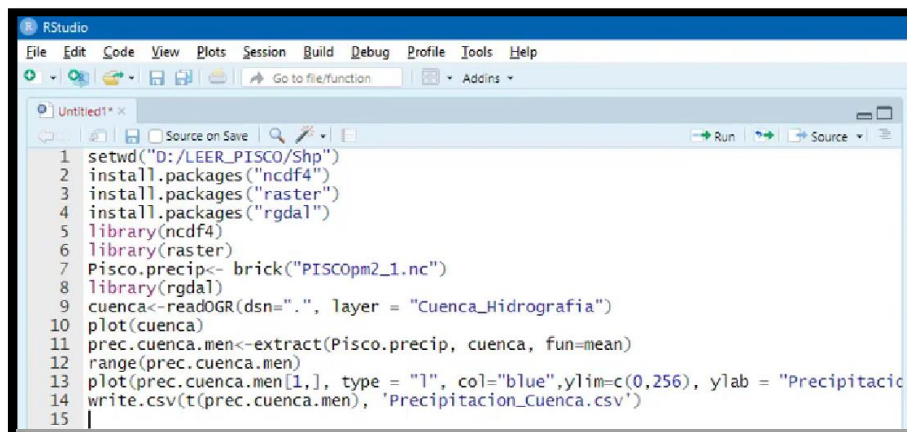
Análisis de precipitaciones extremas mediante percentiles (75, 90, 95 y 99) y evaluación de la confiabilidad de la interpolación con círculos buffer.



Nota. PISCOpd ha permitido la generación de umbrales de precipitación extrema considerando valores de percentiles diarios de lluvia a 75%, 90%, 95% y 99%, obtenido de Nota Técnica 001-SENAMHI-DHI (2017).

El producto PISCO tiene un formato de archivo NetCDF, para almacenar y compartir datos multidimensionales. Para extraer los datos de precipitación de PISCO se utilizó el programa Rstudio y se ejecutó el siguiente script que se muestra en la figura.

Figura 34  
Procesamiento en Rstudio del producto PISCOp.



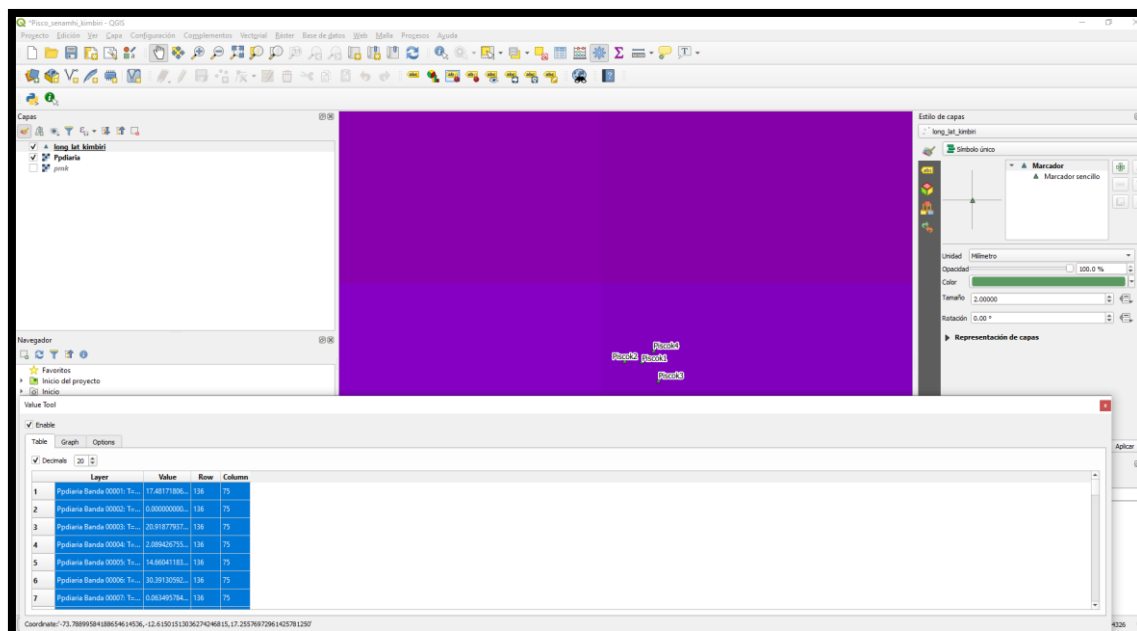
```

1 setwd("D:/LEER_PISCO/Shp")
2 install.packages("ncdf4")
3 install.packages("raster")
4 install.packages("rgdal")
5 library(ncdf4)
6 library(raster)
7 Pisco.precip<- brick("PISCOpm2_1.nc")
8 library(rgdal)
9 cuenca<-readOGR(dsn=".", layer = "Cuenca_Hidrografia")
10 plot(cuenca)
11 prec.cuenca.men<-extract(Pisco.precip, cuenca, fun=mean)
12 range(prec.cuenca.men)
13 plot(prec.cuenca.men[1,], type = "l", col="blue",ylim=c(0,256), ylab = "Precipitacion")
14 write.csv(t(prec.cuenca.men), 'Precipitacion_Cuenca.csv')
15

```

Nota. Se visualiza la obtención de datos de precipitación PISCOp empleando RStudio.

Figura 35  
Visualización de la precipitación PISCOp en Qgis.



Nota. Se visualiza en la parte inferior izquierda la precipitación PISCOp, de elaboración propia.

Una vez extraído los datos de precipitación en formato csv, se procede a ordenarlos por años, mediante el programa Excel y se visualiza a continuación.

Tabla 6  
Registro histórico de precipitaciones máximas en 24 horas.

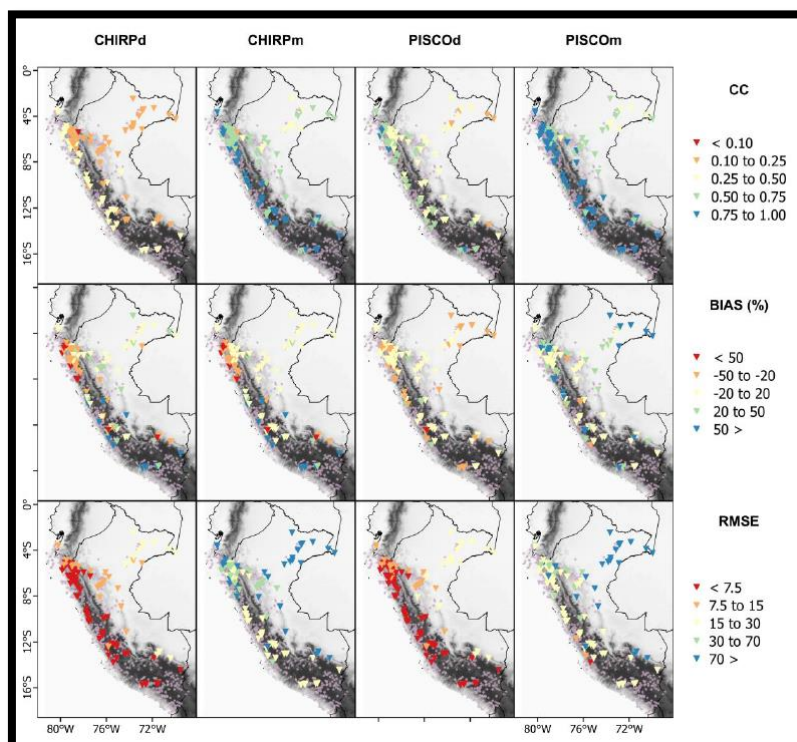
<b>Año</b>	<b>Pmax24</b>
1981	461.5
1982	385.2
1983	324.1
1984	316.4
1985	389.7
1986	462.0
1987	392.7
1988	367.1
1989	422.6
1990	338.9
1991	347.0
1992	265.5
1993	400.5
1994	404.7
1995	359.8
1996	264.5
1997	358.0
1998	391.8
1999	420.7
2000	477.0
2001	527.2
2002	393.3
2003	409.8
2004	333.3
2005	410.5
2006	440.9
2007	476.7
2008	459.0
2009	436.7
2010	415.7
2011	427.3
2012	412.7
2013	433.4
2014	411.1
2015	426.9
2016	338.7

Nota. Se visualiza las precipitaciones del producto PISCOp ordenados por años, de elaboración propia.

### 3.7.3 Instrumentos

En la presente investigación se consideraron como instrumentos, los métodos estadísticos aplicados a la base de datos PISCOp del SENAMHI. El Coeficiente de correlación (CC) nos permite definir la variabilidad de las precipitaciones; mientras tanto el BIAS % como el RMSE nos permite obtener información sobre las intensidades. Considerando ello, dichos estadísticos presentan un mejor rendimiento principalmente en la sierra y selva (Aybar, y otros, 2017), presentando fuertes sobreestimaciones en toda la costa, sin embargo, esta región está caracterizada por presentar precipitaciones por debajo de 100 mm anuales (Manz et. al, 2016) por lo que el bajo rendimiento puede ser despreciado. De manera complementaria, se emplearon métodos de análisis de frecuencias, utilizando distribuciones de probabilidad como Gumbel, Normal y Log-Normal, con el propósito de estimar precipitaciones máximas asociadas a distintos periodos de retorno y generar curvas intensidad–duración–frecuencia (IDF).

*Figura 36*  
*Coeficiente de Correlación (CC), BIAS en porcentaje y RMSE.*



Nota. Se muestra los estadísticos de desempeño que se usa en hidrología, obtenido de Nota Técnica 001- SENAMHI-DHI (2017).

## **3.8 Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información**

### **3.8.1 Descriptiva**

Los datos obtenidos se procesan para la elaboración de cuadros, gráficos de hietogramas, hidrogramas, volumen de lluvias; así como también las medidas de dispersión, permitiendo el análisis de los datos obtenidos.

### **3.8.2 Inferencial**

La estadística inferencial incluye los procedimientos que permiten tomar decisiones sobre una población a partir del análisis de una muestra. Dentro de este enfoque se encuentran las pruebas de normalidad, como Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling, que sirven para determinar si los datos cumplen los supuestos necesarios para la aplicación de pruebas paramétricas o no paramétricas. Asimismo, la estadística inferencial se aplica en investigaciones sobre sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), al posibilitar la extrapolación de resultados de una muestra hacia la población, la identificación de patrones y la exploración de posibles relaciones causales entre las variables que inciden en su desempeño (Montgomery & Runger, 2018).

En el desarrollo de la investigación se aplicó la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov–Smirnov, con la finalidad de evaluar el supuesto de normalidad en los datos cuantitativos. Esta prueba resulta pertinente para muestras con un tamaño superior a 50 observaciones, condición que corresponde a los registros de precipitación diaria considerados en el presente estudio.

### **3.8.3 Software y paquete estadístico**

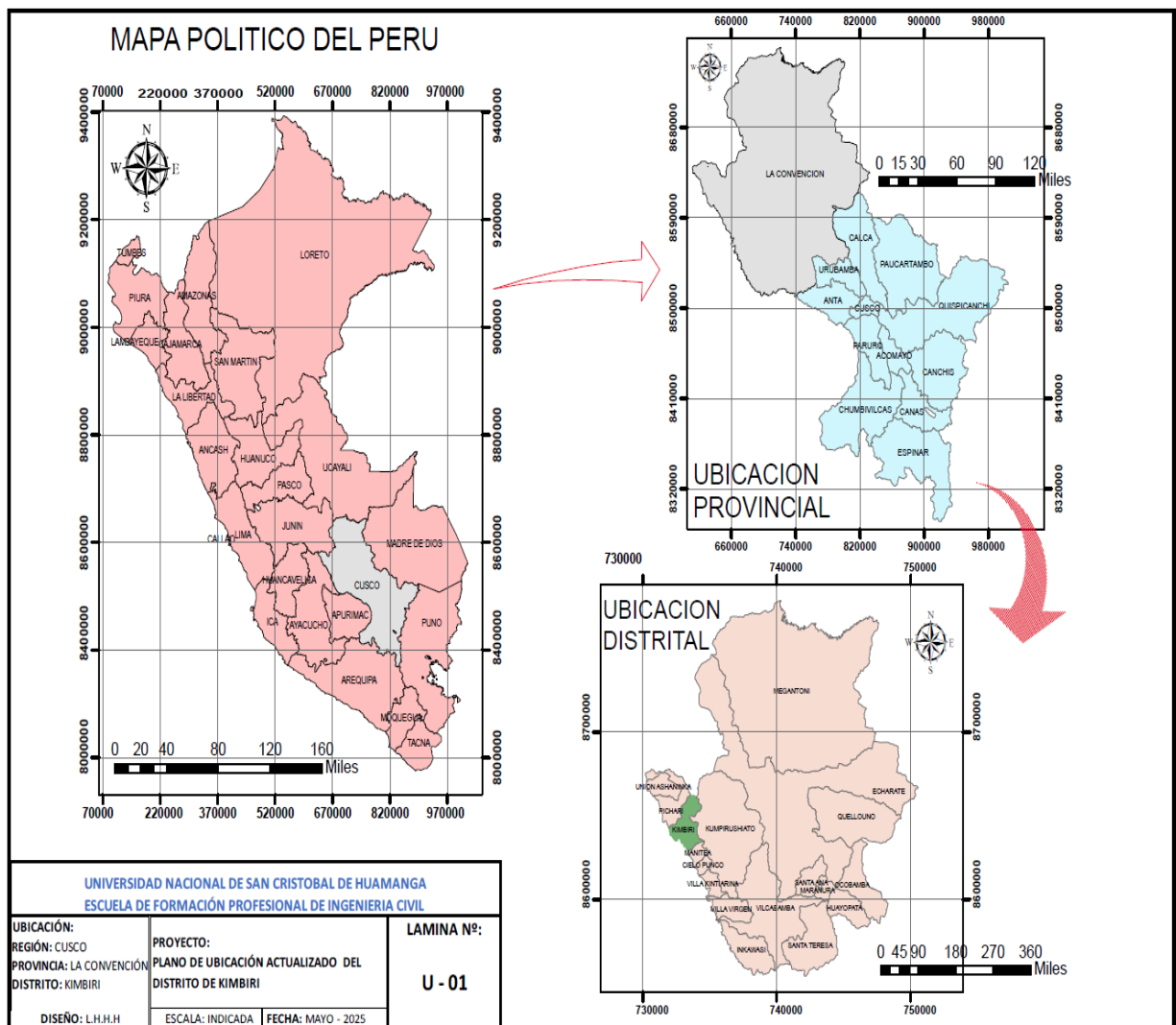
Los datos del trabajo de investigación fueron procesados mediante el uso de los softwares como: Microsoft Excel, Google Earth Pro, QGIS, ArcGIS, Civil3D, AutoCAD, Hydrognomon y el Software Storm Water Management Model SWMM 5.2 para el modelamiento de los SUDS.

### 3.9 Desarrollo del trabajo de tesis.

#### 3.9.1 Información del área de estudio

El área geográfica de la presente investigación está ubicada en el Distrito de Kimbiri, Provincia La Convención y Región Cusco. Su posición geográfica está comprendida en las coordenadas UTM 18L 631488m E 8604706m S, con una altitud promedio de 650 m.s.n.m. Accesible por la carretera desde Lima hacia Ayacucho, luego a San Francisco y finalmente a Kimbiri, en una longitud total aproximado de 738.50km.

*Figura 37*  
*Mapa de ubicación del Distrito de Kimbiri.*



*Nota. La figura muestra la ubicación geográfica del Distrito de Kimbiri y sus principales referencias territoriales, útil para contextualizar el área de estudio, de elaboración propia.*

### 3.9.2 Sistema actual del drenaje pluvial

La presente investigación se centra en evaluar el desempeño del sistema de drenaje pluvial subterráneo existente ante eventos de lluvia, aplicando los SUDS en el colector de aguas pluviales situado en la Av. La Convención, Jr. Coricancha, Jr. Ayacucho y la Av. Circunvalación de la Capital del Distrito de Kimbiri y se representan en la figura 34. El objetivo de esta evaluación con la aplicación de los SUDS es encontrar alternativas de solución frente a los drenajes convencionales. Asimismo, se adjunta planos del sistema de drenaje pluvial existente. (ver anexos 21, 22 y 23)

*Figura 38*  
*Microcuenca del estudio.*



Nota. La figura muestra la delimitación de la microcuenca y su drenaje superficial, facilitando el análisis hidrológico y la planificación de SUDS, adaptado Google earth pro, de elaboración propia.

### 3.9.3 Estudios Geológicos

Figura 39  
Mapa de Cobertura Vegetal de Kimbiri.



Nota. La figura muestra la distribución de la cobertura vegetal en Kimbiri, con el análisis del uso del suelo, para la planificación de SUDS, de elaboración propia adaptado de arcgis 10.8

Tabla 7  
Clasificación de mapa de suelo de Kimbiri.

FID	Shape *	OBJECTID	SIMSUE	OBSERV	DESCRIPCIO	PROPOR	PAISAJE
0	Polygon	88	RGe-CMe		Regosol éútrico - Cambisol éútrico	60-40	Lomadas, colinas y montañas

Nota. La tabla presenta la clasificación de los suelos del Distrito de Kimbiri, elaborada a partir del mapa de cobertura vegetal, de elaboración propia adaptado del programa arcgis 10.8.

Tabla 8  
Reclasificación del Mapa del suelo de Kimbiri.

DESCRIPCION DE SUELOS	SIMBOLOGÍA	GRUPO HIDROLOGICO
Lixisol háplico - Gleysol dístrico.	LXh - GLd	B
Luvisol crómico - Cambisol éútrico	LVx - CMe	C
Regosol dístrico - Afloramiento lítico	RGd - R	B
Regosol dístrico - Cambisol éútrico	RGd - CMd	C
Regosol éútrico - Andosol móllico	RGe - ANm	C
Regosol éútrico - Calcisol háplico	RGe - CLh	C
Regosol éútrico - Cambisol éútrico	RGe - CMe	C
Solonchak háplico - Leptosol éútrico	SCh - LPe	A

Nota. De la tabla 8, se puede concluir que la microcuenca de Kimbiri pertenece al grupo hidrológico "C", adaptado de ANA (2015).

Tabla 9  
Permeabilidad de los suelos finos.

Clasificación suelo por SUCS	Descripción	Grupo Hidrológico	D85 (mm)	Permeabilidad K (cm/s)	Permeabilidad K (mm/h)
ML	Limoso	C	0.81	0.0001417	5.10

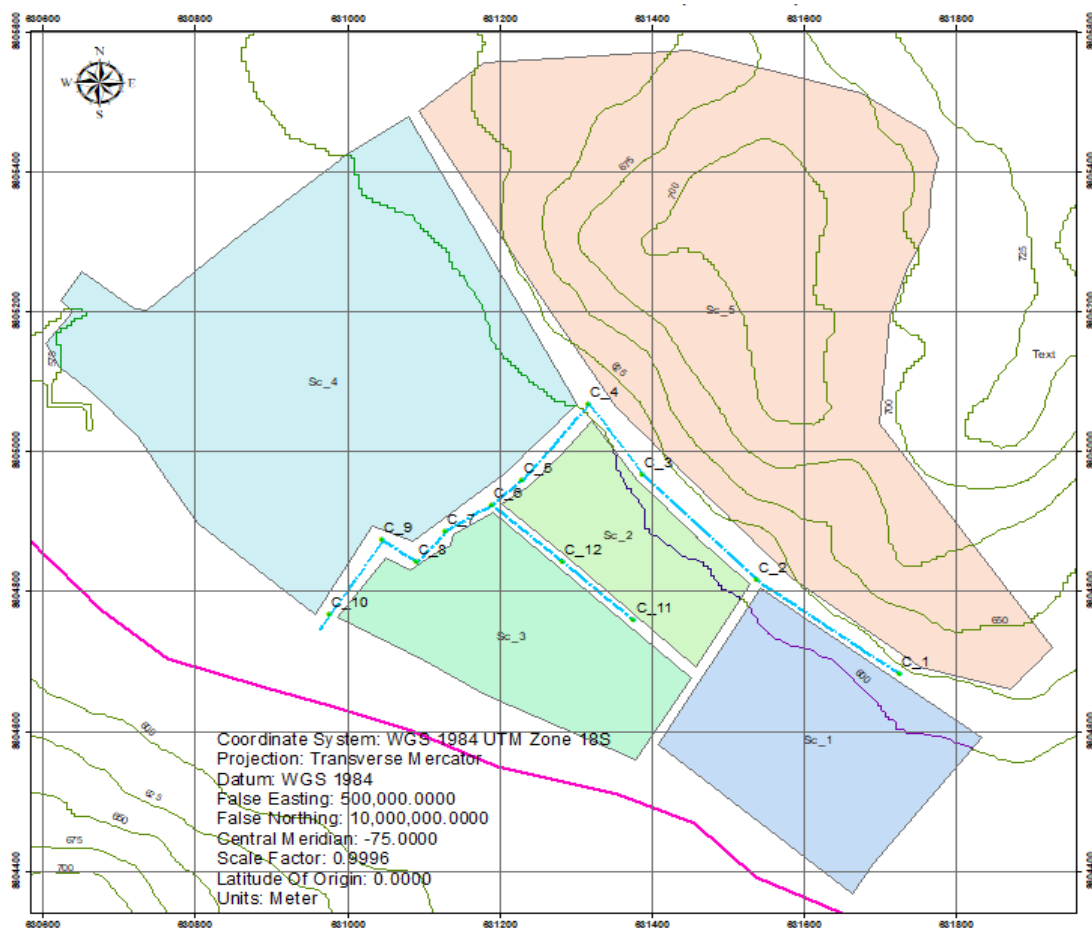
Nota. La tabla presenta la permeabilidad de los suelos finos del área de estudio, adaptado de Minnesota Stormwater Manual (2021).

### 3.9.4 Cuenca Hidrográfica del Distrito de Kimbiri

#### 3.9.4.1 Discretización de la Cuenca Urbana

En el presente estudio la zona urbana del distrito de Kimbiri se subdividió en porciones más pequeñas en un total de 5 microcuencas.

Figura 40  
Microcuenca del área de estudio.



Nota. La figura muestra la delimitación de la microcuenca correspondiente al área de estudio, de elaboración propia adaptado del programa arcgis 10.8.

### 3.9.4.2 Propiedades de la microcuenca de estudio

Las propiedades de la microcuenca de estudio proporcionan información integral que permite analizar su capacidad de regulación hídrica, identificar inundaciones y establecer estrategias de gestión sostenible.

Tabla 10

Obtención de parámetros de microcuenca.

PARAMETROS DE LA MICROCUENCA	CUENCA KIMBIRI	UNIDAD
Área de la microcuenca	0.83	km <sup>2</sup>
Cota máxima	714.00	m.s.n.m
Cota mínima	576.00	m.s.n.m
Pendiente de la cuenca	0.059	m/m
Desnivel del curso principal (H)	138	m
Longitud del curso Principal (L)	2.35	km

Nota. La tabla presenta los parámetros morfológicos y topográficos de la microcuenca de Kimbiri, fundamentales para el análisis hidrológico y el diseño de aguas pluviales, de elaboración propia.

*Tabla 11*  
*Datos de áreas y pendientes de microcuencas.*

ID	Outlet	Área (ha)	Width (m)	Slope (%)	CN	C
SC1	C_11	9.3	244.93	10.00%	90.83	0.80
SC2	C_12	4.6	220.06	13.33%	89.09	0.82
SC3	C_8	7.7	336.27	1.74%	87.87	0.74
SC4	C_9	25.5	425.50	7.00%	87.17	0.77
SC5	C_1	36.0	387.13	8.49%	73.75	0.46

Nota. La tabla representa el área, ancho, pendiente, número de curva y coeficiente de escorrentía de la microcuenca de Kimbiri, de elaboración propia.

*Tabla 12*  
*Datos de las microcuencas ingresadas al SWMM 5.2*

Microcuencas	%Imperv	N-imperv	N-perv	Dstore-imperv (mm)	Dstore-perv (mm)	Ks (mm/h)
SC_1	58%	0.11	0.04	0.07	0.23	5.1
SC_2	59%	0.11	0.07	0.07	0.10	5.1
SC_3	49%	0.09	0.15	0.06	0.38	5.1
SC_4	53%	0.10	0.15	0.06	0.21	5.1
SC_5	9%	0.02	0.67	0.01	0.98	5.1

Nota. La tabla representa el % de área impermeable, coeficiente de rugosidad de área permeable e impermeable, capacidad de almacenamiento y conductividad hidráulica en la microcuenca de Kimbiri, de elaboración propia.

*Tabla 13*  
*Datos de las cámaras ingresadas al SWMM 5.2*

ID	invert elevation (m)	Max depth (m)
C_1	623.21	1.99
C_2	617.73	2.56
C_3	613.29	2.05
C_4	611.55	3.25
C_5	594.67	2.58
C_6	587.68	2.24
C_7	587.21	2.26
C_8	586.91	2.63
C_9	586.16	2.52
C_10	585.76	3.28
C_11	589.10	1.40
C_12	588.32	1.40

Nota. Se presenta los datos de la cota de fondo y la profundidad de las cámaras ingresadas al SWMM 5.2, adaptado del Expediente técnico "Creación del Sistema de drenaje pluvial en la Ciudad de Kimbiri, Distrito de Kimbiri - La Convención - Cusco".

Tabla 14

Dato de la cota de vertido ingresado al SWMM 5.2

**OUTFALL**

ID	Cota
OUT1	585.62

Nota. Corresponde al extremo de la red de drenaje donde se libera el flujo de agua hacia el río Apurímac, adaptado del Expediente técnico "Creación del Sistema de drenaje pluvial en la Ciudad de Kimbiri, Distrito de Kimbiri - La Convención - Cusco".

Tabla 15

Datos del canal subterráneo de concreto armado.

ID	Nodo inicio	Nodo fin	Long (m)	Material	Máx prof. (m)
T-1	C_1	C_2	200.03	CONCRETO	1.99
T-2	C_2	C_3	219.98	CONCRETO	2.05
T-3	C_3	C_4	75.80	CONCRETO	2.05
T-4	C_4	C_5	125.89	CONCRETO	2.58
T-5	C_5	C_6	65.84	CONCRETO	2.24
T-6	C_11	C_12	135.54	CONCRETO	1.40
T-7	C_12	C_6	125.80	CONCRETO	1.40
T-8	C_6	C_7	54.17	CONCRETO	2.24
T-9	C_7	C_8	64.82	CONCRETO	2.26
T-10	C_8	C_9	105.92	CONCRETO	2.52
T-11	C_9	C_10	108.03	CONCRETO	2.52
T-12	C_10	Vertido1	9.35	CONCRETO	3.28

Nota. La información presentada incluye las características del canal de drenaje pluvial subterráneo existente, tales como longitud, tipo de material y profundidad, obtenido del expediente técnico titulado "Creación del Sistema de drenaje pluvial en la Ciudad de Kimbiri, Distrito de Kimbiri - La Convención - Cusco", adaptado para fines de modelado en el SWMM 5.2.

Tabla 16

Información de los colectores incorporados en SWMM 5.2

Colector	longitud (m)	nodo inicial	nodo final	manning	Cota entrada (m)	Cota salida (m)
T-1	200.03	C_1	C_2	0.013	623.21	617.73
T-2	219.98	C_2	C_3	0.013	617.73	613.29
T-3	75.80	C_3	C_4	0.013	613.29	608.81
T-4	125.89	C_4	C_5	0.013	608.81	594.67
T-5	65.84	C_5	C_6	0.013	594.67	587.68
T-6	135.54	C_11	C_12	0.013	589.10	588.32
T-7	125.80	C_12	C_6	0.013	588.32	587.68
T-8	54.17	C_6	C_7	0.013	587.68	587.21
T-9	64.82	C_7	C_8	0.013	587.21	586.91
T-10	105.92	C_8	C_9	0.013	586.91	586.16
T-11	108.03	C_9	C_10	0.013	586.16	585.76
T-12	9.35	C_10	Vertido1	0.013	585.76	585.62

Nota. Los datos mostrados comprenden la longitud, los nodos, coeficiente de rugosidad de Manning, cota de entrada y salida del canal de drenaje pluvial subterráneo existente, obtenido del

expediente técnico titulado “Creación del Sistema de drenaje pluvial en la Ciudad de Kimbiri, Distrito de Kimbiri - La Convención - Cusco”, adaptado para fines del modelado en el SWMM 5.2.

*Tabla 17*

*Cálculo del tiempo de concentración por diferentes métodos.*

MÉTODOS DE CÁLCULO	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	UNIDAD
KIRPICK	22.86	min
CALIFORNIA (U.S.B.R)	22.90	min
FEDERAL A. A	33.31	min
SCS	49.05	min
TEMEZ	59.05	min
GIANDOTTI	45.80	min
BRANSBI	12040.97	min

Nota. La información representa los tiempos de concentración calculados mediante diversos métodos, obtenidos a partir de un análisis de elaboración propia.

Se descartan los valores del tiempo de concentración obtenidos por el método de California, Kirpick, Federal A. A y Bransbi por encontrarse fuera del rango.

Finalmente se saca un promedio del tiempo de concentración de los métodos de SCS, Temez y Giandotti, dando como resultado:  $T_c = 51.30 \text{ min} \approx 55 \text{ min}$  (redondeado a un múltiplo de 5 para obtener un hietograma uniformemente distribuido).

El valor calculado del Coeficiente de escorrentía promedio (C) = 0.72

El valor calculado del Número de curva promedio (CN) = 89

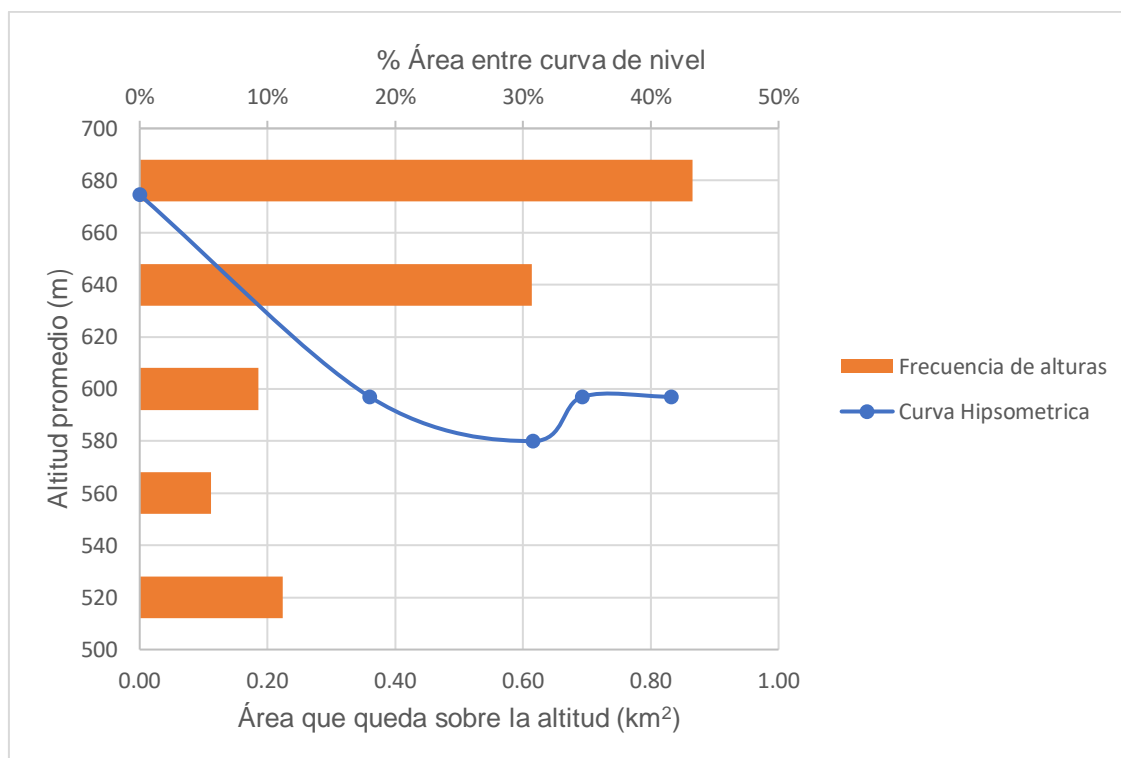
*Tabla 18*

*Áreas entre curvas de nivel.*

Cotas		Alt. Promedio	Área parcial (KM <sup>2</sup> )	Área acumulada	Área que queda sobre la altitud	% Área sobre curva de nivel	% Área entre curva nivel
Min	Máx.						
578.00	616.00	597.00	0.09	0.093	0.83	100%	11%
583.00	611.00	597.00	0.05	0.14	0.69	83%	6%
578.00	582.00	580.00	0.08	0.22	0.62	74%	9%
576.00	618.00	597.00	0.26	0.47	0.36	43%	31%
635.00	714.00	674.50	0.36	0.83	0.00	0%	43%
Total			0.83				

Nota. La tabla presenta la altitud promedio y los porcentajes de área situados por encima y por debajo de la curva, calculados mediante análisis de elaboración propia.

**Figura 41**  
Gráfica de curva hipsométrica y frecuencia de altitudes.



Nota. La figura muestra la curva hipsométrica de la microcuenca y la frecuencia de altitudes, permitiendo analizar la distribución del relieve y su influencia en la escorrentía superficial, obtenidos mediante análisis de elaboración propia.

### 3.9.5 Precipitación de Diseño

El análisis de frecuencia de la precipitación máxima de 24 horas, son tomados de la data grilla PISCOp v2.1 del SENAMHI, donde la serie temporal de estos datos abarca desde el 1 de enero de 1981 hasta el 31 de diciembre de 2016 con latitud de 12°37'5.67" S, longitud 73°47'40.29" W y una altitud de 581.00 m.s.n.m calculados mediante el Método de Dick Peschke, donde se realizó las pruebas de datos dudosos y de bondad de ajuste, para comprobar gráfica y estadísticamente si la frecuencia empírica de la serie generada y analizada se ajusta a una determinada función de probabilidad teórica. (Ver anexo 2 y 2.a).

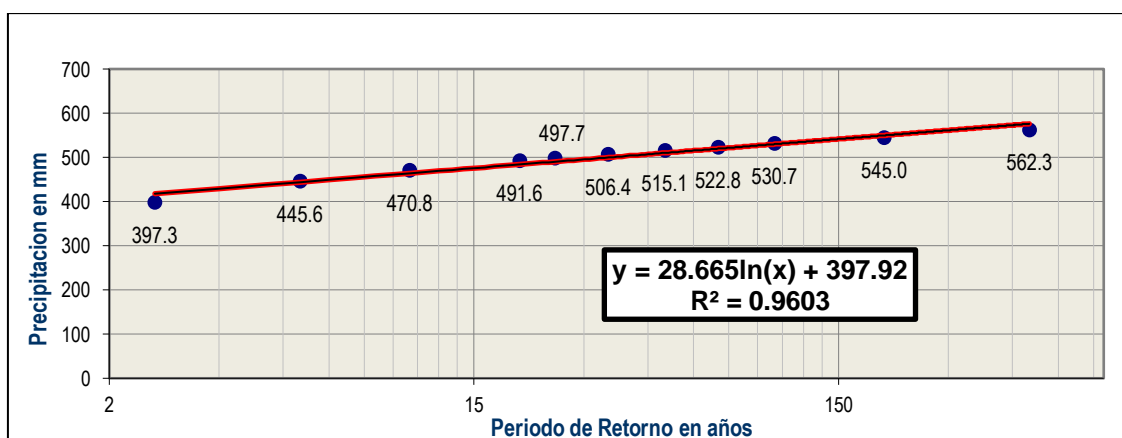
Tabla 19  
Precipitación máxima anual para diferentes periodos de retorno.

T (años)	2	5	10	25	50	100	200	500
<b>Pmax24h(mm)</b>	<b>397.31</b>	<b>445.56</b>	<b>470.78</b>	<b>497.68</b>	<b>515.05</b>	<b>530.68</b>	<b>544.98</b>	<b>562.32</b>
Durac (min)	Precipitaciones Máximas (mm)							
5	96.44	108.16	114.28	120.81	125.03	128.82	132.29	136.50
10	114.69	128.62	135.90	143.67	148.68	153.19	157.32	162.33
15	126.93	142.34	150.40	158.99	164.54	169.54	174.11	179.64
30	150.94	169.28	178.86	189.08	195.68	201.61	207.05	213.63
60	99.33	111.39	117.70	124.42	128.76	132.67	136.25	140.58
120	123.17	138.12	145.94	154.28	159.67	164.51	168.94	174.32
180	150.98	169.31	178.90	189.12	195.72	201.66	207.09	213.68
240	174.82	196.05	207.14	218.98	226.62	233.50	239.79	247.42
300	198.65	222.78	235.39	248.84	257.53	265.34	272.49	281.16
360	222.49	249.51	263.64	278.70	288.43	297.18	305.19	314.90
480	254.28	285.16	301.30	318.51	329.63	339.64	348.79	359.88
600	290.03	325.26	343.67	363.30	375.99	387.40	397.84	410.49
720	313.87	351.99	371.92	393.16	406.89	419.24	430.54	444.23
840	329.77	369.81	390.75	413.07	427.49	440.46	452.34	466.72
960	345.66	387.64	409.58	432.98	448.10	461.69	474.14	489.22
1080	357.58	401.00	423.70	447.91	463.55	477.61	490.49	506.08
1200	369.50	414.37	437.83	462.84	479.00	493.53	506.83	522.95
1320	385.39	432.19	456.66	482.75	499.60	514.76	528.63	545.45
1440	397.31	445.56	470.78	497.68	515.05	530.68	544.98	562.32

Nota. Se presentan los registros de precipitación máxima anual asociados a distintos periodos de retorno, lo que facilita el dimensionamiento y análisis de los sistemas de drenaje pluvial. Los datos corresponden a análisis de elaboración propia.

Figura 42

Gráfica de precipitación máxima anual para diferentes periodos de retorno.



Nota. La ecuación y la gráfica de precipitación máxima anual para diferentes periodos de retorno, facilitando el diseño de sistemas de drenaje pluvial en la microcuenca de estudio, obtenido mediante elaboración propia.

### 3.9.6 Intensidades Máximas de Diseño de la zona de estudio

Tabla 20

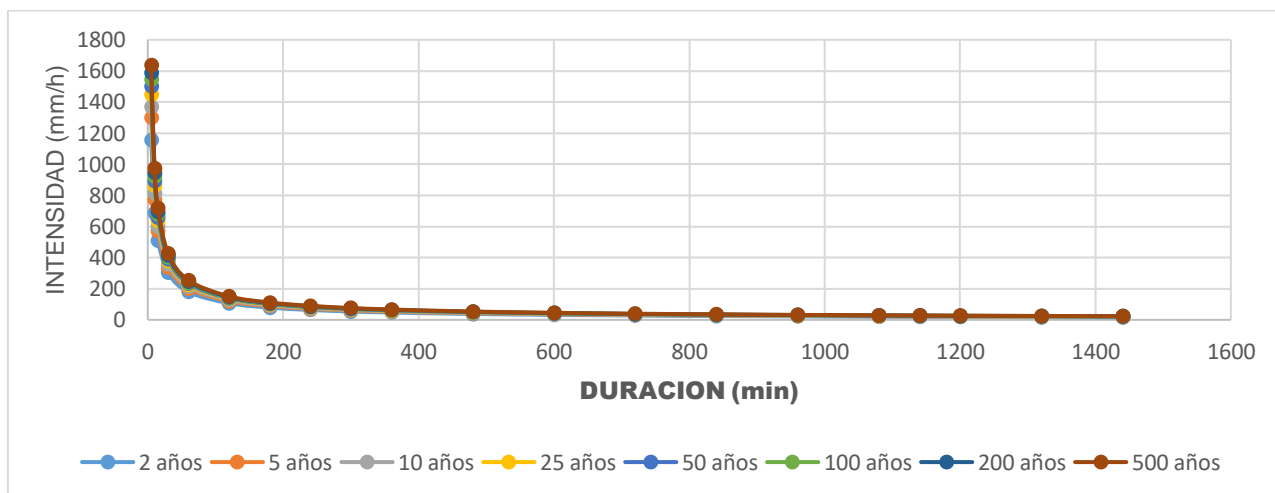
Intensidades máxima anual para diferentes periodos de retorno.

Duración (Horas)	Duración (min)	Periodo de Retorno (años)							
		2.00	5.00	10.00	25.00	50.00	100.00	200.00	500.00
0.083	5	1157.34	1297.89	1371.36	1449.71	1500.32	1545.85	1587.51	1638.00
0.167	10	688.16	771.73	815.42	862.00	892.10	919.17	943.94	973.96
0.250	15	507.71	569.37	601.60	635.97	658.18	678.15	696.43	718.58
0.500	30	301.89	338.55	357.72	378.15	391.35	403.23	414.10	427.27
1.000	60	179.50	201.30	212.70	224.85	232.70	239.76	246.22	254.06
2.000	120	106.73	119.70	126.47	133.70	138.36	142.56	146.41	151.06
3.000	180	78.75	88.31	93.31	98.64	102.08	105.18	108.02	111.45
4.000	240	63.46	71.17	75.20	79.50	82.27	84.77	87.05	89.82
5.000	300	53.68	60.20	63.61	67.25	69.59	71.71	73.64	75.98
6.000	360	46.82	52.51	55.48	58.65	60.70	62.54	64.23	66.27
8.000	480	37.74	42.32	44.71	47.27	48.92	50.40	51.76	53.41
10.000	600	31.92	35.80	37.82	39.98	41.38	42.64	43.79	45.18
12.000	720	27.84	31.22	32.99	34.87	36.09	37.19	38.19	39.40
14.000	840	24.80	27.81	29.39	31.07	32.15	33.13	34.02	35.10
16.000	960	22.44	25.16	26.59	28.11	29.09	29.97	30.78	31.76
18.000	1080	20.54	23.04	24.34	25.73	26.63	27.44	28.18	29.07
19.000	1140	19.72	22.12	23.37	24.71	25.57	26.35	27.06	27.92
20.000	1200	18.98	21.29	22.49	23.78	24.61	25.35	26.04	26.86
22.000	1320	17.67	19.82	20.94	22.13	22.91	23.60	24.24	25.01
24.000	1440	16.55	18.56	19.62	20.74	21.46	22.11	22.71	23.43

Nota. La tabla de intensidades máximas es calculada para distintos periodos de retorno y obtenidos a partir de la tabla 18, de elaboración propia.

Figura 43

Curva IDF para diferentes periodos de retorno.



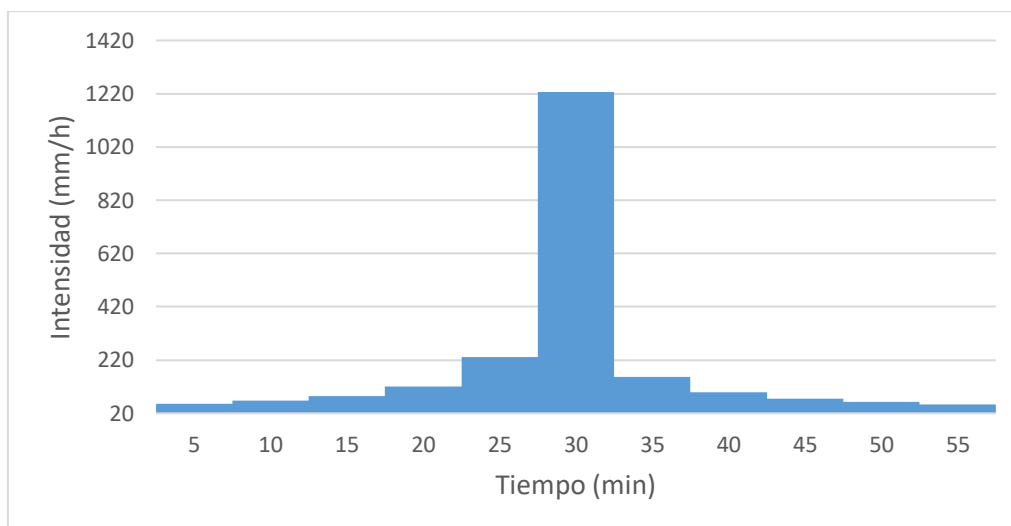
Nota. La figura ilustra las curvas IDF correspondientes a distintos periodos de retorno, construidas a partir de los datos de la Tabla 19. Con base en estas curvas, se realiza el cálculo

de la ecuación general que relaciona intensidad, duración y periodo de retorno, cuyos detalles se presentan en los anexos 7 y 9, de elaboración propia.

### 3.9.7 Hietograma para la zona de estudio

*Figura 44*

*Hietograma de bloques alternos para  $T = 2$  años.*



Nota. A partir de la tabla 20, se construye las curvas IDF y se obtiene la ecuación la ecuación de la intensidad (ver anexo 8). Donde la ecuación se evalúa para un  $T = 2$  años y se construye el hietograma mediante el método de bloques alternos, con una duración igual a tiempo de concentración de 55 min que fue calculado (ver tabla 16 y anexo 10), de elaboración propia.

### 3.9.8 Modelación

La modelización de los SUDS se lleva a cabo utilizando técnicas y el software SWMM versión 5.2, que simula el comportamiento hidráulico y promueve un uso eficiente y sostenible del recurso hídrico proveniente de la lluvia. Este software permite evaluar el rendimiento de los sistemas en diferentes escenarios, tanto con SUDS como sin ellos, facilitando así la toma de decisiones informadas durante el proceso de diseño.

#### Incorporación del hietograma al modelo

Para una duración que se considera igual a tiempo de concentración de 55 min se calcula la intensidad incremental centrada (mm/h) (ver anexo 10). Estos valores (Intensity) se cargan al programa SWMM versión 5.2 y se muestran en la figura 40 y 41 a continuación:

**Figura 45**  
**Intensidad incremental centrada cargado al SWMM 5.2**

Time Series Editor

Time Series Name  
 Tr2D55min

Description  
 IDF y bloques alternos

Use external data file named below

Enter time series data in the table below

No dates means times are relative to start of simulation.

Date (M/D/Y)	Time (H:M)	Value
05/23/2023	08:00	56.74
	08:05	67.78
	08:10	85.60
	08:15	120.46
	08:20	232.25
	08:25	1227.47
	08:30	155.73
	08:35	99.59
	08:40	75.48
	08:45	61.69
	08:50	52.64

View

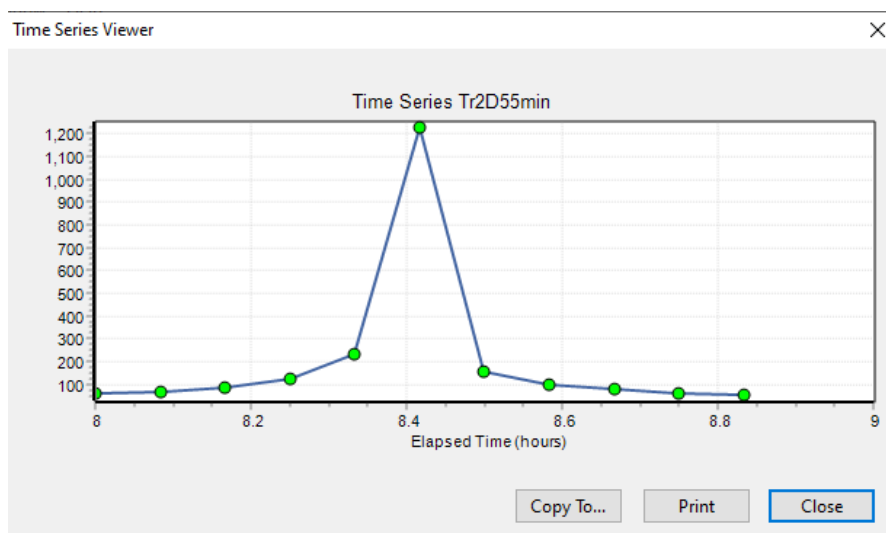
OK

Cancel

Help

Nota. La figura muestra la intensidad incremental centrada utilizada en el modelo SWMM 5.2, la cual representa la distribución temporal de la lluvia durante un evento de diseño. Los datos fueron procesados mediante análisis de elaboración propia.

**Figura 46**  
**Visor de serie temporal en SWMM 5.2**

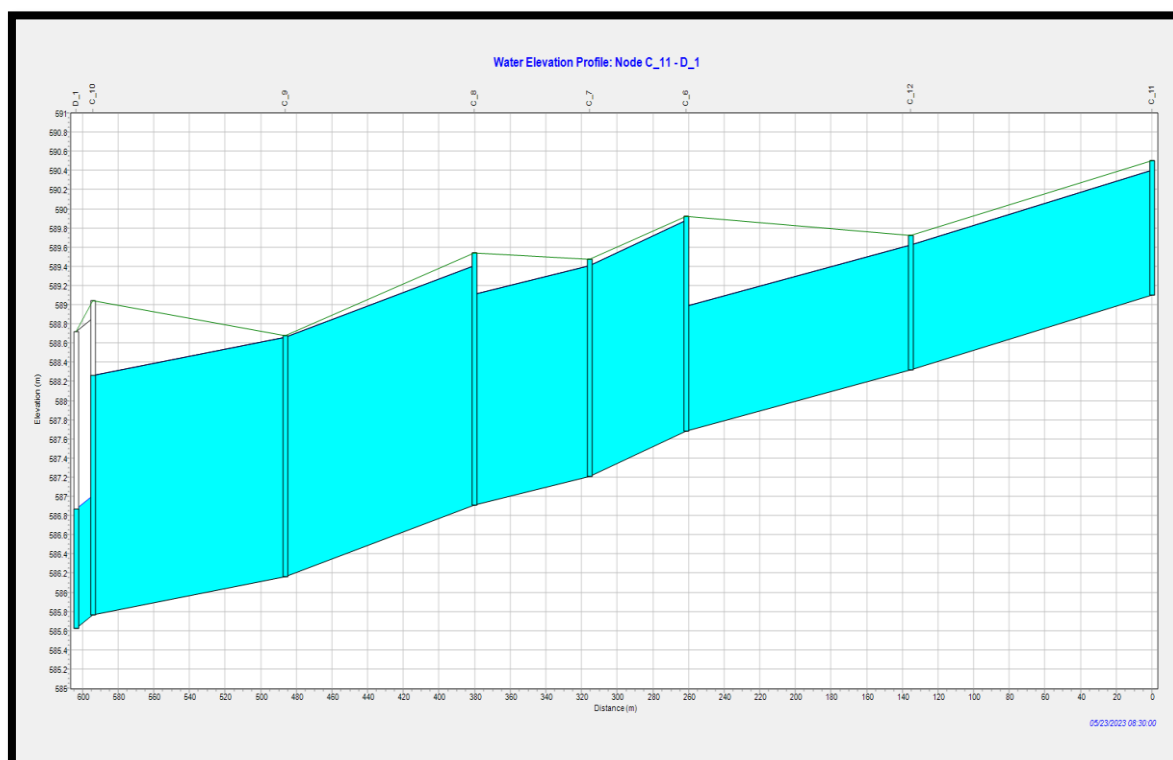


Nota. La figura presenta el visor de series temporales del modelo SWMM 5.2, herramienta que permite observar y analizar la evolución del flujo y otros parámetros hidráulicos a lo largo del tiempo durante un evento de lluvia. Esta funcionalidad facilita la evaluación del comportamiento dinámico del sistema de drenaje pluvial y la verificación de los resultados del modelado, con procesamiento de elaboración propia.

### 3.9.9 Modelación Red de drenaje pluvial existente

Una vez que el modelo básico esté integrado en el software SWMM versión 5.2 y considerando el hietograma previamente elaborado, se procederá a añadir las microcuencas, nodos y cámaras en el software correspondiente. Tras cargar los datos en SWMM versión 5.2, comenzará la fase de modelado, durante la cual se podrá observar el comportamiento de la red de drenaje pluvial subterráneo existente y simular su respuesta hidráulica ante una precipitación con un periodo de retorno de dos años. La combinación de estos elementos establece una base sólida para llevar a cabo un análisis exhaustivo y detallado, lo que permitirá comprender mejor la dinámica del drenaje en el área de estudio y evaluar su capacidad para enfrentar situaciones de lluvia intensa y eventos extremos.

*Figura 47*  
*Perfil con la red de drenaje pluvial en el pico de la lluvia.*

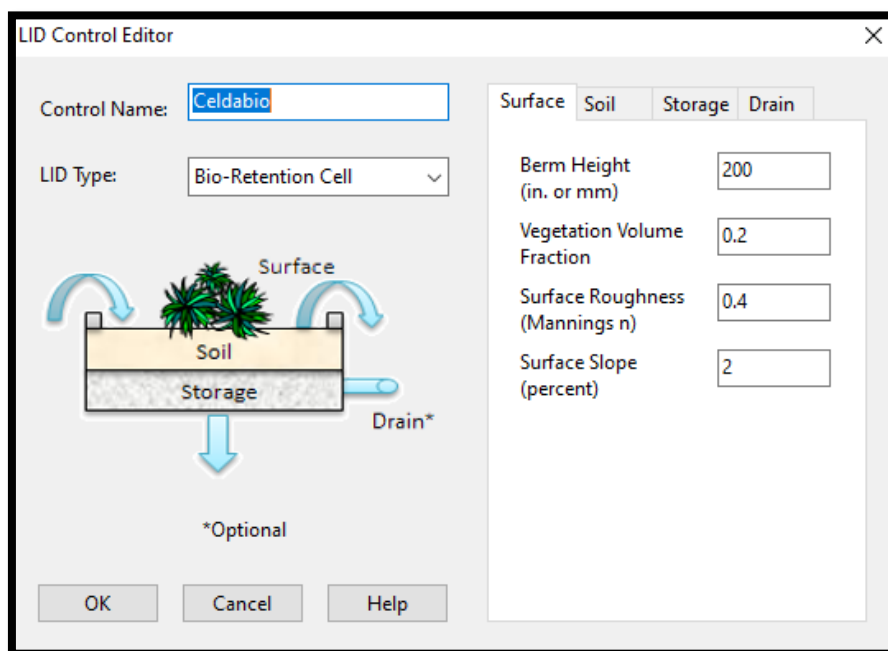


Nota. La figura muestra el perfil hidráulico de la red de drenaje pluvial en el momento de máxima intensidad de precipitación, procesado mediante elaboración propia adaptado de SWMM 5.2.

### 3.9.10 Modelación de la red existente aplicando los SUDS

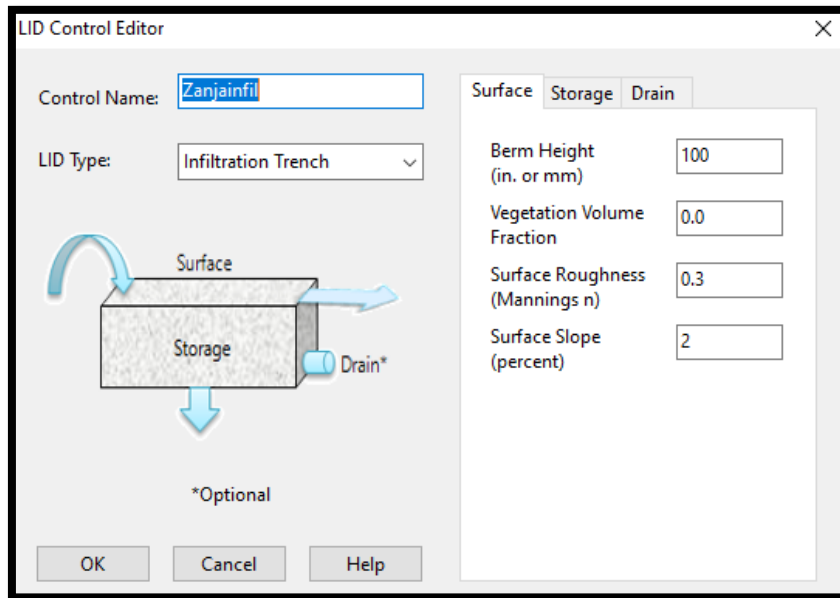
Para llevar a cabo este análisis, se utilizaron los datos de entrada obtenidos de la modelización, que incluyó celdas de biorretención, zanjas de infiltración y cunetas verdes, con el fin de realizar un análisis combinado en la microcuenca en estudio. El objetivo es demostrar cómo estos elementos interactúan entre sí y cómo contribuyen a mitigar los puntos críticos identificados en la zona de estudio. El enfoque integrado de los SUDS muestra que la implementación de soluciones sostenibles puede mejorar notablemente la capacidad de la red existente para enfrentar eventos adversos, como desastres naturales y cambios climáticos, así como reducir sus impactos negativos en la Capital del Distrito de Kimbiri. Se adjuntan planos del sistema de drenaje pluvial producto del diseño aplicando SUDS (Ver anexos 24, 25, 26 y 27).

*Figura 48*  
*SUDS de celdas de Biorretención en SWMM 5.2*



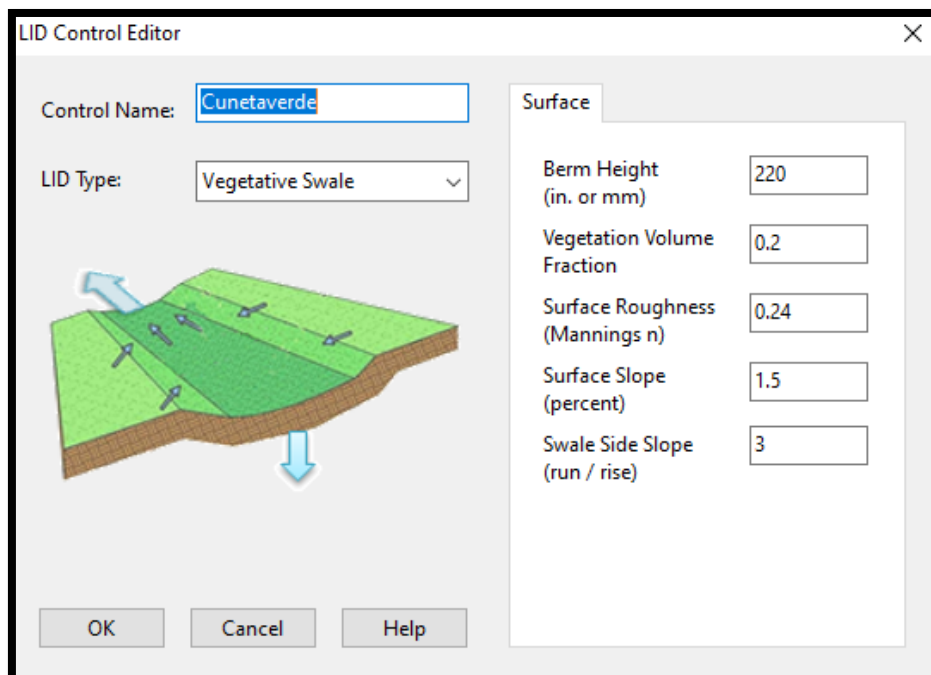
Nota. La figura ilustra la representación de celdas de biorretención dentro del modelo SWMM 5.2, mostrando su disposición y características hidráulicas para el manejo de escorrentía pluvial. Esta configuración permite simular la infiltración y retención del agua, permitiendo analizar cómo los SUDS contribuyen a disminuir los caudales de escorrentía y mejorar la calidad del agua, elaborados con recomendaciones de la EPA (2016).

Figura 49  
SUDS de zanjas de infiltración en SWMM 5.2



Nota. La figura presenta la configuración de zanjas de infiltración implementadas en el modelo SWMM 5.2, mostrando su capacidad para capturar y permitir la infiltración de la escorrentía superficial. Esta representación permite analizar cómo estas estructuras contribuyen a reducir el flujo de agua superficial y favorecer la recarga del acuífero, adaptado siguiendo las recomendaciones de la EPA (2016).

Figura 50  
SUDS de cunetas verdes en SWMM 5.2



Nota. La figura muestra la representación de cunetas verdes dentro del modelo SWMM 5.2, evidenciando su función en la captura y manejo de la escorrentía superficial. Esta disposición permite analizar la reducción del caudal de escorrentía y la mejora en la calidad del agua,

contribuyendo a la gestión sostenible de aguas pluviales, adaptado siguiendo las recomendaciones de la EPA (2016).

*Figura 51*  
*SUDS incorporados a microcuenca del SWMM 5.2*

Control Name	LID Type	% of Area	% From Imperv	% From Perv	Report File
Celdabio	Bio-Retention	2.083	14	0	
Zanjainfil	Infil. Trench	2.100	14	0	

Nota. La figura presenta la disposición de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) dentro de la microcuenca modelada en SWMM 5.2, mostrando su ubicación, dimensionamiento y función en la gestión de la escorrentía superficial. Esta configuración permite analizar la eficiencia de los SUDS en la reducción de caudales y en la mejora de la calidad del agua, contribuyendo a la planificación hidráulica sostenible, adaptado siguiendo las recomendaciones de la EPA (2016).

## CAPITULO IV. RESULTADOS

### 4.1 Contrastación de hipótesis.

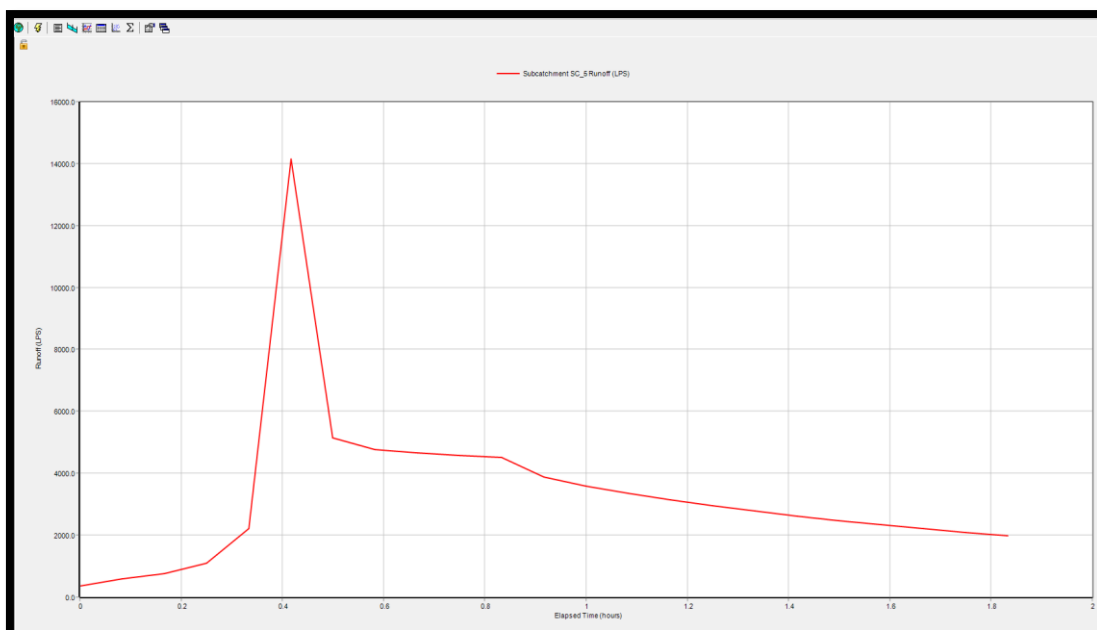
Se plantean dos sub- hipótesis para su evaluación y se detallan:

Hipótesis Nula ( $H_0$ ): "La implementación de los SUDS no tienen un efecto significativo en la reducción de los caudales picos ".

Hipótesis Alternativa ( $H_1$ ): " La implementación de los SUDS reducen significativamente los caudales picos ".

Con los estudios realizados en la presente investigación, en las cuales se toman como base los DEM (modelos de elevación digital) los planos del levantamiento topográfico de las redes drenaje pluvial existente se realiza comparaciones mediante la versión 5.2 del software SWMM con SUDS (celdas de biorretención y zanjas de infiltración) y sin SUDS y se representan en las figuras 48 y 49.

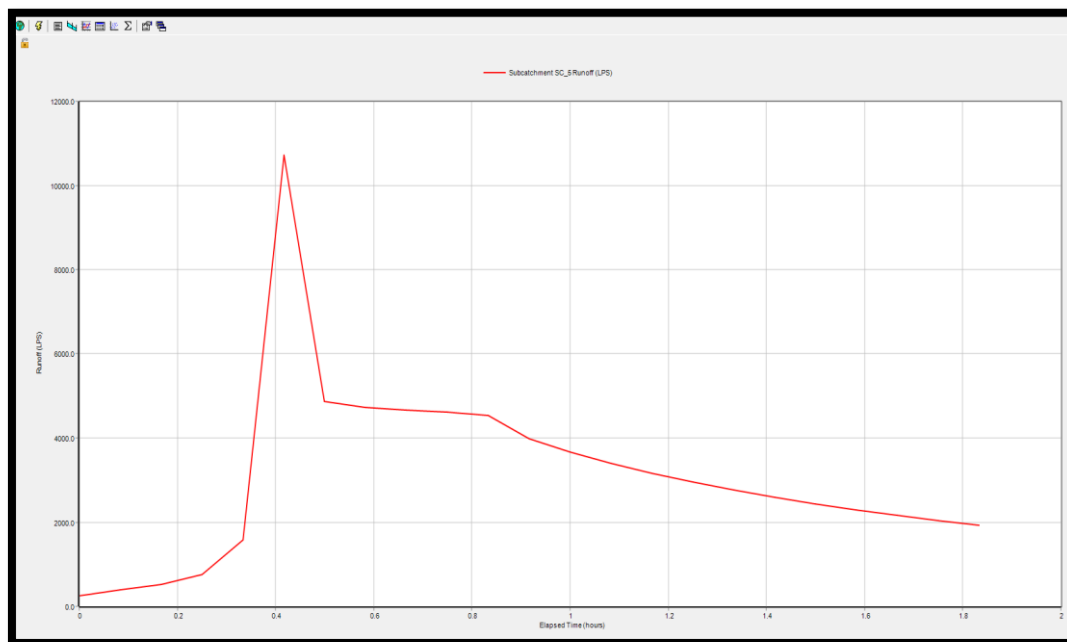
*Figura 52*  
*Hidrograma sin SUDS en la microcuenca 5 (SC\_5).*



Nota. La figura presenta el hidrograma correspondiente a la microcuenca 5 (SC\_5) en ausencia de los SUDS, evidenciando el comportamiento del caudal pico superficial durante un evento de

lluvia. Los datos fueron procesados mediante elaboración propia a partir del modelado en SWMM 5.2.

*Figura 53*  
*Hidrograma con SUDS en la microcuenca 5 (SC\_5).*



Nota. La figura presenta el hidrograma correspondiente a la microcuenca 5 (SC\_5), considerando la incorporación de los SUDS, evidenciando como estas estructuras influyen en la disminución del caudal máximo durante un evento de lluvia. Los datos fueron procesados mediante elaboración propia a partir del modelado en SWMM 5.2.

*Tabla 21*  
*Comparación de escorrentía punta con SWMM 5.2 para T = 2 años.*

Subcuenca	Escorrentía punta (LPS) sin SUDS	Escorrentía punta (LPS) con SUDS	% Disminución
SC_5	14144.08	10719.58	24.21%

Nota. La tabla presenta la comparación de los valores de escorrentía máxima calculados mediante SWMM 5.2 para un periodo de retorno de 2 años, permitiendo que la implementación de los SUDS celdas de biorretención y zanjas de infiltración en la microcuenca 5 disminuye en 24.21% la escorrentía punta por lo cual se acepta la hipótesis alternativa (H1). Los datos se procesaron mediante elaboración propia a partir del modelado y permiten analizar la eficiencia de manejo sostenible de aguas pluviales.

## 4.2 Análisis e interpretación.

Los resultados obtenidos mediante la versión 5.2 del software SWMM para un periodo de retorno de 2 años correspondientes al sector Kimbiri (capital) se detallan en las siguientes tablas:

*Tabla 22*  
*Escorrentía superficial del Sector Kimbiri (capital).*

	Volumen ha-m	Altura mm
	-----	-----
Almacenamiento inicial con SUDS	0.045	0.541
Precipitación total .....	15.486	186.286
Pérdidas evaporación.....	0	0
Pérdidas infiltración .....	2.742	32.984
Escorrentía superficial .....	10.247	123.259
Almacen. final en super .....	2.781	33.456
Error continuidad (%) .....	-1.537	

Nota. La tabla muestra los valores de escorrentía superficial calculados para la Capital del Distrito de Kimbiri, considerando la precipitación y características del terreno. Esta información permite evaluar la respuesta hidrológica de la zona ante eventos de lluvia y sirve como referencia para el diseño y planificación de medidas de manejo de aguas pluviales. Los datos fueron procesados mediante elaboración propia a partir del modelado en SWMM 5.2.

*Tabla 23*  
*Tránsito de flujo del Sector Kimbiri (capital)*

	Volumen ha-m	Volumen 10 <sup>6</sup> ltr
	-----	-----
Aguas residuales.....	0	0
Aguas pluviales.....	10.206	102.058
Aguas subterráneas.....	0	0
Infiltración .....	0	0
Entrada .....	0	0
Salida .....	4.764	47.639
Inundación .....	5.427	54.268
Pérdida por evaporación .....	0	0
Pérdida por exfiltración .....	0	0
Almacenamiento inicial .....	0	0
Almacenamiento final.....	0.058	0.577
Error de continuidad (%) .....	-0.417	

Nota. La tabla presenta los valores del tránsito de flujo calculados para la Capital del Distrito de Kimbiri, considerando las condiciones hidráulicas y geométricas de la red de drenaje. Esta información permite analizar el comportamiento del flujo superficial durante eventos de lluvia y evaluar la capacidad del sistema para manejar escorrentía. Los datos fueron obtenidos y procesados mediante elaboración propia a partir del modelado en SWMM 5.2.

Tabla 24

Escorrentía punta con SUDS para diferentes periodos de retorno.

Microcuenca	Escorr. Punta (LPS)	Escorr. Punta (LPS)	Escorr. Punta (LPS)
	T = 2 años	T = 10 años	T = 25 años
SC_1	24633.52	27708.20	29607.33
SC_2	13762.88	15387.67	16386.71
SC_3	14334.11	16433.55	18105.21
SC_4	40634.51	46935.88	51197.82
SC_5	10719.58	12258.41	17232.51

Nota. La tabla muestra los valores de escorrentía punta en la microcuenca con la implementación de SUDS para distintos periodos de retorno, obtenidos mediante modelación en SWMM 5.2. Se observa que el caudal máximo (LPS) para 2 años es menor respecto a 10 y 25 años. De acuerdo con la CONAGUA (2016), en poblaciones menores a 100,000 habitantes se recomienda un periodo de diseño entre 2 y 5 años, por lo que se adopta el de 2 años.

Tabla 25

Cálculo de Intensidades para lluvias de T = 25 años.

Intervalo (min)	Intensidad (mm/h)	C	A SUDS (km <sup>2</sup> )	Q lluvia (m <sup>3</sup> /s)	V lluvia (m <sup>3</sup> )
5	66.063			0.0264	7.93
10	78.906			0.0316	18.95
15	99.655			0.0399	35.90
20	140.246			0.0561	67.37
25	270.385	0.72	0.002	0.1082	162.36
30	1429.044			0.5721	1029.73
35	181.298			0.0726	152.41
40	115.946			0.0464	111.40
45	87.875			0.0352	94.98
50	71.821			0.0288	86.25
55	61.279			0.0245	80.95
Total =					1,848.25

Nota. La tabla presenta las intensidades de precipitación calculadas para eventos con un periodo de retorno de 25 años. Esta información es fundamental para la determinación de caudales máximos y el dimensionamiento de infraestructuras hidráulicas, permitiendo analizar la respuesta de la microcuenca ante lluvias extremas. Los datos fueron obtenidos y procesados mediante elaboración propia a partir del modelado hidrológico y análisis de información pluviométrica.

**Tabla 26**  
Cálculo de Intensidades para lluvias de  $T = 10$  años.

Intervalo (min)	Intensidad (mm/h)	C	A SUDS (km <sup>2</sup> )	Q lluvia (m <sup>3</sup> /s)	V lluvia (m <sup>3</sup> )
5	62.517			0.0250	7.51
10	74.672			0.0299	17.94
15	94.307			0.0378	33.98
20	132.719			0.0531	63.76
25	255.874	0.72	0.002	0.1024	153.65
30	1352.351			0.5414	974.47
35	171.569			0.0687	144.23
40	109.723			0.0439	105.42
45	83.159			0.0333	89.88
50	67.966			0.0272	81.62
55	57.990			0.0232	76.61
Total =					1,749.06

Nota. La tabla presenta las intensidades de precipitación calculadas para eventos con un periodo de retorno de 10 años. Los datos fueron procesados mediante elaboración propia.

**Tabla 27**  
Cálculo de Intensidades para lluvias de  $T = 2$  años.

Intervalo (min)	Intensidad (mm/h)	C	A SUDS (km <sup>2</sup> )	Q lluvia (m <sup>3</sup> /s)	V lluvia (m <sup>3</sup> )
5	56.744			0.0227	6.81
10	67.776			0.0271	16.28
15	85.599			0.0343	30.84
20	120.464			0.0482	57.87
25	232.246	0.72	0.002	0.0930	139.46
30	1227.472			0.4914	884.49
35	155.726			0.0623	130.91
40	99.591			0.0399	95.68
45	75.480			0.0302	81.58
50	61.690			0.0247	74.09
55	52.635			0.0211	69.53
Total =					1,587.55

Nota. La tabla presenta las intensidades de precipitación calculadas para eventos con un periodo de retorno de 2 años, de elaboración propia.

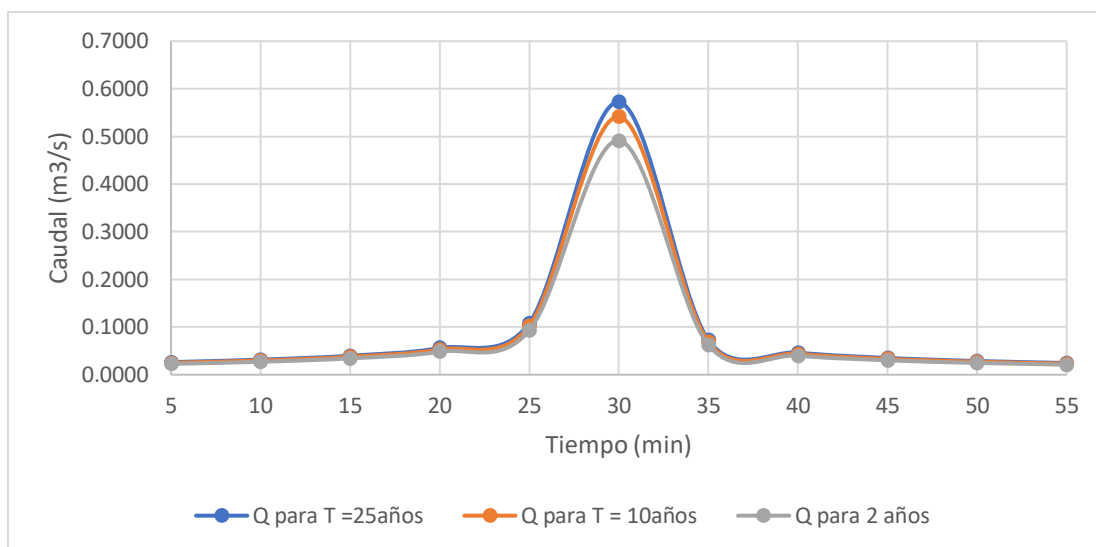
**Tabla 28**  
Resumen de lluvia de diseño.

LLUVIA DE DISEÑO	CAUDAL PUNTA (m <sup>3</sup> /s)	VOL TOTAL (m <sup>3</sup> )
T = 2 años	0.49	1,587.55
T = 10 años	0.54	1,749.06
T = 25 años	0.57	1,848.25

Nota. La tabla presenta la lluvia de diseño con caudales máximos y periodos de retorno de 2 años, 10 años y 25 años, de elaboración propia.

Figura 54

Hidrograma para diferentes periodos de retorno con una duración de 55min.



Nota. La tabla presenta el análisis hidrológico permitió generar hidrogramas correspondientes a distintos periodos de retorno, los cuales reflejan la variabilidad en la respuesta de la cuenca frente a eventos de precipitación. Se observa que, a medida que aumenta el periodo de retorno, se incrementa tanto el caudal máximo como el volumen de escorrentía, lo que pone de manifiesto la relación directa entre la magnitud del evento pluviométrico y la intensidad del flujo resultante, de elaboración propia.

Tabla 29

Volumen de lluvias con  $T = 2$  años y  $A_{SUDS}$  de  $504 \text{ m}^2$ .

Intervalo (min)	Intensidad (mm/h)	C	A SUDS (km <sup>2</sup> )	Q lluvia (m <sup>3</sup> /s)	V lluvia (m <sup>3</sup> )
5	56.744			0.0057	1.72
10	67.776			0.0068	4.10
15	85.599			0.0086	7.77
20	120.464			0.0122	14.58
25	232.246	0.72	0.000504	0.0234	35.14
30	1227.472			0.1238	222.89
35	155.726			0.0157	32.99
40	99.591			0.0100	24.11
45	75.480			0.0076	20.56
50	61.690			0.0062	18.67
55	52.635			0.0053	17.52
Total =					400.06

Nota. Se presenta el procesamiento de la información pluviométrica para estimar el volumen de precipitaciones correspondiente a un periodo de retorno de 2 años, considerando un área de implementación de SUDS de  $504 \text{ m}^2$ , lo cual proporciona un insumo fundamental para evaluar su eficiencia en la reducción de escorrentía y su integración en el diseño del drenaje urbano sostenible, de elaboración propia.

**Tabla 30**  
Volumen de lluvias con  $T = 2$  años y  $A_{SUDS}$  de  $7560 \text{ m}^2$ .

Intervalo (min)	Intensidad (mm/h)	C	A SUDS (km <sup>2</sup> )	Q lluvia (m <sup>3</sup> /s)	V lluvia (m <sup>3</sup> )
5	56.744			0.0859	25.76
10	67.776			0.1026	61.54
15	85.599			0.1295	116.58
20	120.464			0.1823	218.74
25	232.246	0.72	0.00756	0.3514	527.16
30	1227.472			1.8574	3343.36
35	155.726			0.2356	494.86
40	99.591			0.1507	361.69
45	75.480			0.1142	308.38
50	61.690			0.0934	280.05
55	52.635			0.0796	262.84
Total =					6,000.95

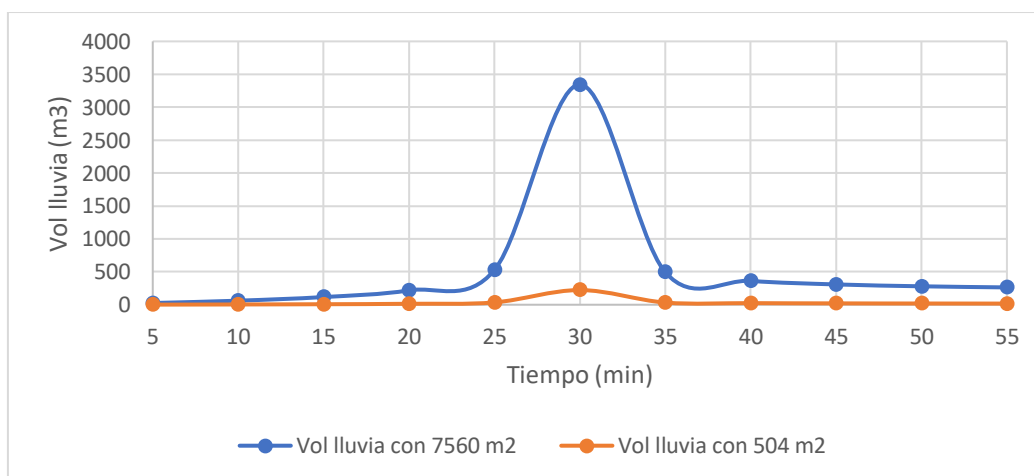
Nota. La información refleja la capacidad de gestión hidráulica frente a eventos de corta recurrencia, de elaboración propia.

**Tabla 31**  
Resumen de volumen de lluvia.

ÁREA SUDS (m <sup>2</sup> )	VOL LLUVIA (m <sup>3</sup> )
504	400.06
7,560	6,000.95

Nota. Los resultados, muestran que un incremento del área de implementación se traduce en una capacidad significativamente mayor para retener y conducir el agua de precipitación, aspecto fundamental para el dimensionamiento de infraestructuras de drenaje sostenible, de elaboración propia.

**Figura 55**  
Volumen de lluvia con áreas diferentes de SUDS y una duración de 55min.



Nota. De la figura 55, tenemos diferentes áreas de SUDS aplicados en la cuenca, capital del Distrito de Kimbiri con un período de diseño de 2 años y considerando una lluvia con un lapso de 55 minutos. Por lo que podemos concluir al tener una mayor área de SUDS disponibles se puede

retener la escorrentía superficial y disminuir el caudal pico mejorando de esta manera la eficiencia del sistema de drenaje pluvial, de elaboración propia.

*Tabla 32*

*Escorrentía punta con SWMM 5.2 para las microcuencas 3 y 4.*

Microcuenca	Escorrentía punta (LPS) sin SUDS	Escorrentía punta (LPS) con SUDS	% Disminución
SC_3	14,611.27	14,334.11	1.90%
SC_4	40,900.25	40,634.51	0.65%

Nota. En la microcuenca 3 con área de 77,343 m<sup>2</sup> se aplica el tipo de SUDS zanjas de infiltración para un área de 504 m<sup>2</sup> obteniendo una disminución de la escorrentía punta en 1.90%; mientras en la microcuenca 4 con área de 255,298 m<sup>2</sup> se aplica el tipo de SUDS zanjas de infiltración para un área de 306 m<sup>2</sup> y cunetas verdes para un área de 461.55 m<sup>2</sup> obteniendo una disminución de la escorrentía punta en 0.65%, de elaboración propia.

*Tabla 33*

*Niveles de inundación en nudos del sector Kimbiri con SUDS para T= 2 años.*

Nudo	Horas Inundado	Caudal máx. (LPS)	Inst. en que sucede el máx. hh:mm	Volumen total inund. 10 <sup>6</sup> L
C_6	0.03	949.95	00:31	0.068
C_7	0.13	4,722.78	00:31	1.213
C_8	0.18	9,316.33	00:30	2.941
C_9	0.62	45,077.15	00:30	38.099
C_11	0.21	18,506.44	00:30	5.813
C_12	0.29	14,129.08	00:30	6.134

Nota. La simulación hidráulica realizada en el sector Kimbiri permitió evaluar el comportamiento de la red de drenaje con la incorporación de SUDS, considerando un periodo de retorno de 2 años. Los resultados generados en SWMM 5.2 evidencian una disminución en la magnitud de las inundaciones en los nudos de la red, lo que respalda la pertinencia de estas infraestructuras como estrategia de mitigación frente a eventos de lluvia recurrentes, adaptado del SWMM 5.2 con elaboración propia.

**Tabla 34**  
Inundación en nudos del sector Kimbiri sin SUDS para T= 2 años.

Nudo	Horas Inundado	Caudal máx. (LPS)	Inst. en que sucede el máx. hh:mm	Volumen total inund. 10 <sup>6</sup> L
C_6	0.08	4,210.90	00:31	0.659
C_7	0.15	5,721.47	00:33	1.686
C_8	0.20	9,593.49	00:30	3.191
C_9	0.62	45,342.88	00:30	38.412
C_11	0.21	18,506.44	00:30	5.813
C_12	0.29	14,129.08	00:30	6.134

Nota. Se muestra las inundaciones en nudos del sector Kimbiri sin la implementación de SUDS para un periodo de retorno de 2 años. Los resultados, obtenidos con SWMM 5.2, muestran un mayor nivel de anegamiento en comparación con escenarios con SUDS, adaptado del SWMM 5.2 con elaboración propia.

**Tabla 35**  
Cálculo de la eficiencia con SUDS para T= 2 años.

Microcuencia	Periodo de retorno	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad máx (m/s)	Escorrentía punta(m <sup>3</sup> /s)	Eficiencia%
Sc_3	T = 2 años	45.08	11.88	14.334	31.80%
Sc_4	T = 2 años	45.08	11.88	40.635	90.14%
Sc_5	T = 2 años	45.08	11.88	10.720	23.78%

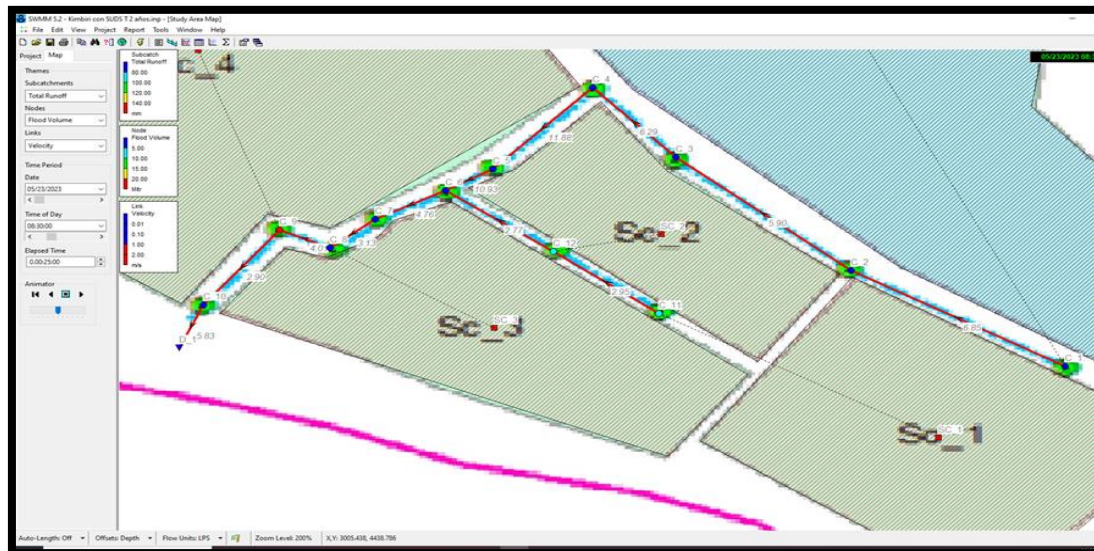
Nota. Se muestra el cálculo de la eficiencia hidráulica para evaluar el desempeño de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en el sector analizado, considerando un periodo de retorno de 2 años, con resultados obtenidos mediante el modelo SWMM 5.2, de elaboración propia.

**Tabla 36**  
Cálculo de la eficiencia sin SUDS para T= 2 años.

Microcuencia	Periodo de retorno	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad máx (m/s)	Escorrentía punta(m <sup>3</sup> /s)	Eficiencia%
Sc_3	T = 2 años	45.34	12.96	14.611	32.22%
Sc_4	T = 2 años	45.34	12.96	40.900	90.20%
Sc_5	T = 2 años	45.34	12.96	14.144	31.19%

Nota. La evaluación hidrológica del sector sin la incorporación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), bajo un periodo de retorno de 2 años, permitió estimar la eficiencia del sistema convencional según las simulaciones realizadas en SWMM 5.2, de elaboración propia.

Figura 56  
Velocidad máxima de 11.88 m/s con SUDS.



Nota. El análisis hidráulico realizado mediante el modelo SWMM 5.2 permitió identificar la velocidad máxima alcanzada en el sistema de drenaje con la implementación de SUDS, registrando un valor de 11,88 m/s. Este resultado evidencia el comportamiento de la capacidad del sistema para conducir caudales elevados en escenarios de precipitación significativa, de elaboración propia, adaptado del SWMM 5.2.

Figura 57  
Velocidad máxima de 12.96 m/s sin SUDS.



Nota. La simulación hidráulica sin la aplicación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) permitió identificar que la red de drenaje alcanza una velocidad máxima de 12,96 m/s. Este valor refleja un comportamiento más crítico del flujo, lo cual incrementa el riesgo de erosión e inestabilidad en la infraestructura pluvial bajo eventos de precipitación intensa, de elaboración propia, adaptado del SWMM 5.2.

- ✓ A través el anexo 29, se determinó la capacidad hidráulica de la Av. Circunvalación con el monograma de Izzard, obteniendo un resultado de:  
 $Q_{calle} = 0.219 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- ✓ A través el anexo 30, se calculó el caudal máximo que circula por la Av. Circunvalación para un periodo de retorno de 2 años, haciendo uso del Método Racional, obteniendo un resultado de:  $Q_{m\acute{a}x} = 0.390 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- ✓ Como  $Q_{m\acute{a}x} > Q_{calle}$ , se plantea incrementar la capacidad de la calle mediante una cuneta de sección compuesta de material concreto armado.
- ✓ A través el anexo 31, se calculó la capacidad hidráulica que circula por la Av. Circunvalación para un drenaje pluvial urbano convencional, obteniendo un resultado de:  $Q_{calle} = 0.410 \text{ m}^3/\text{s}$  con un área de implementación de cuneta de sección compuesta de material concreto armado (drenaje pluvial urbano convencional) de  $461.55 \text{ m}^2$  y un área de sección transversal de  $0.182 \text{ m}^2$ .
- ✓ A través el anexo 32, con la implementación del Sistema Urbano de drenaje Sostenible (SUDS), se calculó la capacidad hidráulica que circula por la Av. Circunvalación, obteniendo un resultado de:  $Q_{calle} = 1.04 \text{ m}^3/\text{s}$  con un área de implementación de cunetas verdes (SUDS) de  $461.55 \text{ m}^2$  y un área de sección transversal de  $0.578 \text{ m}^2$ .

## CAPITULO V. CONCLUSIONES

### 5.1 Conclusiones.

- 1) La implementación de la metodología de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), en la ciudad de Kimbiri al modelarlos demostraron cumplir con el objetivo principal de mejorar la gestión de aguas pluviales, reduciendo los problemas de escorrentía e inundaciones.
- 2) La implementación de la metodología de celdas de biorretención y zanjas de infiltración redujo en un 24.21% el caudal de escorrentía y disminuye riesgos de inundaciones en la microcuenca 5, los cuales fueron obtenidos con el software SWMM versión 5.2.
- 3) La implementación de la metodología de cunetas verdes obtenidos con el software SWMM versión 5.2 no mejoró significativamente la capacidad del sistema de drenaje para manejar y mitigar las inundaciones de la ciudad de Kimbiri, debido a la baja infiltración del suelo.
- 4) De las tablas 34 y 35, se concluye que es complejo lograr resultados demasiados eficientes a menos que se coloquen SUDS de gran tamaño.
- 5) Mediante la tabla 23 se puede apreciar que la escorrentía punta (LPS) obtenida con el software SWMM 5.2 para una duración de la lluvia de 55 minutos con período de retorno de 2 años es menor al comparar con los periodos de retorno de 10 años y 25 años, razón por lo cual se elige como periodo de diseño de SUDS el  $T = 2$  años.

## **5.2 Recomendaciones.**

- 1) Se recomienda a SENAMHI instalar una estación meteorológica en Kimbiri para que las investigaciones futuras continúen mejorando los sistemas urbanos de drenaje sostenible adaptado a las condiciones climáticas actuales en las que enfrentamos crecientes desafíos de urbanización y limitaciones en la infraestructura tradicional de drenaje.
- 2) En las áreas de expansión urbana de la ciudad de Kimbiri, es fundamental definir con precisión las zonas destinadas a los SUDS, para que las entidades encargadas tengan claridad al momento de realizar la zonificación urbana.
- 3) Se recomienda promover un enfoque participativo mediante campañas de sensibilización dirigidas hacia la población de Kimbiri sobre los beneficios de los SUDS, donde estas actividades permitirán que la población asuma un compromiso en la protección y mantenimiento de las cunetas verdes, zanjas de infiltración y celdas de biorretención.
- 4) Se recomienda implementar el diseño, construcción y mantenimiento de los SUDS en la Norma Técnica CE-040 drenaje pluvial del Reglamento Nacional de Edificaciones. Asimismo, implementar el software SWMM 5.2 para su correspondiente modelamiento.

## **5.3 Trabajos futuros.**

1. Calibración la data grillada Pisco-p V2.1 (Peruvian Interpolation of the Climate Surface Observations) para la aplicación de SUDS en zonas con escasa información pluviométrica.
2. Evaluar la aplicación de los depósitos de retención con los barriles de lluvia en la eficiencia del sistema de drenaje pluvial.
3. Evaluar la aplicación de los depósitos de retención con los pavimentos permeables en la eficiencia del sistema de drenaje pluvial.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Albines Lozano, A. J. (2023). *“Propuesta de mejoramiento del sistema de drenaje pluvial urbano de la cuenca Alameda – Ayacucho utilizando SUDS”*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- ANA. (2015). *Generación del Mapa Temático de Curva Número (CN)*. Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos .
- Aparicio, F. J. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México: Editorial Limusa.
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica* (6a. ed.). Episteme.
- Ávila, S. (2002). *Hidráulica de canales*. México, UNAM: Facultad de Ingeniería.
- Aybar, C., Lavado Casimiro, W., Huerta, A., Fernández, C., Vega, F., & Sabino, E. &. (2017). *Uso del producto grillado Pisco de precipitación en estudios, investigaciones y sistemas operacionales de monitoreo y pronóstico hidrometeorológico. Nota Técnica 001 SENAMHI-DHI*. Lima.
- Aybar, C., Lavado, W., Huerta, A., Fernández, C., Vega, F., Sabino, E., & Felipe, O. (2017). *Uso del Producto Grillado Pisco de Precipitaciones y Sistemas Operacionales de Monitoreo y Pronóstico Hidrometeorológico. Nota Técnica 001 SENAMHI, Lima - Perú*.
- Butler, D., Digman, D. J., Makropulos, C., & Davies, J. W. (2018). *Urban Drainage*. Boca Raton: CRC Press.
- Caballero Romero, A. (2014). *Metodología integral innovadora para planes y tesis: La metodología del cómo formularlos*. Cengage Learning.
- Caicedo Padilla, A. (2020). *“Modelación de dos Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para la Ciudad de Cali. estudio de caso: ciudadela Calida”*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales, Cali.
- Camargo, E., & Lozada, J. (2018). *Diseño de Sistema Urbano de Drenaje Sostenible en Bogotá, Calle 127 con autopista Norte*. Tesis de grado de la Universidad Católica de Colombia, Bogotá.
- Chow, V. T., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada. Bogotá*. Editorial Mc Graw-Hill Interamericana.
- Cortés Oyanedel, J. M. (2014). *“Modelación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), usando SWMM 5.1”* (Tesis de pregrado). Universidad de Valparaíso, Chile.
- De la Fuente et al. (2011). *Guía Básica para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Ciudad de València*. Cicle Integral de l'Aigua. Ajuntament de València.
- Department of Energy and Environment \_ DOEE. (2020). *Stormwater Management Guibook*. Stormwater Management Guibook, Columbia Center for Watershed Protection.

- Department of Environmental Protection. (2006). *The Pennsylvania Stormwater Best Management Practices Manual*. Commonwealth of Pennsylvania.
- Dirección de Obras Hidráulicas. (2013). *Manual de drenaje Urbano*. Chile: Ministerio de obras públicas.
- EPA. (2007). "Multi-Resolution Land Characteristics Consortium (MRLC)." 2011.
- EPA. (2016). *Storm Water Management Model*. U.S: Reference Manual Volumen III - Water Quality.
- Gómez, V. (2006). *Curso de Hidrología Urbana*. Barcelona: Distribuidora Alfambra de papelería, S.L.
- Gómez, V. (2007). *Hidrología Urbana*. Barcelona.
- Guo, J. C. (2017). *Urban Flood Mitigation and Stormwater Management*. Boca Ratón: CRC Press.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw-Hill.
- James, R. (2012). *Modeling Lids using PCSWMM and SWMM 5*.
- Lima, M., & Quispe, L. (2018). Evacuación de aguas Pluviales Aplicando Técnicas de drenaje Urbano Sostenible en la localidad de Alto Libertad. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
- López, J., & Villavicencio, R. (2021). Sistema Urbano De Drenaje Sostenible para evitar inundaciones de origen pluvial mejorando áreas verdes, cruce Av. Mateo Pumacahua – Av. Separadora Industrial, Distrito Villa El Salvador. (*Tesis de pregrado*). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.
- Minnesota Stormwater Manual . (2021). *Soils With low infiltration Capacity*.
- Miranda, S., & Pachar, J. (2012). *Diseño del drenaje superficial de calles, en el proyecto vial sector 3, de la parroquia pascuales, ubicado entre el KM 18 y KM22 de la vía perimetral (Av. 56 N – O), utilizando el software Storm Water Management Model (SWMM) de la Environmental Protection*. Tesis de grado de la Escuela Superior Politecnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Molina et al. (2011). *Sistemas urbanos de drenaje sostenible SUDS para el plan de ordenamiento Zonal Norte POZN*. Bogotá: Subdirección de Ecourbanismo y Gestión Ambiental Empresarial.
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2018). *Applied statistics and probability for engineers*. (7th ed.) John wiley & Sons.
- NTE CE-040. (2021). Reglamento Nacional de Edificaciones. *Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento*. Gobierno de Perú.
- Palla, A., Gnecco, I., & Lanza, L. G. (2010). Hydrologic restoration in the urban environment using green roofs. *Water*, 2 (2), 140-154.
- Rey, D. (2019). *Propuesta de sistema de drenaje urbano sostenible para cuencas de montaña con alta pendiente*. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

- Rossman, L. (2015). Storm Water Management Model. *User's Manual Version 5.1*. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati.
- Rossman, L. A., & Huber, W. C. (2016). Storm Water Management Model. *Reference Manual Volume III – Water Quality*. U.S Environmental Protection Agency, Washington.
- Sánchez Espejo, F. G. (2019). *Guía de tesis y proyecto de investigación* (1era edición ed.). Arequipa, Perú: Centrum Legalis E.I.R.L.
- U.S. department of transportation. (2009). *Urban drainage design manual (Third edition)*. . Federal Highway administration.Washington.
- Urías, A., & Álvares, F. (2018). *Hidrología urbana con criterios de sustentabilidad*. México: ITESO.
- Valencia Gutiérrez, A. A., Chavarry Vallejos, C. M., & Laos Laura, X. A. (2023). *El ABC de la investigación para ingenieros*. 1ra edición. Tiraje:100 ejemplares.Editorial Navegante.
- Vasquez, H., & Valdivia, A. (2023). "Diseño de un Sistema Urbano de drenaje Sostenible en el Distrito de Huancayo - Región de Junín con adaptación a escenarios climáticos y modificación de la Norma Técnica Peruana CE.040. (*Tesis de pregrado*). Pontificia Universidad Católica del Perú., Lima.
- Villón, M. (2005). *Hidrología estadística.(tercera edición)*.Lima. Editorial Villón.
- Vogel, J., Stringer, A., & Beem, M. (2017). *Understanding Stormwater Runoff and Low Impact Development (LID)*. Obtenido de Obtenido de Oklahoma Cooperative Extension Fact Sheets: <http://osufacts.okstate.edu>
- Woods et al. (2007). *The SUDS manual*. Ciria: London.
- Zorrilla Martínez, G. (2015). "*Estudio de alternativas para la construcción de Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS) en el Campus de las Llamas de la Universidad de Cantabria*". (*tesis de pregrado*). Universidad de Cantabria, Santander.

## ANEXOS

## Anexo 1: Matriz de consistencia

TESIS: "PLANTEAMIENTO DE LOS SUDS EN LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO DE LA CIUDAD DE KIMBIRI"

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<b>Problema general</b>	<b>Objetivo general</b>	<b>Hipótesis general</b>	<b>1.- Variable independiente:</b>			<b>Tipo de investigación</b>
¿Cómo afecta la implementación de la metodología de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) a la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano en la ciudad de Kimbiri, con el fin de mejorar la gestión de aguas pluviales y reducir problemas de escorrentía e inundaciones?	Evaluar la implementación de la metodología de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano de la ciudad de Kimbiri, con el fin de mejorar la gestión de aguas pluviales y reducir problemas de escorrentía e inundaciones.	La implementación de la metodología de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en la eficiencia del sistema de drenaje pluvial urbano de la ciudad de Kimbiri, mejorará la gestión de aguas pluviales reduciendo problemas de escorrentía e inundaciones.	Los SUDS( Sistemas Urbanos de drenaje sostenible)	Tipos de SUDS implementado.	Cunetas verdes (m2) Celdas de biorretención (m2) Zanjas de infiltración (m2)	Cuantitativa
						<b>Nivel de investigación</b>
				Área de Implementación	Superficie en metros cuadrados donde se instalan los SUDS.	Descriptivo
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específica</b>				<b>Diseño de investigación</b>
¿Cómo la aplicación de las metodologías de celdas de biorretención y zanjas de infiltración reducirá el caudal de escorrentía en la ciudad de Kimbiri?	Analizar la aplicación de las metodologías de celdas de biorretención y zanjas de infiltración para reducir el caudal de escorrentía en la ciudad de kimbiri.	La aplicación de las metodologías de celdas de biorretención y zanjas de infiltración reducirá el caudal de escorrentía en la ciudad de Kimbiri.	1	Configuración y funcionalidad hidráulica	Profundidad de las cunetas verdes (m) Periodo de retorno (años).	No experimental, del tipo transversal.
						<b>Población</b>
						N = 30x432 = 12,960 registros de precipitación diaria.
			<b>2.- Variable dependiente:</b>			<b>Muestra</b>
¿Cómo afecta la implementación de la metodología de cunetas verdes en la capacidad del sistema de drenaje para manejar y mitigar inundaciones de la ciudad de Kimbiri?.	Evaluar la implementación de la metodología de cunetas verdes en la capacidad del sistema de drenaje para manejar y mitigar inundaciones de la ciudad de Kimbiri.	La implementación de la metodología de cunetas verdes mejorará la capacidad del sistema de drenaje para manejar y mitigar inundaciones de la ciudad de Kimbiri.		Reducción de Escorrentía	Caudal de escorrentía reducido (l/s)	La muestra (n) para el estudio se calcula según (Arias, 2012), así: n = 12,927 registros de precipitación diaria.
						<b>Técnicas</b>
				Capacidad de Manejo de Inundaciones	Reducción en la frecuencia o gravedad de inundaciones.	Análisis documental o revisión de fuentes secundarias.
¿En que medida varía la eficiencia hidráulica del sistema de drenaje pluvial con la implementación de los SUDS en comparación con el sistema convencional en la ciudad de Kimbiri?	Analizar la eficiencia hidráulica del sistema de drenaje pluvial con la implementación de los SUDS en comparación con el sistema convencional en la ciudad de Kimbiri.	La eficiencia hidráulica del sistema de drenaje pluvial con la implementación de los SUDS mejorará en comparación con el sistema convencional en la ciudad de kimbiri.	Eficiencia del sistema de drenaje pluvial	Capacidad hidráulica	Caudal máximo que puede transportar el sistema de drenaje (m <sup>3</sup> /s)	<b>Instrumento</b>
						Son los métodos estadísticos aplicados a la base de datos PISCOp del SENAMHI.

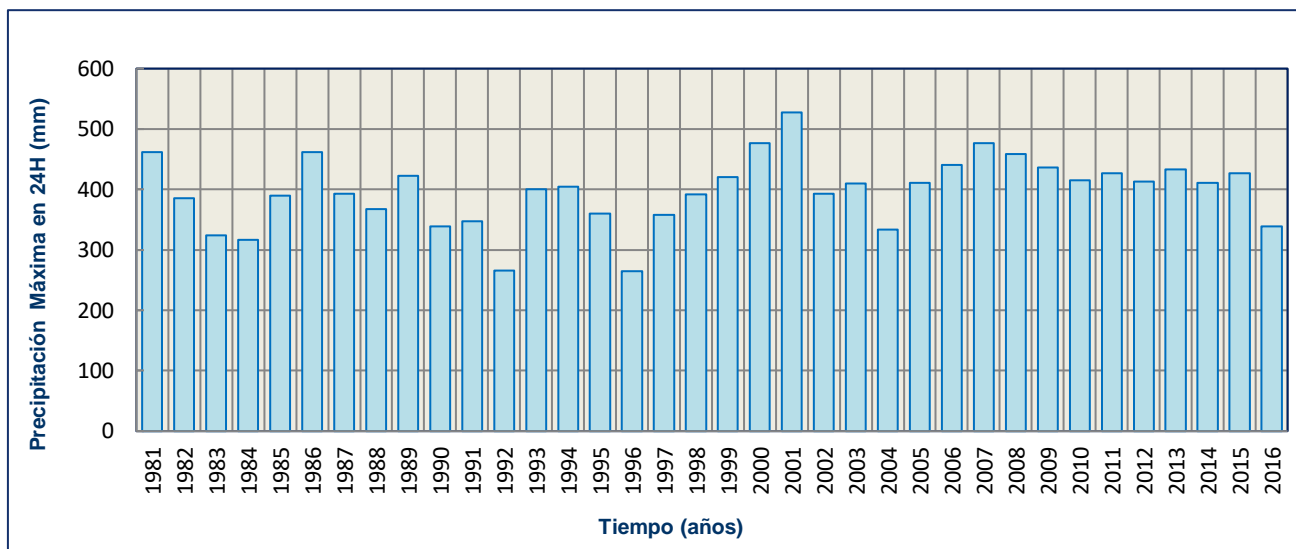
Nota. Matriz de consistencia, de elaboración propia.

Anexo 2: Precipitación máxima diaria anual ordenado por mes y por año obtenido del producto PISCO - SENAMHI

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Pmax24	Log(P24hr)
1981	377.33	205.12	461.53	87.57	23.18	16.43	1.58	67.66	111.40	384.59	148.50	192.78	461.53	2.66
1982	321.19	385.21	243.06	141.80	15.93	19.09	6.89	41.06	103.93	244.63	201.82	117.95	385.21	2.59
1983	324.11	183.96	316.73	124.66	46.94	24.70	6.73	10.68	70.06	76.61	73.34	158.92	324.11	2.51
1984	316.42	280.67	96.07	36.34	20.70	34.49	8.31	15.77	47.59	164.13	81.34	51.62	316.42	2.50
1985	284.60	220.53	389.67	175.65	103.68	38.19	23.25	6.49	167.58	136.32	135.39	207.93	389.67	2.59
1986	393.71	239.77	462.02	145.49	38.10	1.06	12.20	42.43	151.62	168.82	93.86	160.18	462.02	2.66
1987	392.70	201.26	218.38	115.10	55.66	19.04	22.54	14.92	33.99	219.31	171.32	132.24	392.70	2.59
1988	367.07	197.03	308.71	133.01	37.89	1.68	1.68	5.53	45.53	322.84	44.65	75.30	367.07	2.56
1989	376.63	230.21	422.62	134.31	44.58	27.19	9.38	32.73	87.60	279.02	119.33	117.93	422.62	2.63
1990	231.39	161.85	225.31	94.40	45.48	36.13	8.47	43.06	96.55	338.88	164.75	172.56	338.88	2.53
1991	264.01	191.28	347.01	85.66	67.18	19.64	7.15	11.19	87.07	284.45	112.25	101.33	347.01	2.54
1992	197.81	173.03	213.45	100.96	9.04	25.13	15.68	53.82	70.10	265.52	102.55	122.91	265.52	2.42
1993	306.60	226.11	400.46	248.96	64.15	22.02	29.90	78.74	116.90	384.23	234.89	295.47	400.46	2.60
1994	404.72	264.72	398.44	162.31	31.35	18.39	8.54	6.82	54.92	272.62	112.04	203.04	404.72	2.61
1995	305.39	181.07	359.76	109.30	26.56	8.87	15.20	9.27	72.10	158.05	144.97	146.44	359.76	2.56
1996	223.96	255.63	264.52	143.81	37.50	14.41	5.53	42.67	82.48	253.06	129.62	182.96	264.52	2.42
1997	283.61	358.05	330.68	130.53	28.62	15.17	7.07	73.38	136.56	215.73	210.70	236.23	358.05	2.55
1998	385.40	248.85	349.62	135.45	8.00	29.85	0.59	12.12	36.82	391.85	126.64	182.69	391.85	2.59
1999	297.99	420.72	356.19	166.84	36.64	12.98	21.34	3.14	205.61	176.85	146.08	205.54	420.72	2.62
2000	338.94	266.53	476.99	151.97	70.64	53.09	19.02	38.23	97.25	274.45	85.42	169.96	476.99	2.68
2001	527.19	340.78	424.34	101.54	88.34	21.60	42.02	44.90	111.95	355.47	196.40	145.34	527.19	2.72
2002	230.61	360.85	393.34	162.45	56.96	26.43	63.09	45.76	183.35	326.90	161.99	179.48	393.34	2.59
2003	263.28	355.27	409.83	98.51	46.11	16.81	8.64	59.64	130.94	141.41	93.64	228.98	409.83	2.61
2004	307.51	256.13	327.20	118.05	58.51	51.67	49.45	40.98	142.41	333.26	135.30	221.02	333.26	2.52
2005	266.73	177.30	365.44	104.50	31.47	3.97	17.85	12.97	77.71	410.55	109.82	202.97	410.55	2.61
2006	385.30	306.36	440.92	175.92	8.19	44.41	5.70	34.87	89.82	354.83	223.11	231.23	440.92	2.64
2007	367.16	175.88	476.71	153.08	39.56	7.38	23.20	19.89	71.43	334.72	131.02	218.88	476.71	2.68
2008	459.00	333.84	244.68	84.91	47.50	24.11	8.54	21.89	73.20	272.96	137.51	162.08	459.00	2.66
2009	364.64	319.44	436.74	152.29	34.70	19.18	28.08	25.27	87.72	290.50	274.23	189.20	436.74	2.64
2010	356.59	246.26	415.71	121.77	13.35	14.59	6.41	24.14	103.95	310.55	120.42	259.10	415.71	2.62
2011	427.27	388.06	336.19	197.91	66.74	21.06	30.71	20.51	127.72	325.43	159.77	219.72	427.27	2.63
2012	357.20	412.71	302.54	202.22	35.30	54.26	12.37	16.38	146.07	221.71	126.39	301.35	412.71	2.62
2013	264.61	285.53	433.35	65.29	52.06	40.12	28.84	60.88	57.39	414.87	156.56	253.70	433.35	2.64
2014	411.13	203.01	370.95	129.74	45.20	8.39	18.01	23.76	203.43	233.21	93.61	188.28	411.13	2.61
2015	402.37	295.23	426.85	169.06	40.92	27.15	14.93	53.03	81.01	201.05	166.44	187.24	426.85	2.63
2016	184.17	292.45	264.17	110.82	16.27	12.43	26.95	13.90	103.07	338.70	90.86	164.29	338.70	2.53

Nota. Se muestra la precipitación máxima diaria anual de elaboración propia, obtenido del producto PISCO – SENAMHI.

Anexo 2.a: Histograma de precipitación máxima diaria anual de la estación virtual PISCOk2



Nota. Se visualiza la variación de la precipitación en función del tiempo, de elaboración propia, obtenido del producto PISCO – SENAMHI.

Anexo 3: Parámetros estadísticos de la prueba de datos dudosos.

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	P24hr	Log(P24hr)
Número de datos (N)	36.00	36.000
Sumatoria	14303.09	93.399
Valor Máximo	527.19	2.722
Valor Mínimo	264.52	2.422
Media:	397.31	2.594
Varianza:	3286.86	0.004
Desviación Estándar:	57.33	0.066
Coefficiente Variación:	0.14	0.025
Coefficiente de Sesgo:	-0.36	-0.4911
Se Considera:	Aplicar pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos	

n= 36.00

$K_n = 2.639$

$K_n$ : Valor recomendado, varía según el valor de n (significancia:10%)

Nota. Se presenta los cálculos estadísticos de la prueba de datos dudosos, con elaboración propia.

Umbral de datos dudosos altos ( $X_H$ : unidad Logarítmicas)

$$x_H = \bar{x} + k_n \cdot s$$

$$X_H = 2.77$$

Precipitación máxima aceptable

$$P_H = 10^{x_H}$$

$$P_H = 587.24 \text{ mm}$$

**NO EXISTEN DATOS DUDOSOS ALTO DE LA MUESTRA**

Umbral de datos dudosos bajos ( $X_L$ : unidad Logarítmicas)

$$x_L = \bar{x} - k_n \cdot s$$

$$X_L = 2.42$$

Precipitación mínima aceptaba

$$P_H = 10^{x_H}$$

$$P_L = 263.05 \text{ mm}$$

**NO EXISTEN DATOS DUDOSOS MINIMO DE LA MUESTRA**

## Anexo 4: Análisis de frecuencias para diferentes distribuciones de probabilidades

N	T	P(X≤xT)	ESTACIÓN VIRTUAL PISCOK2											
			VALOR OBSERVADO		NORMAL		GUMBEL		LOGNORMAL		PEARSON III		LOGPEARSON III	
			P24	log(P24)	K <sub>T</sub>	ESPERADO	K <sub>T</sub>	ESPERADO	K <sub>T</sub>	ESPERADO	K <sub>T</sub>	ESPERADO	K <sub>T</sub>	ESPERADO
1	36.00	2.78%	527.2	2.7220	1.9145	507.1	2.3331	531.1	1.9145	525.9	1.7509	497.7	1.5250	495.7
2	18.00	5.56%	477.0	2.6785	1.5932	488.6	1.7814	499.4	1.5932	500.9	1.4953	483.0	1.3499	482.6
3	12.00	8.33%	476.7	2.6783	1.3830	476.6	1.4538	480.7	1.3830	485.1	1.3221	473.1	1.2236	473.5
4	9.00	11.11%	462.0	2.6647	1.2206	467.3	1.2177	467.1	1.2206	473.2	1.1850	465.2	1.1195	466.0
5	7.20	13.89%	461.5	2.6642	1.0853	459.5	1.0316	456.4	1.0853	463.6	1.0686	458.6	1.0282	459.6
6	6.00	16.67%	459.0	2.6618	0.9674	452.8	0.8770	447.6	0.9674	455.4	0.9654	452.7	0.9452	453.8
7	5.14	19.44%	440.9	2.6444	0.8616	446.7	0.7440	440.0	0.8616	448.1	0.8716	447.3	0.8680	448.5
8	4.50	22.22%	436.7	2.6402	0.7647	441.1	0.6268	433.2	0.7647	441.5	0.7845	442.3	0.7949	443.6
9	4.00	25.00%	433.4	2.6368	0.6745	436.0	0.5214	427.2	0.6745	435.5	0.7024	437.6	0.7248	438.9
10	3.60	27.78%	427.3	2.6307	0.5895	431.1	0.4253	421.7	0.5895	429.9	0.6243	433.1	0.6569	434.3
11	3.27	30.56%	426.9	2.6303	0.5085	426.5	0.3365	416.6	0.5085	424.6	0.5491	428.8	0.5906	430.0
12	3.00	33.33%	422.6	2.6259	0.4307	422.0	0.2538	411.9	0.4307	419.7	0.4762	424.6	0.5254	425.7
13	2.77	36.11%	420.7	2.6240	0.3555	417.7	0.1760	407.4	0.3555	414.9	0.4049	420.5	0.4608	421.6
14	2.57	38.89%	415.7	2.6188	0.2822	413.5	0.1022	403.2	0.2822	410.3	0.3349	416.5	0.3965	417.5
15	2.40	41.67%	412.7	2.6156	0.2104	409.4	0.0318	399.1	0.2104	405.8	0.2657	412.5	0.3322	413.4
16	2.25	44.44%	411.1	2.6140	0.1397	405.3	-0.0357	395.3	0.1397	401.5	0.1970	408.6	0.2675	409.4
17	2.12	47.22%	410.5	2.6134	0.0697	401.3	-0.1010	391.5	0.0697	397.2	0.1283	404.7	0.2021	405.3
18	2.00	50.00%	409.8	2.6126	0.0000	397.3	-0.1643	387.9	0.0000	393.0	0.0594	400.7	0.1357	401.2
19	1.89	52.78%	404.7	2.6072	-0.0697	393.3	-0.2261	384.3	-0.0697	388.9	-0.0101	396.7	0.0680	397.1
20	1.80	55.56%	400.5	2.6026	-0.1397	389.3	-0.2866	380.9	-0.1397	384.8	-0.0805	392.7	-0.0014	392.9
21	1.71	58.33%	393.3	2.5948	-0.2104	385.2	-0.3463	377.5	-0.2104	380.6	-0.1522	388.6	-0.0728	388.7
22	1.64	61.11%	392.7	2.5941	-0.2822	381.1	-0.4055	374.1	-0.2822	376.5	-0.2256	384.4	-0.1468	384.4
23	1.57	63.89%	391.8	2.5931	-0.3555	376.9	-0.4644	370.7	-0.3555	372.3	-0.3011	380.0	-0.2238	379.9

24	1.50	66.67%	389.7	2.5907	-0.4307	372.6	-0.5234	367.3	-0.4307	368.1	-0.3794	375.6	-0.3044	375.2
25	1.44	69.44%	385.2	2.5857	-0.5085	368.2	-0.5828	363.9	-0.5085	363.8	-0.4610	370.9	-0.3895	370.4
26	1.38	72.22%	367.1	2.5647	-0.5895	363.5	-0.6431	360.4	-0.5895	359.3	-0.5467	366.0	-0.4799	365.4
27	1.33	75.00%	359.8	2.5560	-0.6745	358.6	-0.7047	356.9	-0.6745	354.7	-0.6377	360.7	-0.5769	360.0
28	1.29	77.78%	358.0	2.5539	-0.7647	353.5	-0.7683	353.3	-0.7647	349.9	-0.7351	355.2	-0.6822	354.3
29	1.24	80.56%	347.0	2.5403	-0.8616	347.9	-0.8346	349.5	-0.8616	344.7	-0.8410	349.1	-0.7981	348.1
30	1.20	83.33%	338.9	2.5300	-0.9674	341.8	-0.9048	345.4	-0.9674	339.2	-0.9578	342.4	-0.9278	341.3
31	1.16	86.11%	338.7	2.5298	-1.0853	335.1	-0.9803	341.1	-1.0853	333.2	-1.0897	334.8	-1.0765	333.6
32	1.13	88.89%	333.3	2.5228	-1.2206	327.3	-1.0638	336.3	-1.2206	326.4	-1.2432	326.0	-1.2525	324.8
33	1.09	91.67%	324.1	2.5107	-1.3830	318.0	-1.1597	330.8	-1.3830	318.4	-1.4305	315.3	-1.4713	314.2
34	1.06	94.44%	316.4	2.5003	-1.5932	306.0	-1.2776	324.1	-1.5932	308.4	-1.6781	301.1	-1.7674	300.4
35	1.03	97.22%	265.5	2.4241	-1.9145	287.5	-1.4452	314.5	-1.9145	293.7	-2.0676	278.8	-2.2484	279.2
36	1.03	97.30%	264.5	2.4225	-1.9264	286.9	-1.4511	314.1	-1.9264	293.2	-2.0823	277.9	-2.2669	278.4

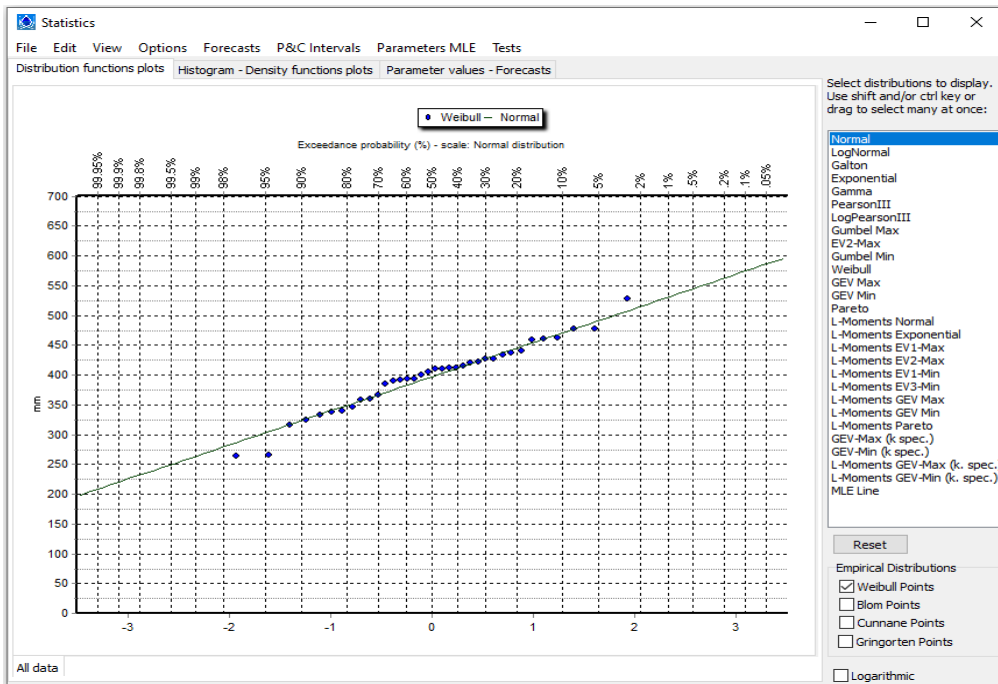
Nota. Se presenta el análisis de frecuencias, que constituye una herramienta fundamental en hidrología para evaluar el comportamiento estadístico de eventos extremos de precipitación y caudal. Al aplicar diferentes distribuciones de probabilidad, es posible comparar el grado de ajuste de los datos históricos y seleccionar la función que mejor represente la variabilidad hidrológica. Este procedimiento garantiza mayor precisión en la estimación de caudales de diseño, indispensables para la planificación de infraestructuras hidráulicas y de drenaje, de elaboración propia, obtenido del producto PISCO – SENAMHI.

Anexo 5: Prueba de bondad de ajuste de kolmogorov - smirnov aceptada para la distribución Normal.

Kolmogorov-Smirnov test for:All data	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	86.17%	0.09566
Normal (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	86.31%	0.09549
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	59.67%	0.12336
Galton	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	4.01%	0.22834
Exponential	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	3.25%	0.23451
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	68.69%	0.11443
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	64.12%	0.11894
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	16.52%	0.18142
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	26.75%	0.16238
EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	14.33%	0.18666
EV2-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.61%	0.06351
EV1-Min (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	99.92%	0.05671
EV3-Min (Weibull)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97.53%	0.07533
GEV-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	98.84%	0.0698
GEV-Min	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	63.65%	0.11941
Pareto	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.00%	0.06882
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.70%	0.06224
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	25.34%	0.16464
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	11.39%	0.19483
EV2-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	98.17%	0.073
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	99.89%	0.05804
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	40.74%	0.14359
Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	10.50%	0.19766
GEV-Max (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.52%	0.06469
GEV-Min (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	8.32%	0.20548
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.51%	0.06475

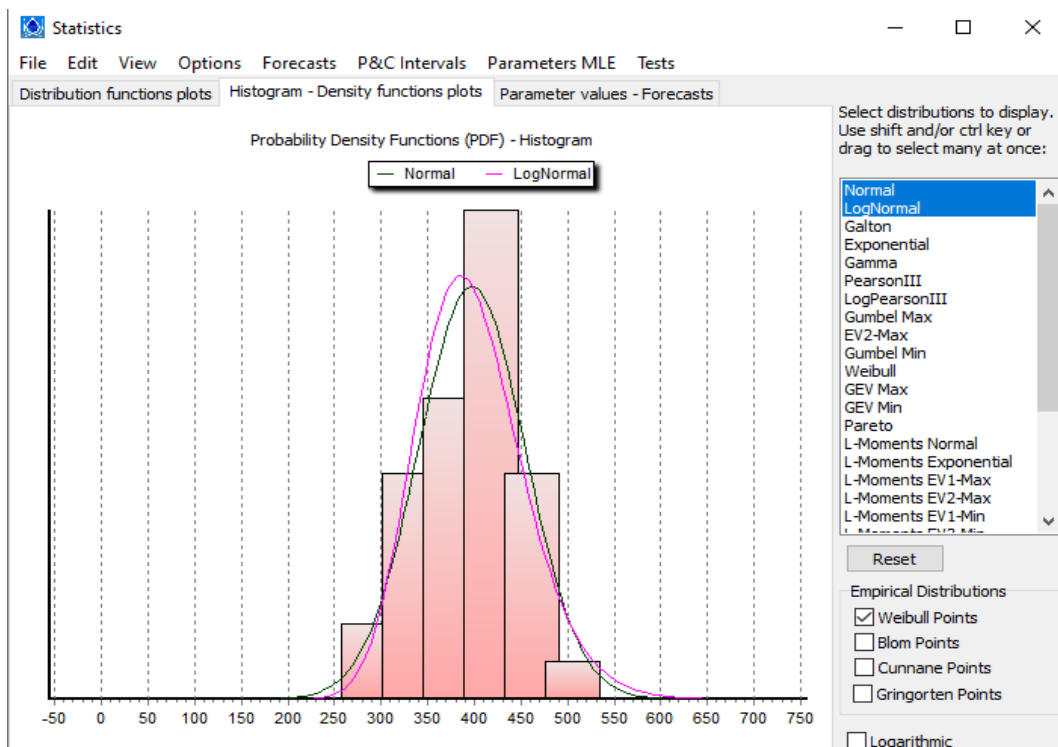
Nota. La validación estadística de los datos hidrológicos se llevó a cabo mediante la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov, la cual permitió verificar la correspondencia entre la muestra observada y la distribución teórica. Los resultados confirmaron la aceptación de la distribución Normal como modelo representativo, lo que respalda su utilización en la estimación de parámetros hidrológicos de diseño y en la caracterización probabilística de eventos extremos, de elaboración propia, adaptado del programa Hydrognomon 4.1.0 (.26).

### Anexo 5.a: Grafica de ajuste estadístico para la distribución Normal.



Nota. La representación gráfica del ajuste estadístico permitió visualizar la correspondencia entre los datos empíricos y la distribución Normal. Este análisis confirma la validez del modelo probabilístico seleccionado, evidenciando su capacidad para describir de manera adecuada el comportamiento de la variable hidrológica bajo estudio, de elaboración propia, adaptado del programa Hydrognomon 4.1.0 (.26).

### Anexo 5.b: Histograma para la distribución de datos.



Nota. Se visualiza el histograma de los datos observados junto con la curva de densidad de probabilidad teórica ajustada, de elaboración propia, adaptado del programa Hydrognomon 4.1.0 (.26).

Anexo 6: Precipitación máxima anual con diferentes distribuciones y periodos de retorno.

T (años)	P( $X \leq x_T$ )	DISTRIB. NORMAL		DISTRIB. GUMBELL		DISTRIB. LOG NORMAL			DISTRIB. PEARSON III		DISTRIB. LOG PEARSON III			P <sub>MAX</sub> mm
		K <sub>T</sub>	X <sub>T</sub>	K <sub>T</sub>	X <sub>T</sub>	K <sub>T</sub>	X <sub>T</sub>	10 <sup>X<sub>T</sub></sup>	K <sub>T</sub>	X <sub>T</sub>	K <sub>T</sub>	X <sub>t</sub>	10 <sup>X<sub>T</sub></sup>	
2	0.500	0.00	397.31	0.1643	387.9	0.00	2.5944	393.0	0.0594	400.7	0.14	2.6034	401.2	397.3
5	0.800	0.84	445.56	0.7195	438.6	0.84	2.6500	446.7	0.8537	446.3	0.85	2.6508	447.5	445.6
10	0.900	1.28	470.78	1.3046	472.1	1.28	2.6791	477.7	1.2368	468.2	1.16	2.6710	468.8	470.8
20	0.950	1.64	491.61	1.8658	504.3	1.64	2.7031	504.8	1.5371	485.4	1.38	2.6856	484.8	491.6
25	0.960	1.75	497.68	2.0438	514.5	1.75	2.7101	513.0	1.6219	490.3	1.44	2.6895	489.2	497.7
35	0.971	1.90	506.36	2.3108	529.8	1.90	2.7201	525.0	1.7413	497.1	1.52	2.6948	495.2	506.4
50	0.980	2.05	515.05	2.5923	545.9	2.05	2.7301	537.2	1.8583	503.8	1.59	2.6998	500.9	515.1
70	0.986	2.19	522.83	2.8569	561.1	2.19	2.7391	548.4	1.9609	509.7	1.66	2.7040	505.9	522.8
100	0.990	2.33	530.68	3.1367	577.1	2.33	2.7482	560.0	2.0627	515.6	1.72	2.7081	510.6	530.7
200	0.995	2.58	544.98	3.6791	608.2	2.58	2.7646	581.6	2.2430	525.9	1.82	2.7149	518.6	545.0
500	0.998	2.88	562.32	4.3947	649.3	2.88	2.7846	609.0	2.4533	538.0	1.93	2.7221	527.4	562.3

Nota. El análisis estadístico de las precipitaciones máximas anuales permitió contrastar diferentes distribuciones de probabilidad con el fin de estimar los valores asociados a diversos periodos de retorno. Esta evaluación facilita identificar el modelo probabilístico que mejor representa el comportamiento de los datos, aportando una base sólida para el cálculo de caudales de diseño y la gestión de riesgos hidrológicos, de elaboración propia.

Anexo 7: Resultados de regresión lineal múltiple.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.9995
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.9990
R <sup>2</sup> ajustado	0.9990
Error típico	0.0172
Observaciones	280

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	83.3689	41.6845	141069.1815	0
Residuos	277	0.0819	0.0003		
Total	279	83.4508			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	3.5951	0.0040	895.6064	0	3.5872	3.6030	3.5872	3.6030
Variable X 1	-0.75	0.0014	-529.2636	0	-0.7528	-0.7472	0.7528	-0.7472
Variable X 2	0.0602	0.0013	44.9263	3.26E-129	0.0575	0.0628	0.0575	0.0628

Nota. Representación de la regresión lineal múltiple, de elaboración propia.

Anexo 8: Obtención de la ecuación de intensidad.

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

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

$$Y = X_1 + mX_2 - nX_3$$

De la tabla anterior obtenemos los parámetros K, m y n

Donde: m = 0.0602

$$n = -(-0.75) = 0.75$$

$$K = 10^{3.5951} = 3936.561$$

$$I_{\max} = \frac{KxT^m}{D^n} = \frac{3936.561xT^{0.0602}}{D^{0.750}}$$

Anexo 9: Cálculo de intensidad máxima para T = 2 años.

Sabemos que la ecuación de intensidad máxima es:

$$I = \frac{3936.561xT^{0.0602}}{D^{0.750}}$$

$$\begin{aligned} \text{DURACION} &= 55 \text{ min} = 0.916667 \text{ h} \\ T &= 2 \text{ años} \end{aligned}$$

Cálculo de la intensidad media:

$$I = 203.22 \text{ mm/h}$$

$$P = I \times D$$

$$P = 186.29 \text{ mm}$$

## Anexo 10: Bloques alternos para T = 2 años.

Dt	Intensidad acumulada (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación incremental (mm)	Hietograma de diseño			
				Precipitación incremental Centrada (mm)	Precipitación Centrada acumulada (mm)	Intensidad incremental Centrada (mm/h)	Intensidad acumulada Centrada (mm/h)
5	1227.47	102.29	102.29	4.73	4.73	56.74	56.74
10	729.86	121.64	19.35	5.65	10.38	67.78	62.26
15	538.48	134.62	12.98	7.13	17.51	85.60	70.04
20	433.98	144.66	10.04	10.04	27.55	120.46	82.65
25	367.10	152.96	8.30	19.35	46.90	232.25	112.57
30	320.18	160.09	7.13	102.29	149.19	1227.47	298.38
35	285.23	166.38	6.29	12.98	162.17	155.73	278.00
40	258.04	172.03	5.65	8.30	170.47	99.59	255.70
45	236.23	177.17	5.14	6.29	176.76	75.48	235.68
50	218.28	181.90	4.73	5.14	181.90	61.69	218.28
55	203.22	186.29	4.39	4.39	186.29	52.64	203.22

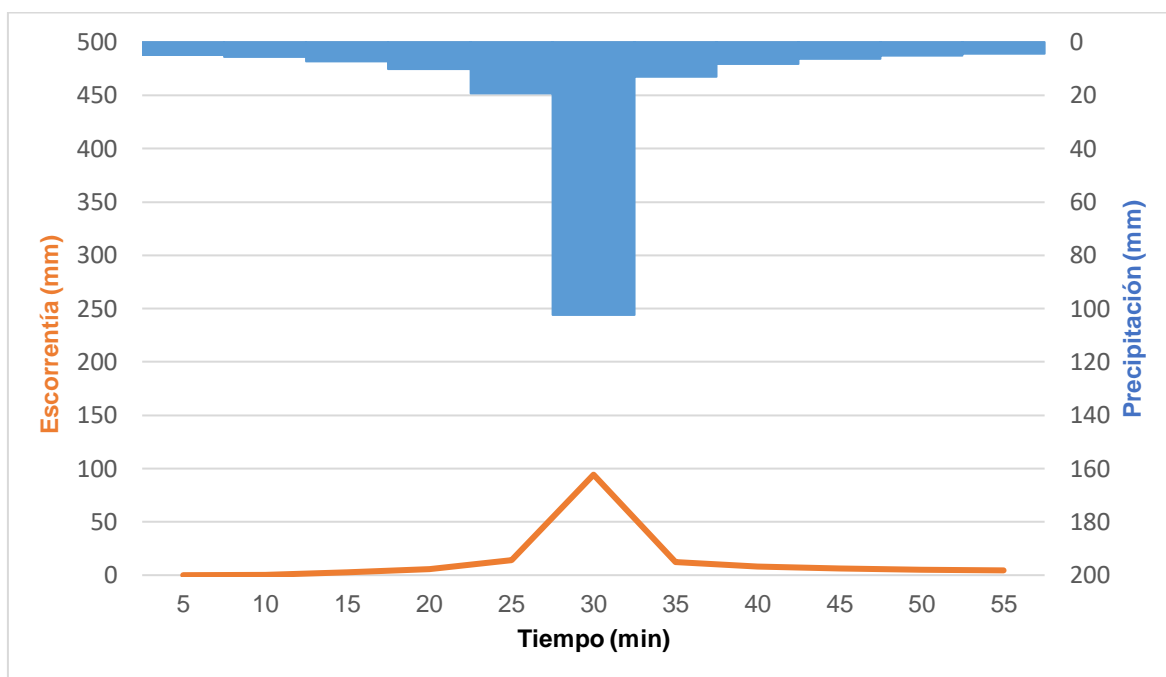
Nota. Presentación de bloques alternos, correspondiente a un periodo de retorno de 2 años. Este método organiza las intensidades de lluvia en una tormenta para su aplicación en la modelación hidrológica del SWMM, de elaboración propia.

## Anexo 11: Estimación de infiltración con el método del CN para T = 2años.

Dt	Intensidad acumulada (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación incremental (mm)	Precipitación incremental Centrada (mm)	Precipitación Centrada acumulada (mm)	Abstracción inicial Ia (mm)	Infiltración Fa (mm)	Precipitación neta (mm)	Precipitación neta acumulada (mm)
5	1227.47	102.29	102.29	4.73	4.73	4.73	0.00	0.00	0.00
10	729.86	121.64	19.35	5.65	10.38	6.28	3.62	0.47	0.47
15	538.48	134.62	12.98	7.13	17.51	6.28	8.27	2.96	2.49
20	433.98	144.66	10.04	10.04	27.55	6.28	12.68	8.59	5.63
25	367.10	152.96	8.30	19.35	46.90	6.28	17.71	22.92	14.32
30	320.18	160.09	7.13	102.29	149.19	6.28	25.74	117.17	94.26
35	285.23	166.38	6.29	12.98	162.17	6.28	26.13	129.76	12.59
40	258.04	172.03	5.65	8.30	170.47	6.28	26.35	137.84	8.08
45	236.23	177.17	5.14	6.29	176.76	6.28	26.51	143.97	6.13
50	218.28	181.90	4.73	5.14	181.90	6.28	26.63	148.99	5.02
55	203.22	186.29	4.39	4.39	186.29	6.28	26.73	153.28	4.29

Nota. Estimación de la infiltración utilizando el método del Número de Curva para un periodo de retorno de 2 años. Este enfoque hidrológico permite calcular el volumen de escorrentía directa en función de las condiciones del suelo y la precipitación, de elaboración propia.

## Anexo 12: Precipitación y escorrentía para T = 2 años con una duración de 55 min.



Nota. Gráfica comparativa de la precipitación y la escorrentía correspondiente a un periodo de retorno de 2 años y una duración de 55 minutos. El análisis permite observar la respuesta hidrológica frente al evento de lluvia, de elaboración propia.

## Anexo 13: Permeabilidad de los suelos finos

Hydrologic soil group	Infiltration rate (inches/hour)	Infiltration rate (centimeters/hour)	Soil textures	Corresponding Unified Soil Classification <sup>Superscript text</sup>
A	Although a value of 1.63 inches per hour (4.14 centimeters per hour) may be used, it is <b>Highly recommended</b> that you conduct field infiltration tests or amend soils. <sup>b</sup> See <a href="#">Guidance for amending soils with rapid or high infiltration rates</a> and <a href="#">Determining soil infiltration rates</a> .		gravel sandy gravel	GW - Well-graded gravels, fine to coarse gravel GP - Poorly graded gravel
	1.63 <sup>a</sup>	4.14	silty gravels gravelly sands sand	GM - Silty gravel SW - Well-graded sand, fine to coarse sand
	0.8	2.03	sand loamy sand sandy loam	SP - Poorly graded sand
B	0.45	1.14	silty sands	SM - Silty sand
	0.3	0.76	loam, silt loam	MH - Elastic silt
C	0.2	0.51	Sandy clay loam, silts	ML - Silt
D	0.06	0.15	clay loam silty clay loam sandy clay silty clay clay	GC - Clayey gravel SC - Clayey sand CL - Lean clay OL - Organic silt CH - Fat clay  OH - Organic clay, organic silt

Nota. Se presenta la permeabilidad en suelos finos, que resulta fundamental para determinar su capacidad de infiltración y su influencia en los procesos de escorrentía superficial. Este parámetro constituye un factor decisivo en el diseño de sistemas de drenaje sostenible, dado que condiciona la eficiencia de las prácticas de control y almacenamiento de aguas pluviales. Fuente: Minnesota Stormwater Manual (2021).

## Anexo 14: Clasificación de coberturas y propiedades hidrológicas asociadas.

CLASS	NAME	A	B	C	D	% COVER	INT	N	IMPERV
11	Open Water	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Perennial Ice/Snow	98.00	98.00	98.00	98.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	Developed, Open Space	68.00	79.00	86.00	89.00	90.00	2.50	0.41	0.10
22	Developed, Low Intensity	77.00	85.00	90.00	92.00	15.00	0.10	0.15	0.35
23	Developed, Medium Intensity	81.00	88.00	91.00	93.00	10.00	0.08	0.12	0.65
24	Developed, High Intensity	89.00	92.00	94.00	95.00	2.00	0.05	0.01	0.90
31	Barren Land	82.00	87.67	91.00	92.67	8.00	0.00	0.01	0.24
32	Unconsolidated Shore	82.00	88.00	91.00	93.00	0.00	0.00	0.01	0.00
41	Deciduous Forest	55.00	55.00	75.00	80.00	50.00	1.15	0.40	0.00
42	Evergreen Forest	55.00	55.00	70.00	77.00	50.00	1.15	0.80	0.00
43	Mixed Forest	55.00	55.00	75.00	80.00	50.00	1.15	0.60	0.00
51	Dwarf Shrub	63.00	77.00	85.00	88.00	25.00	3.00	0.06	0.00
52	Scrub/Shrub	63.00	77.00	85.00	88.00	25.00	3.00	0.06	0.00
71	Grasslands/Herbaceous	49.00	69.00	79.00	84.00	25.00	2.00	0.13	0.00
72	Sedge Herbaceous	49.00	69.00	79.00	84.00	25.00	2.00	0.13	0.00
73	Lichens	63.00	77.00	85.00	88.00	25.00	3.00	0.06	0.00
74	Moss	63.00	77.00	85.00	88.00	25.00	3.00	0.06	0.00
81	Pasture/Hay	68.00	79.00	86.00	89.00	70.00	2.80	0.40	0.00
82	Cultivated Crops	71.00	80.67	87.33	90.67	56.67	1.75	0.13	0.00
90	Woody Wetlands	85.00	85.00	90.00	92.00	70.00	1.15	0.60	0.00
91	Palustrine Forested Wetland	85.00	85.00	90.00	92.00	70.00	1.15	0.60	0.00
92	Palustrine Scrub/Shrub	85.00	85.00	90.00	92.00	70.00	1.15	0.60	0.00
93	Estuarine Forested Wetland	85.00	85.00	90.00	92.00	70.00	1.15	0.60	0.00
94	Estuarine Scrub/Shrub	85.00	85.00	90.00	92.00	70.00	1.15	0.60	0.00
95	Emergent Herbaceous Wetlands	77.00	77.00	84.00	90.00	70.00	1.15	0.60	0.00
96	Palustrine Emergent Wetland (Persistent)	77.00	77.00	84.00	90.00	70.00	1.15	0.60	0.00
97	Estuarine Emergent Wetland	77.00	77.00	84.00	90.00	70.00	1.15	0.60	0.00
98	Palustrine Aquatic Bed	77.00	77.00	84.00	90.00	70.00	1.15	0.60	0.00
99	Estuarine Aquatic Bed	77.00	77.00	84.00	90.00	70.00	1.15	0.60	0.00

A,B,C,D: Número de Curva para grupo de suelo hidrológico

\*COVER: Porcentaje de cobertura.

\*\* INT: Profundidad de Interceptación (mm)

\*\*\* N: Rugosidad de Manning

Nota. Clasificación de los tipos de cobertura y sus propiedades hidrológicas asociadas, conforme a la "National Association of Letter Carriers". Estos parámetros permiten estimar la infiltración y el comportamiento de la escorrentía, obtenido de EPA (2007).

### Anexo 15: Fotografía de la Av. La Convención



Nota. La imagen presentada en el anexo muestra un registro fotográfico de la Av. La Convención – Distrito de Kimbiri y Región Cusco, donde se observa la infraestructura vial, el drenaje pluvial existente y el entorno urbano inmediato. Este insumo gráfico permite contextualizar las condiciones actuales del área de estudio, aportando un soporte visual complementario al análisis técnico desarrollado, de elaboración propia.

### Anexo 16: Fotografía de la Av. Aeropuerto



Nota. La imagen presentada en el anexo muestra un registro fotográfico de la Av. Aeropuerto, donde se observa el drenaje pluvial subterráneo existente y el entorno urbano inmediato. Este insumo gráfico permite contextualizar las condiciones actuales del área de estudio, de elaboración propia.

## Anexo 17: Rangos típicos para parámetros de celdas de bio-retención.

Parameter	Range
Maximum Freeboard, inches ( $D_1$ )	6 – 12
Surface Void Fraction ( $\phi_1$ )	0.8 – 1.0
Soil Layer Thickness, inches ( $D_2$ )	24 – 48
Soil Properties:	
Porosity ( $\phi_2$ )	0.45 – 0.6
Field Capacity ( $\theta_{FC}$ )	0.15 – 0.25
Wilting Point ( $\theta_{WP}$ )	0.05 – 0.15
Saturated Hydraulic Conductivity, in/hr ( $K_{2S}$ )	2.0 – 5.5
Wetting Front Suction Head, inches ( $\psi_2$ )	2 – 4
Percolation Decay Constant ( $HCO$ )	30 – 55
Storage Layer Thickness, inches ( $D_3$ )	6 – 36
Storage Void Fraction ( $\phi_3$ )	0.2 – 0.4
Capture Ratio ( $R_{LID}$ )	5 – 15

Nota. Se muestra los rangos típicos recomendados del SUDS, celda de biorretención, obtenidos de EPA (2016).

## Anexo 18: Características del suelo típico de celdas de bio-retención.

Soil Property	Value
Porosity ( $\phi_2$ )	0.52
Field Capacity ( $\theta_{FC}$ )	0.15
Wilting Point ( $\theta_{WP}$ )	0.08
Saturated Hydraulic Conductivity, in/hr ( $K_{2S}$ )	4.7
Percolation Decay Constant ( $HCO$ )	39.3
Wetting Front Suction Head, inches ( $\psi_2 = 3.23(K_{2S})^{-0.328}$ )	1.9

Nota. Se muestra las características del suelo típico recomendados de los SUDS, celda de biorretención, obtenidos de EPA (2016).

## Anexo 19: Rangos típicos de zanjas de infiltración.

Parameter	Range
Maximum Freeboard, inches ( $D_1$ )	0 – 12
Surface Void Fraction ( $\phi_1$ )	1.0
Storage Layer Thickness, inches ( $D_3$ )	36 – 144
Storage Void Fraction ( $\phi_3$ )	0.2 – 0.4
Contributing Area, acres	1 – 5
Capture Ratio ( $R_{LID}$ )	5 – 20

Nota. Se muestra los rangos típico recomendados de los SUDS, zanjas de infiltración, obtenidos de EPA (2016).

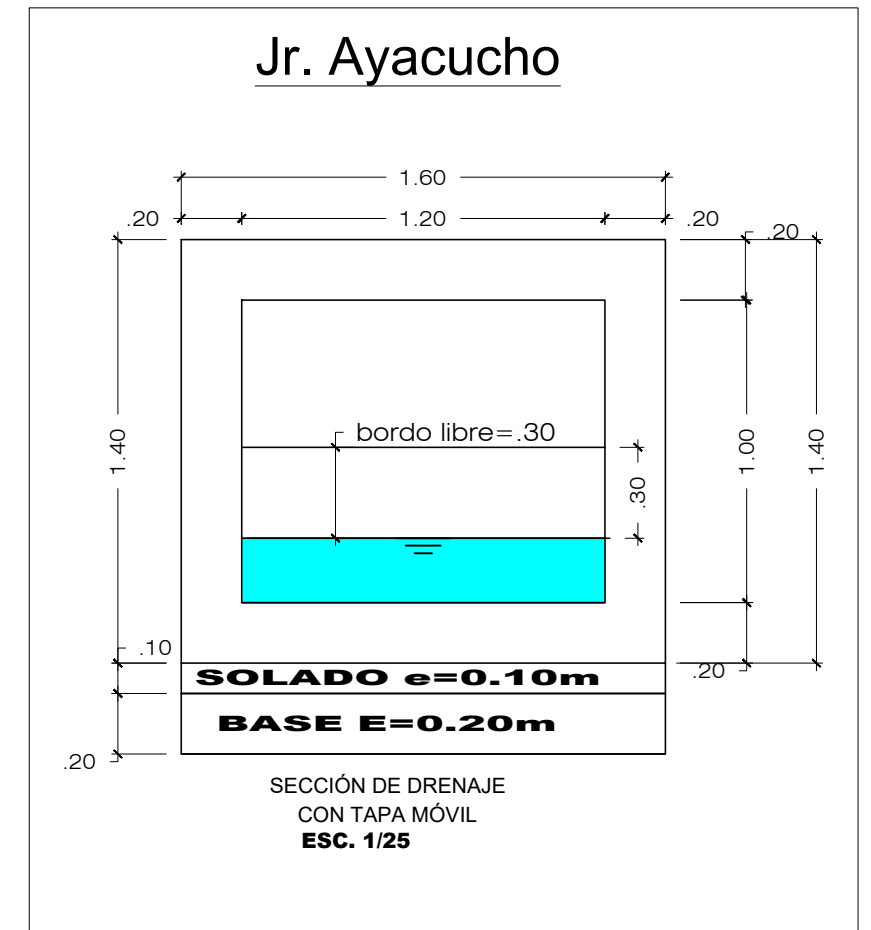
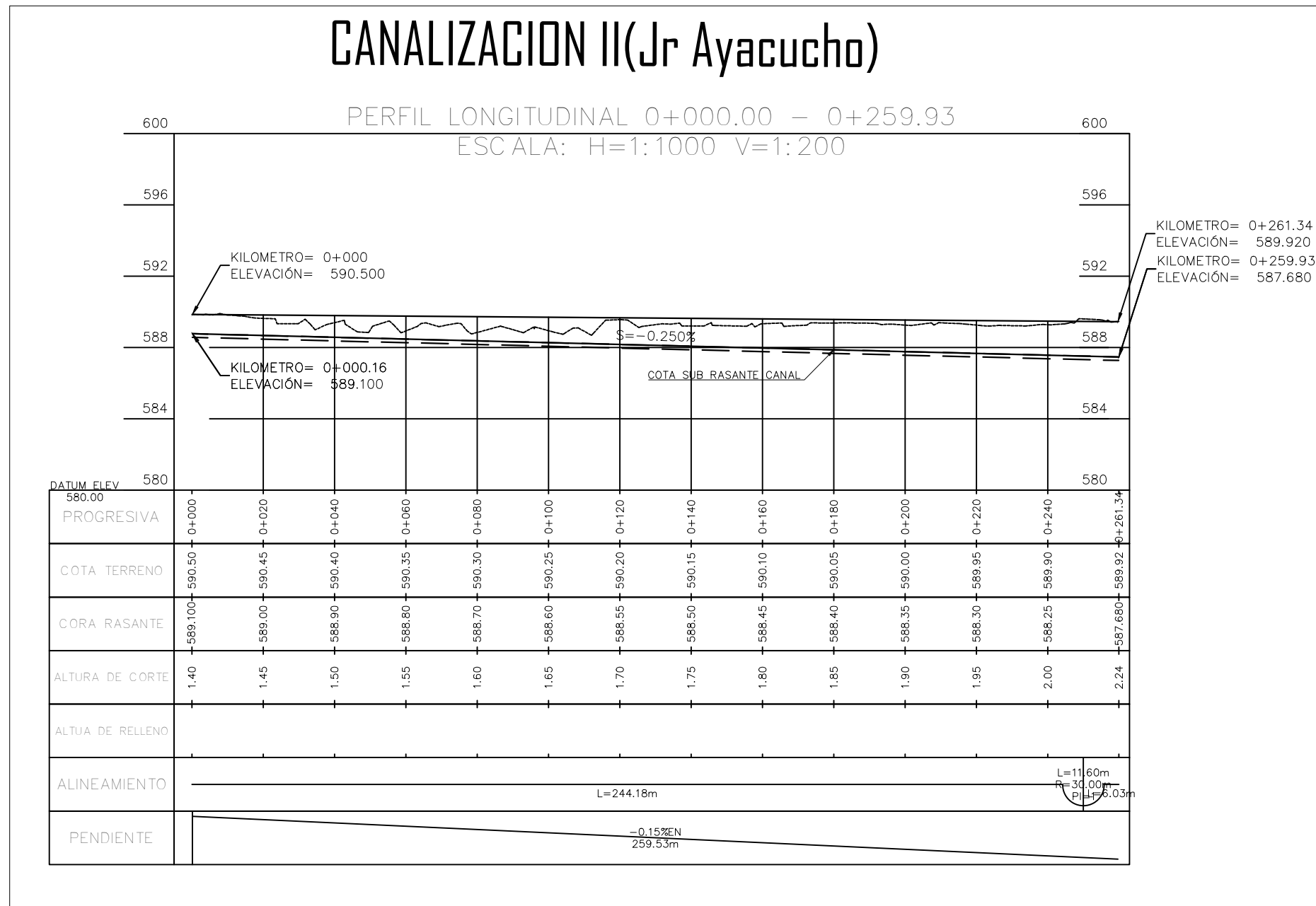
## Anexo 20: Rangos típicos de cunetas verdes.

Parameter	Range
Maximum Depth, feet ( $D_i$ )	0.5 – 2.0
Surface Void Fraction ( $\phi_i$ )	0.8 - 1.0
Bottom Width, feet ( $W_i$ )	2.0 – 8.0
Surface Slope, percent ( $S_i$ )	0.5 – 3.0
Side Slope, horizontal : vertical ( $S_i$ )	2.5 : 1 – 4 : 1
Surface Roughness ( $n_i$ )	0.03 – 0.2
Capture Ratio ( $R_{LID}$ )	5 – 10

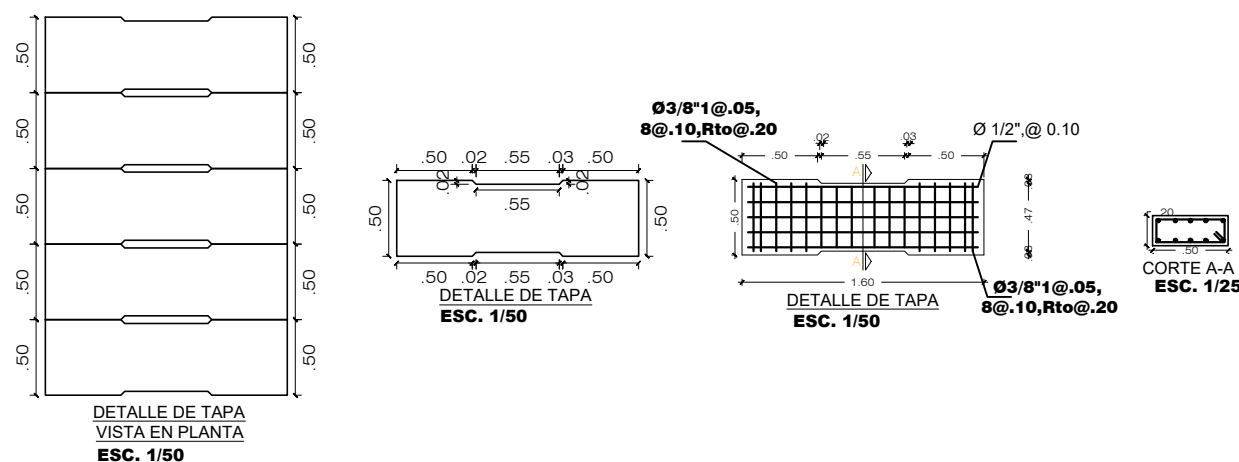
Nota. Se muestra los rangos típico recomendados de los SUDS, cunetas verdes, obtenidos de EPA (2016).



ANEXO 22: PERFIL DEL CANAL DE DRENAJE PLUVIAL EXISTENTE DEL JR. AYACUCHO DE LA CAPITAL DEL DISTRITO DE KIMBIRI (PAG 124).



PLANO DE PERFIL - CANALIZACIÓN II (JR. AYACUCHO).  
ESC:1/1500

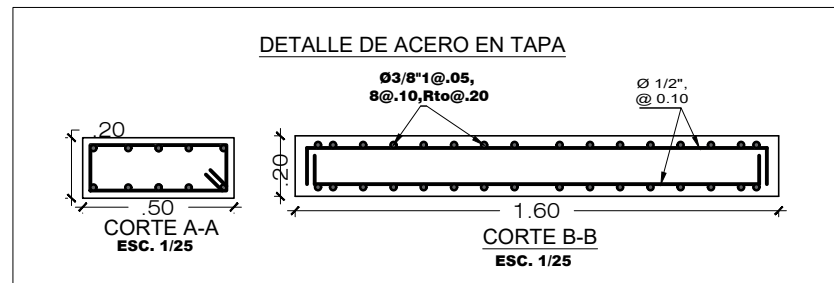
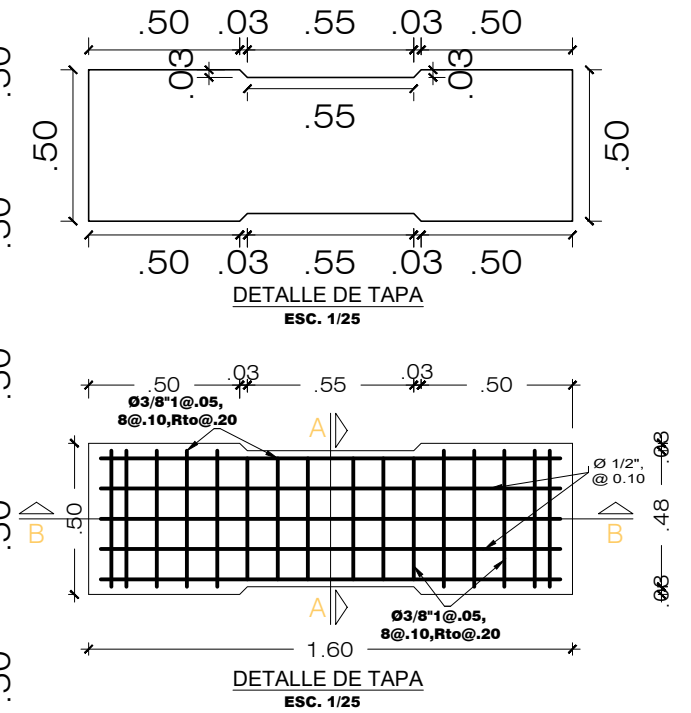
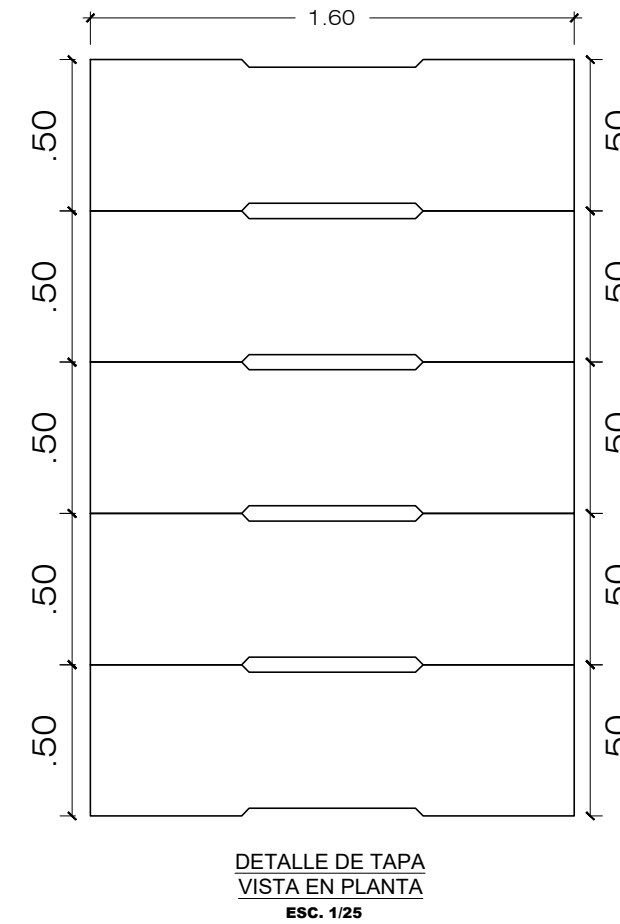
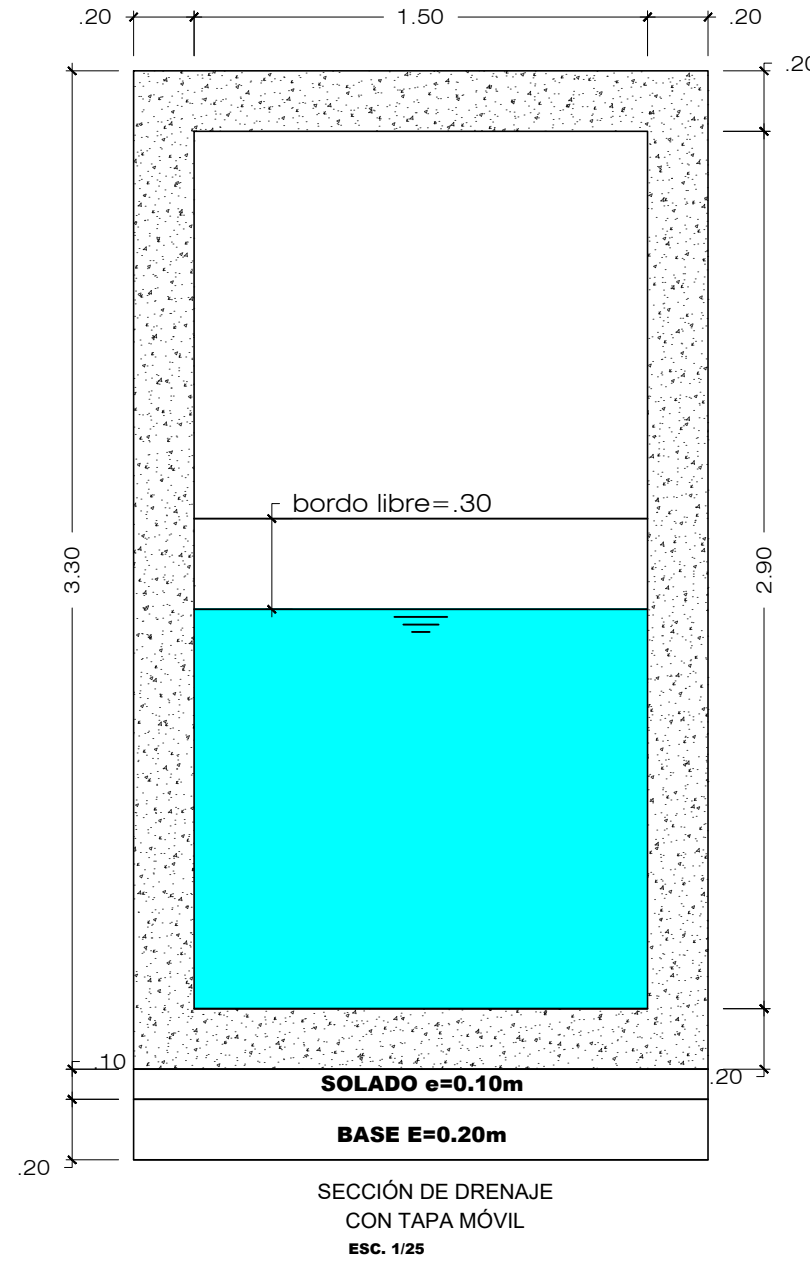
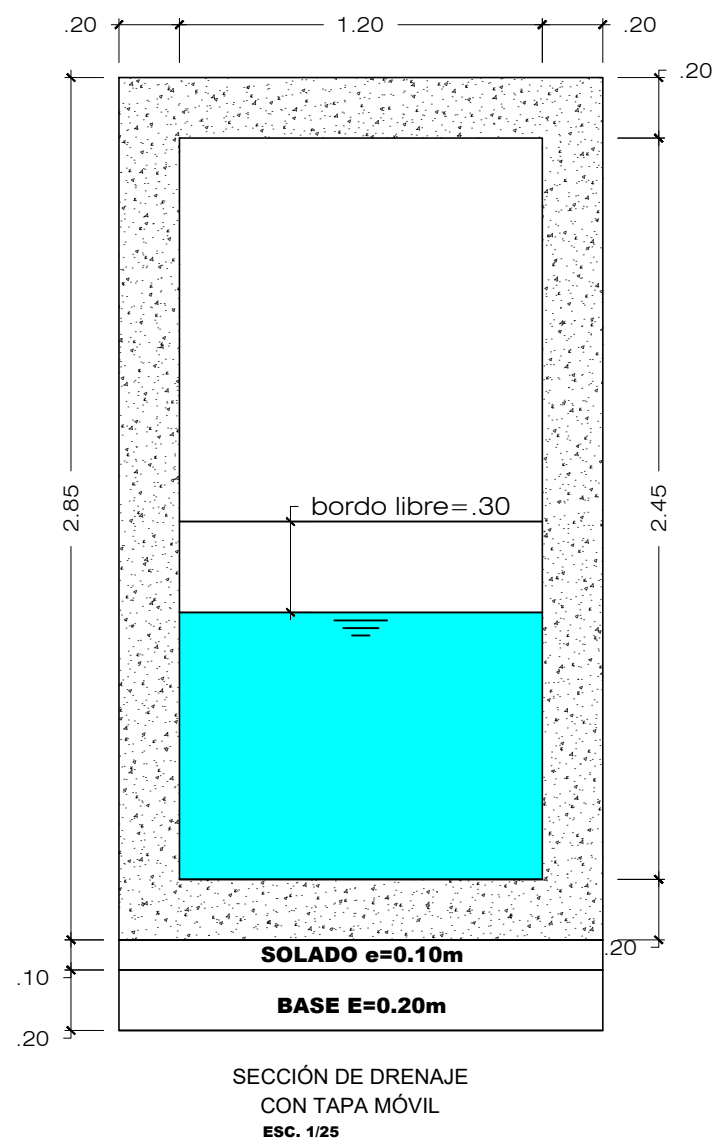



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA</b>	
	FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
UBICACIÓN:	PLANO:	LÁMINA:
REGION : CUSCO	PERFIL DEL CANAL DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EXISTENTE	<b>L-02</b>
PROVINCIA: LA CONVENCION		
DISTRITO : KIMBIRI		
FUENTE: EXPEDIENTE DE "CREACION DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN LA CIUDAD DE KIMBIRI, DISTRITO DE KIMBIRI - LA CONVENCION - CUSCO"	FECHA: MAYO - 2025	ESCALA: INDICADA

ANEXO 23: SECCIONES DE CANAL DE DRENAJE PLUVIAL EXISTENTE DEL JR. AYACUCHO DE LA CAPITAL DEL DISTRITO DE KIMBIRI (PAG 125).

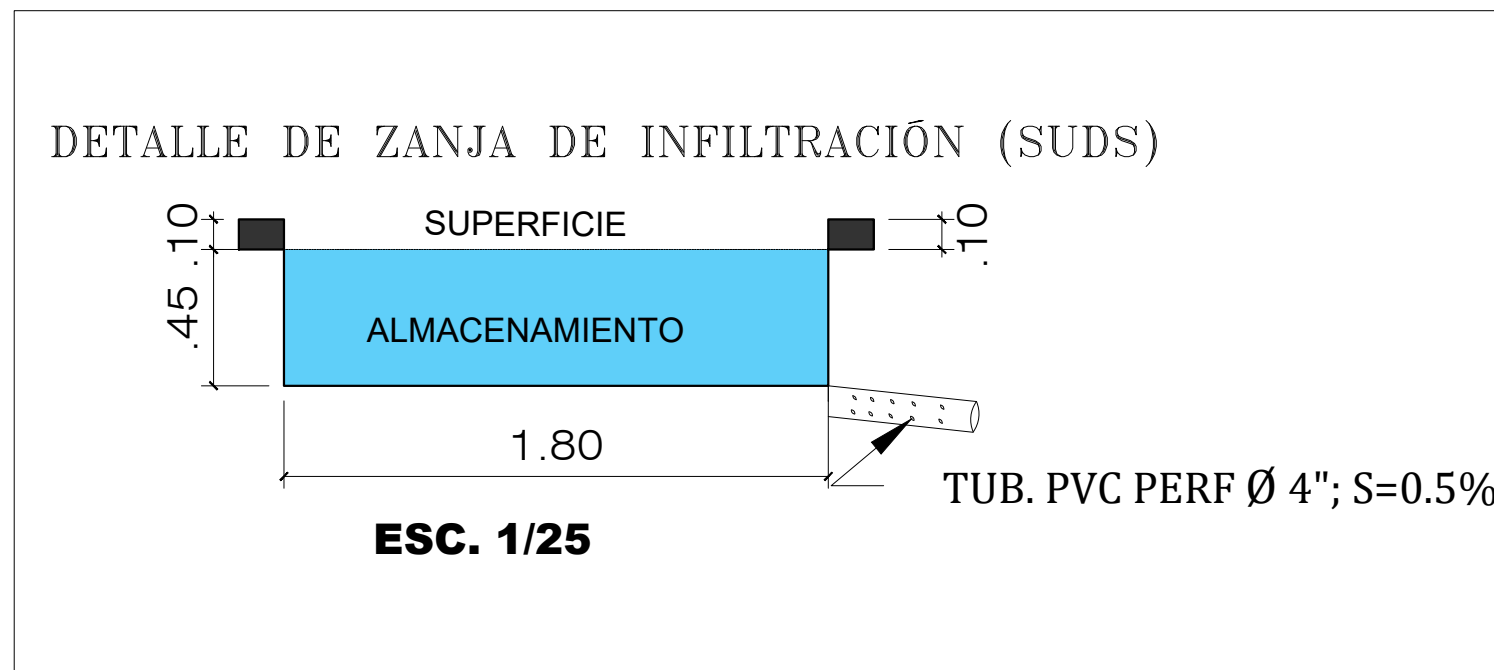
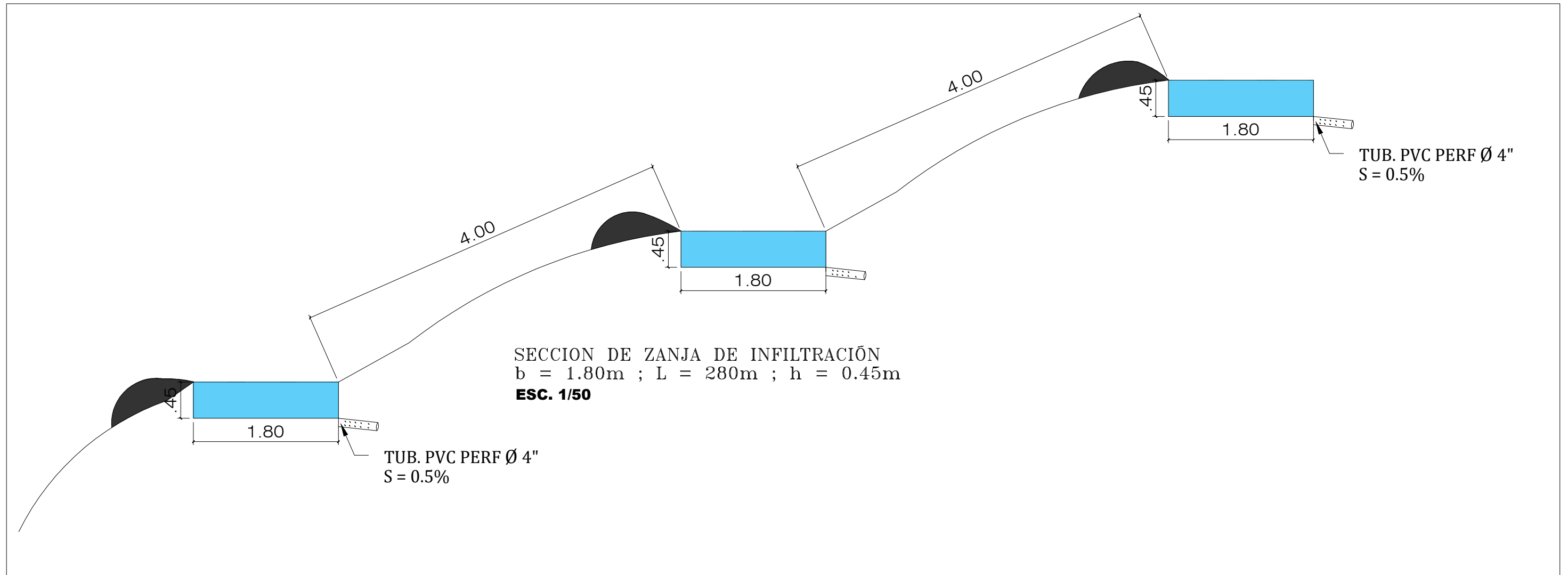
Av. La Convención - Jr Coricancha

Av. Circunvalación - Calle proyectada (Salida de drenaje)



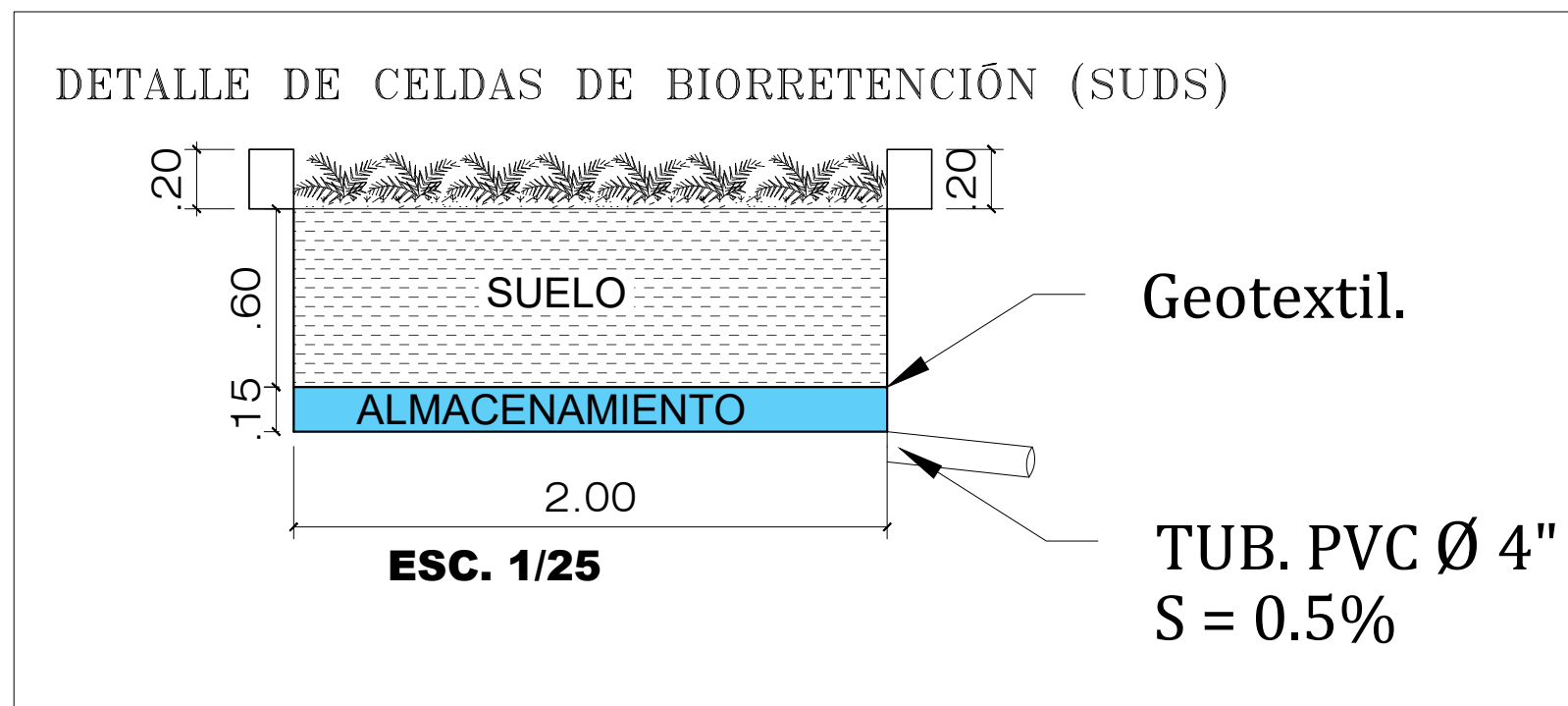
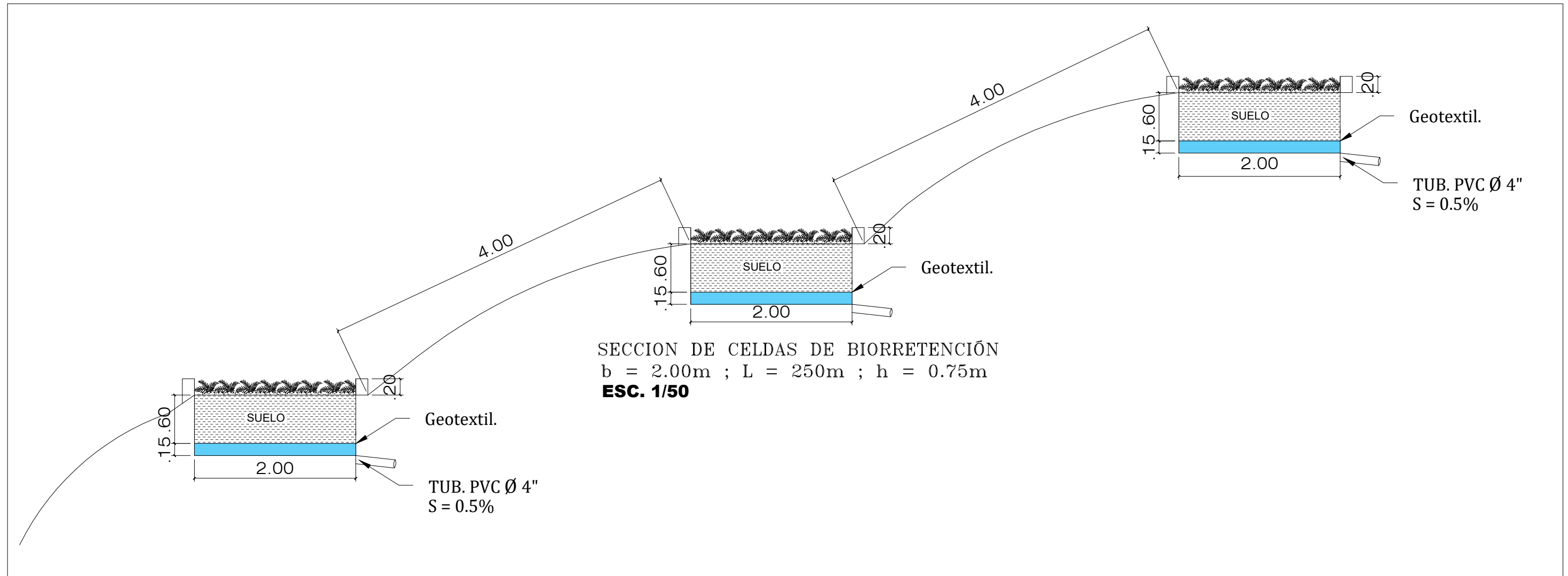
	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA</b>	
	FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
UBICACIÓN: REGION : CUSCO PROVINCIA: LA CONVENCION DISTRITO : KIMBIRI	PLANO: SECCIONES DEL CANAL DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EXISTENTE	LÁMINA: <div style="font-size: 2em; font-weight: bold;">L-03</div>
FUENTE: EXPEDIENTE DE "CREACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN LA CIUDAD DE KIMBIRI, DISTRITO DE KIMBIRI - LA CONVENCION - CUSCO"	FECHA: MAYO - 2025	ESCALA: INDICADA


ANEXO 24: PLANO DE DETALLE DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN (SUDS) (PAG 126).



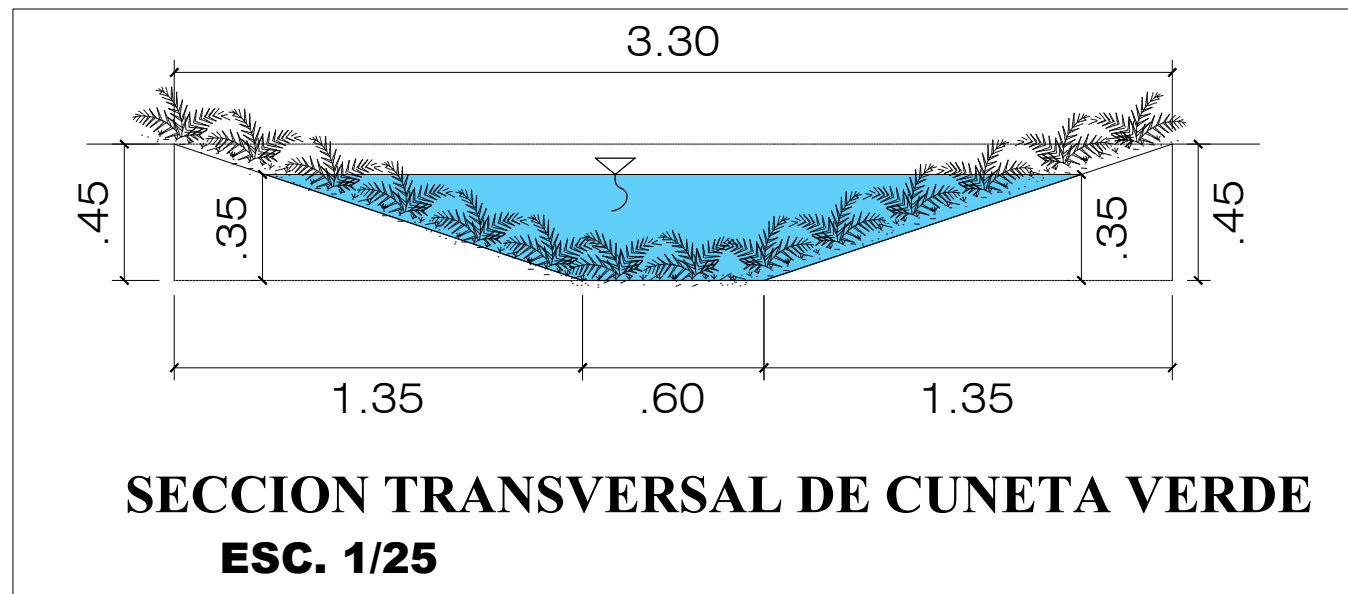
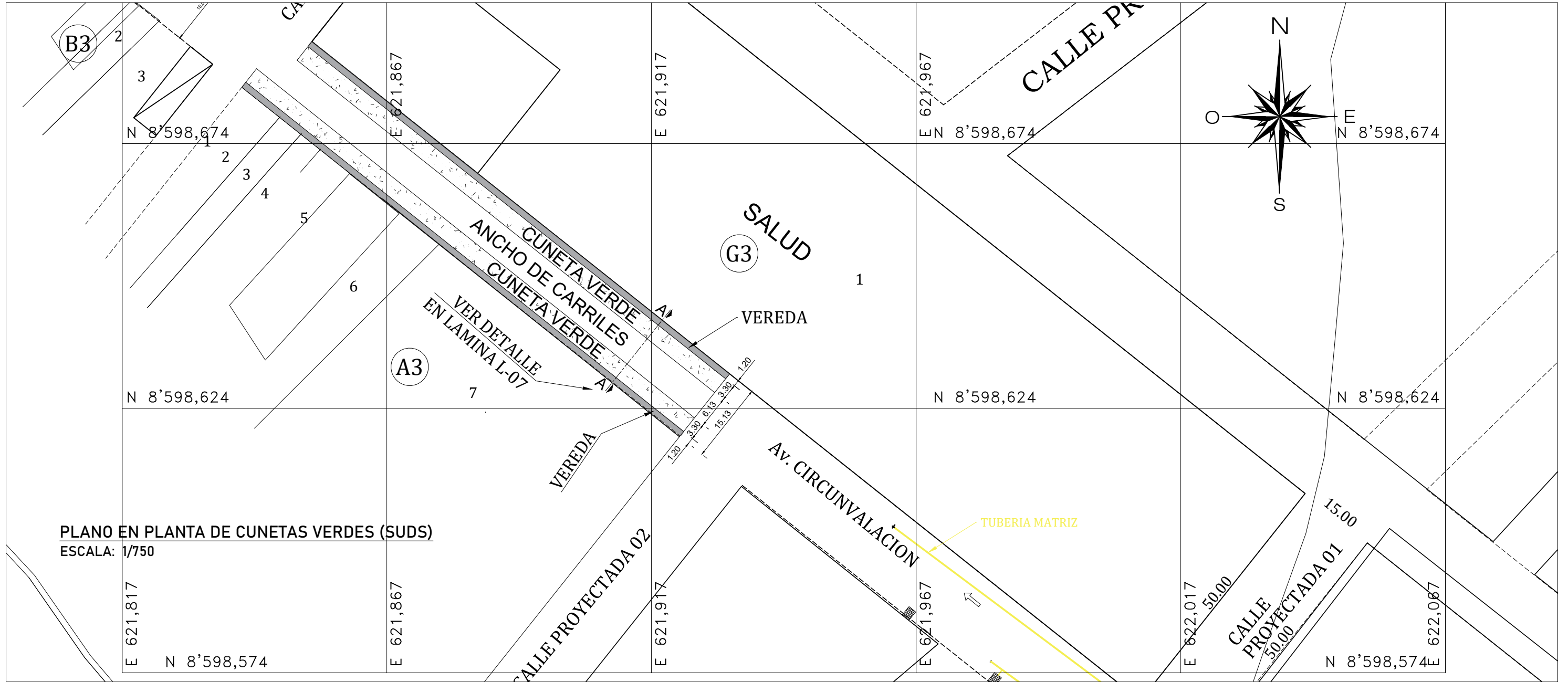
	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE                  SAN CRISTOBAL DE                  HUAMANGA</b>	
	FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
UBICACIÓN: REGION : CUSCO PROVINCIA: LA CONVENCION DISTRITO : KIMBIRI	PLANO: DETALLES DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN (SUDS)	LÁMINA: <b>L-04</b>
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	FECHA: MAYO - 2025	ESCALA: INDICADA

ANEXO 25: PLANO DE DETALLE DE CELDAS DE BIORRETENCIÓN (SUDS) (PAG 127).



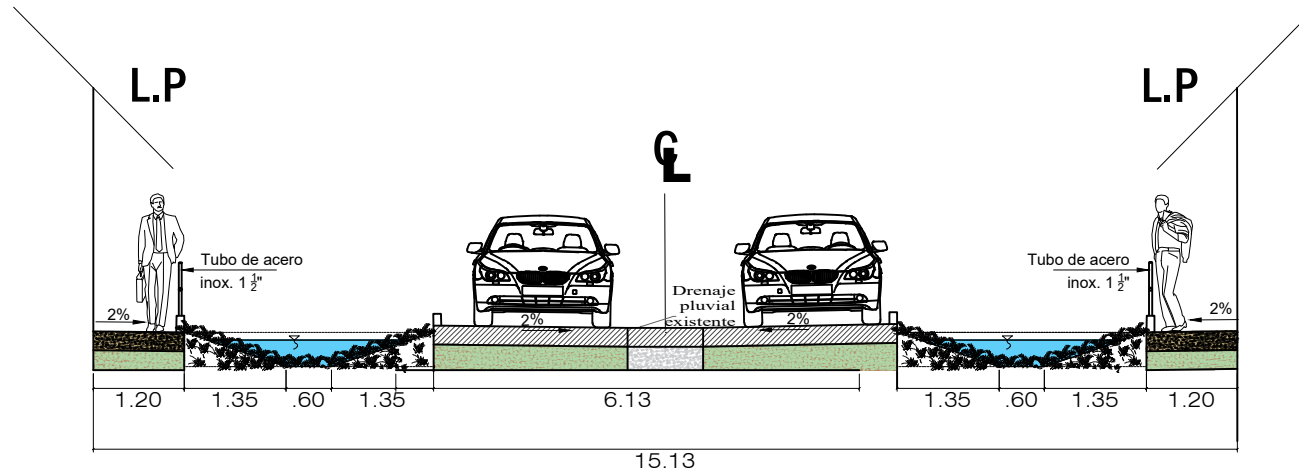
	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA</b>	
	FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
UBICACIÓN: REGION : CUSCO PROVINCIA: LA CONVENCIÓN DISTRITO : KIMBIRI	PLANO: DETALLES DE CELDAS DE BIORRETENCIÓN (SUDS)	LÁMINA: <b>L-05</b>
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	FECHA: MAYO - 2025	ESCALA: INDICADA

ANEXO 26: PLANO EN PLANTA Y SECCIÓN TRANSVERSAL DE CUNETAS VERDES (SUDS) (PAG 128).



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA</b>	
	FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
UBICACIÓN: REGION : CUSCO PROVINCIA: LA CONVENCIÓN DISTRITO : KIMBIRI	PLANO: PLANTA Y SECCIÓN TRANSV. DE CUNETAS VERDES (SUDS)	LÁMINA: <b>L-06</b>
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, ADAPTADA DE PLANOS PROPORCIONADOS POR LA MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE KIMBIRI	FECHA: MAYO - 2025	ESCALA: INDICADA

# ANEXO 27 : PLANO DE SECCIÓN VIAL A-A DE LA AV. CIRCUNVALACIÓN (PÁG 129)

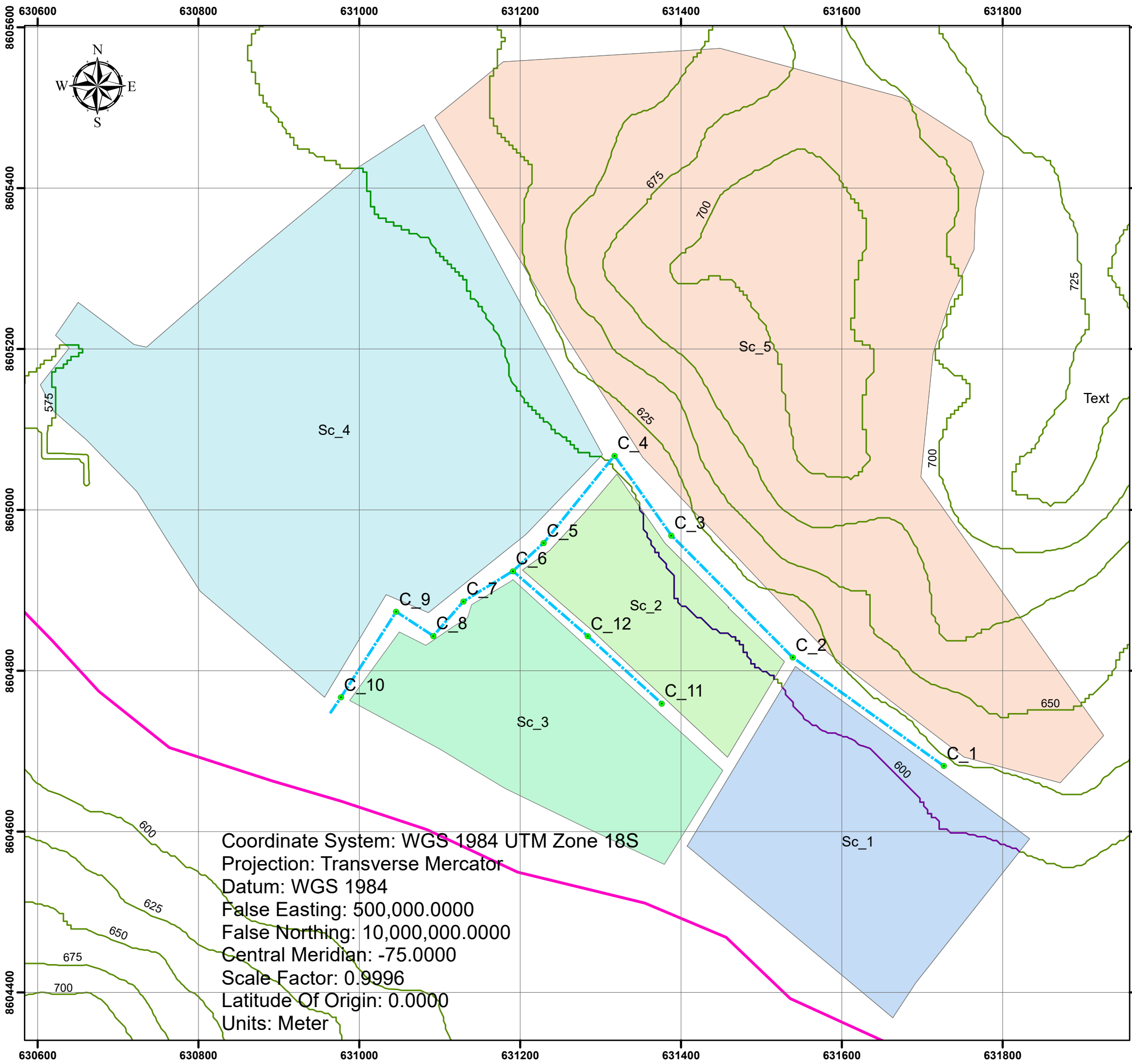


## SECCION VIAL A-A: Av. CIRCUNVALACIÓN

ESCALA : 1/100

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA</b>	
	FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
UBICACIÓN: REGION : CUSCO PROVINCIA: LA CONVENCION DISTRITO : KIMBIRI	PLANO: DETALLES DE CELDAS DE BIORRETENCION (SUDS)	LÁMINA: <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; text-align: center;">L-07</div>
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	FECHA: MAYO - 2025	ESCALA: INDICADA

# ANEXO 28: PLANO DE CUENCA HIDROGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO (PAG 130)



## LEYENDA

- CAMARA
- curva4
- curva2
- curva1
- - - Conducto
- <all other values>
- SubC\_4
- SubC\_2
- SubC\_1
- SubC\_5
- SubC\_3
- distrito\_utm

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18S  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: WGS 1984  
 False Easting: 500,000.0000  
 False Northing: 10,000,000.0000  
 Central Meridian: -75.0000  
 Scale Factor: 0.9996  
 Latitude Of Origin: 0.0000  
 Units: Meter

IMAGEN DE LA CAPITAL DEL DISTRITO DE KIMBIRI.



UBICACIÓN:  
 REGIÓN: CUSCO  
 PROVINCIA: LA CONVENCION  
 DISTRITO: KIMBIRI  
 DISEÑO: L.H.H.H  
 FUENTE: ELABORACION PROPIA

ESCALA: 1/5000

## Anexo 29: Cálculos de capacidad de la calle.

Aplicando la fórmula del monograma de Izzard:

$$Q_{calle} = 0.00175 \left( \frac{Z}{n} \right) S_0^{1/2} Y^{8/3}$$

Para un ancho de inundación propuesto tenemos:

Tabla 37  
Parámetros hidráulicos de Vía.

$S_x$	Z	n	$S_0$	T (m)	Y (cm)
0.02	50	0.015	0.015	3.30	6.6

Nota. Parámetros hidráulicos de la vía empleados en el cálculo de capacidad de calle, con elaboración propia.

Reemplazando datos tenemos:  $Q_{calle} = 0.219 \text{ m}^3/\text{s}$

## Anexo 30: Caudal máximo de la calle para T= 2 años, por el método Racional

Intervalo (min)	Intensidad (mm/h)	C	A SUDS (km <sup>2</sup> )	Q lluvia (m <sup>3</sup> /s)	V lluvia (m <sup>3</sup> )
5	56.744			0.0180	5.41
10	67.776			0.0215	12.93
15	85.599			0.0272	24.49
20	120.464			0.0383	45.96
25	232.246	0.72	0.0015883	0.0738	110.75
30	1227.472			0.3902	702.41
35	155.726			0.0495	103.96
40	99.591			0.0317	75.99
45	75.480			0.0240	64.79
50	61.690			0.0196	58.84
55	52.635			0.0167	55.22
Total =					1260.74

Nota. Estimación del caudal máximo en la vía urbana para un periodo de retorno de 2 años, obtenido con el método Racional, con elaboración propia.

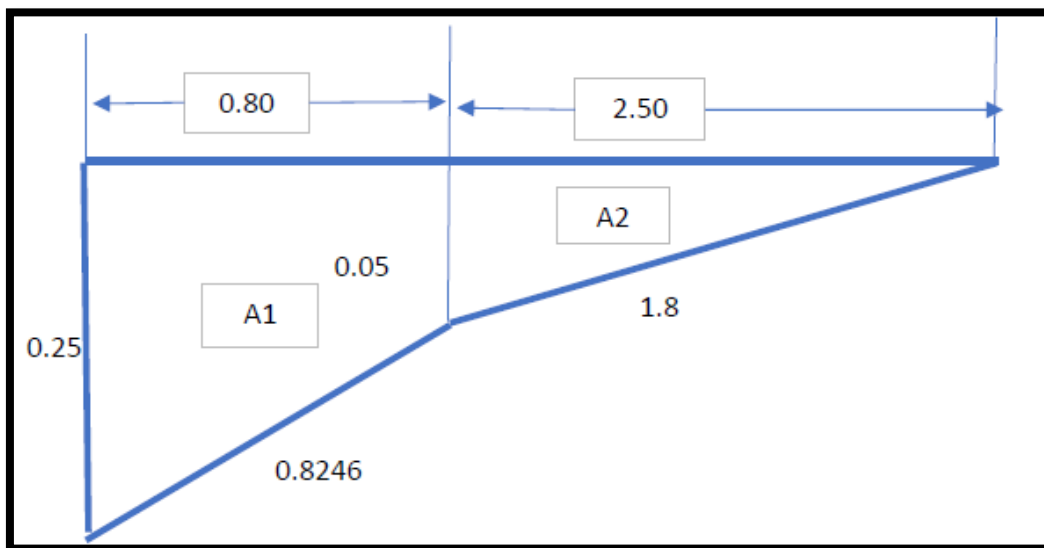
De la tabla anterior se tiene:  $Q_{m\acute{a}x} = 0.390 \text{ m}^3/\text{s}$

Anexo 31: Cálculos de capacidad de la calle para un drenaje convencional.

$S_x$	$S_w$	$n$	$S_0$	$A_1$ (m <sup>2</sup> )	$A_2$ (m <sup>2</sup> )	$P$ (m)	$R$ (m)
0.02	0.25	0.015	0.015	0.12	0.06	3.575	0.051

Nota. Se muestra parámetros calculados para el ancho de inundación propuesto, con elaboración propia. Mediante los cálculos realizados en la tabla del anexo 29 y 30 se tiene que la capacidad de la calle es menor a la capacidad máxima por lo que será necesario incrementar la capacidad de la calle mediante una cuneta de sección compuesta de material concreto armado.

Para incrementar la capacidad de la calle se utiliza la sección compuesta.



Nota. Representación de sección compuesta propuesta de la vía, con elaboración propia.

Calculamos la capacidad de la calle con la ecuación de Manning:

$$Q = \frac{A1 + A2}{n} R^{2/3} S_0^{1/2}$$

Reemplazando tenemos:  $Q = 0.205 \text{ m}^3/\text{s}$

La capacidad de la calle es:  $Q_{\text{calle}} = 0.410 \text{ m}^3/\text{s}$

Anexo 32: Cálculos de capacidad de la calle para un drenaje con la implementación de SUDS.

$b$ (m)	$Y$ (m)	$Z$
0.6	0.35	3

Nota. Propuesta de dimensiones de los SUDS cunetas verdes, con elaboración propia.

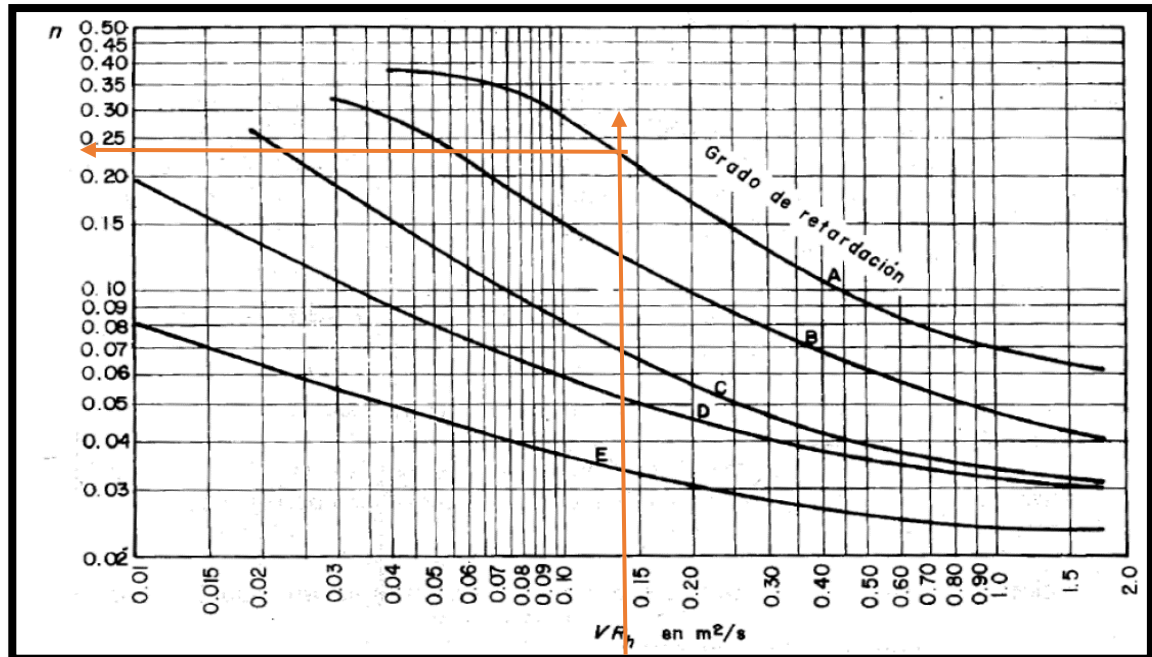
Calculando el área de la sección transversal de la cuneta verde:

$$A_{cuneta} = (b + zy)y$$

Reemplazando:  $A_{cuneta} = 0.578m^2$

Figura 58

Relación del coeficiente de Manning y la influencia vegetal.



Nota. Se presenta el monograma del coeficiente de rugosidad "n" de Manning en función de la velocidad, radio hidráulico y retardo vegetal. French. R.H. 1988 (Ávila, 2002).

Figura 59

Clasificación del grado de retardo con influencia vegetal.

Grado	Retardación
A	Muy alta
B	Alta
C	Media
D	Baja
E	Muy baja

Nota. Se muestra los diferentes grados de retardo con la influencia vegetal, obtenido de (Ávila, 2002).

De la tabla se tiene un grado de retardo "A".

$VR_h = 0.13$  (del monograma "n" de Manning)

Además:  $n = 0.24$  (del monograma "n" de Manning)

$A_{cuneta} = 0.578 \text{ m}^2$

$P = 2.81 \text{ m}$

$R_h = 0.21 \text{ m}$

$V = 0.90 \text{ m/s}$  (velocidad mínima según norma técnica CE- 040)

Por la ecuación de la continuidad se tiene:  $Q = VA$

Reemplazando tenemos:  $Q = 0.520 \text{ m}^3/\text{s}$

La capacidad de la calle es:  $Q_{calle} = 1.04 \text{ m}^3/\text{s}$

Anexo 33: Cálculos de porcentaje de área permeable e impermeable.

*Tabla 38*

*Distribución de áreas para la microcuenca 3.*

	Áreas urbanas	Espacios abiertos	Total
Microcuenca 3	74%	9%	83%

Nota. Representación de la distribución en porcentajes de la microcuenca 3, de elaboración propia.

Cálculos para la microcuenca 3:

Área total de la microcuenca 3 =  $77,343.00 \text{ m}^2$

% área urbana para microcuenca 3 = 83 %

Área permeable = 17% \* área microcuenca 3 =  $12,900.81 \text{ m}^2$

Dimensiones de Zanjas de infiltración (SUDS)

Largo = 280 m

Ancho = 1.8 m

$A_{SUDS} = 504 \text{ m}^2$

$\% \text{ Área permeable tratada} = \frac{A_{SUDS}}{\text{Area permeable}} \times 100 = 4\%$

Tabla 39  
Distribución de áreas para la microcuenca 4.

	Áreas urbanas	Espacios abiertos	Total
Microcuenca 4	81%		81%

Nota. Representación de la distribución en porcentajes de la microcuenca 4, de elaboración propia.

Cálculos para la microcuenca 4:

Área total de la microcuenca 4 = 255,298.00 m<sup>2</sup>

% área urbana para microcuenca 4 = 81 %

Área permeable = 19% \* área microcuenca 4 = 48,506.62 m<sup>2</sup>

Dimensiones de Zanjas de infiltración (SUDS)

Largo = 170 m

Ancho = 1.80 m

A<sub>SUDS</sub> = 306 m<sup>2</sup>

$$\% \text{ Área permeable tratada} = \frac{A_{SUDS}}{\text{Área permeable}} \times 100 = 0.6\%$$

Dimensiones de sección transversal de Cunetas verdes (SUDS)

Altura = Y = 0.35 m

Ancho = b = 0.60 m

Z = 3

A<sub>SUDS</sub> = 461.55 m<sup>2</sup> (área a implementar)

$$\% \text{ Área permeable tratada} = \frac{A_{SUDS}}{\text{Área permeable}} \times 100 = 0.95\%$$

Tabla 40  
Distribución de áreas para la microcuenca 5.

	Áreas urbanas	Espacios abiertos	Total
Microcuenca 5	14%	1%	15%

Nota. Representación de la distribución en porcentajes de la microcuenca 5, de elaboración propia.

Cálculos para la microcuenca 5

Área total de la microcuenca 5 = 360, 029.00 m<sup>2</sup>

% área urbana para microcuenca 5 = 15%

Área impermeable = 15% \* área microcuenca 5 = 54,004.35 m<sup>2</sup>

Dimensiones de celdas de biorretención (SUDS)

Largo = 250 m

Ancho = 2 m

Área unitaria = 500 m<sup>2</sup>

Nº de unidades = 15

A<sub>SUDS</sub> = 7,500 m<sup>2</sup>

$$\% \text{ Área impermeable tratada} = \frac{A_{SUDS}}{\text{Área impermeable}} \times 100 = 14\%$$

Dimensiones de Zanjas de infiltración (SUDS)

Largo = 280 m

Ancho = 1.8 m

Área unitaria = 504 m<sup>2</sup>

Nº de unidades = 15

A<sub>SUDS</sub> = 7,560 m<sup>2</sup>

$$\% \text{ Área impermeable tratada} = \frac{A_{SUDS}}{\text{Área impermeable}} \times 100 = 14\%$$



**UNSCH**

FACULTAD DE  
**INGENIERÍA**  
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 031-2025-FIMGC**

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

En la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga de la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **RESOLUCIÓN DECANAL No 240-2025-FIMGC-D**, a los **veintiséis días del mes de agosto de 2025**, siendo las **10:00 a.m.**, reunidos en el **Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil**, bajo la presidencia del **Ing. Ángel Hugo Vilchez Peña**, y los miembros: **Ing. Edward LEÓN PALACIOS**, **Ing. Saúl Walter RETAMOZO FERNANDEZ** y **Ing. Jaime Leonardo BENDEZÚ PRADO**, actuando como secretario el **Ing. Amilcar TACURI GAMBOA**, para proceder a la sustentación de tesis para optar el **Título Profesional de Ingeniero Civil**, del bachiller:

**LUIS HERBER HUAMANI HUAYANAY**

Quien presentó la tesis denominada:

**"PLANTEAMIENTO DE LOS SUDS EN LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO DE LA CIUDAD DE KIMBIRI"**


Los señores miembros del jurado, luego de expuesta la tesis y absueltas las preguntas, deliberaron y declararon:


**Aprobado con dieciséis (16)**


Siendo las **11:30 a.m.** del día **26 de agosto de 2025**, culmina el acto de sustentación de tesis, y en conformidad con lo actuado, los miembros del jurado firman al pie del presente.

  
Ing. Ángel Hugo Vilchez Peña  
Presidente

  
Ing. Edward LEÓN PALACIOS  
Miembro

  
Ing. Saúl Walter RETAMOZO FERNANDEZ  
Miembro

  
Ing. Jaime Leonardo BENDEZÚ PRADO  
Miembro - Asesor

  
Ing. Amilcar TACURI GAMBOA  
Secretario

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DE MINAS Y CIVIL  
Av. Independencia S/N  
Ciudad Universitaria  
Central Tel. 066 312510  
Anexo 151



## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### CONSTANCIA N° 019-2025-FIMGC/ASIH

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado con el software Turnitin, de la Escuelas Profesional de **Ingeniería Civil** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la **Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y **Resolución Decanal N° 697-2024-FIMGC-UNSCH-D**, dejo constancia de originalidad de trabajo de investigación, que el/la Sr./Srta.

**Apellidos y Nombres** : LUIS HERBER HUAMANI HUAYANAY  
**Escuela Profesional** : INGENIERÍA CIVIL  
**Título de la Tesis** : "PLANTEAMIENTO DE LOS SUDS EN LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO DE LA CIUDAD DE KIMBIRI"  
**Evaluación de la Originalidad** : 18 % Índice de Similitud  
**Identificador de la entrega** : 2767826795

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

En señal de conformidad y verificación se firma la presente constancia

Ayacucho, 01 de octubre del 2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil

Mg. Ing. Alex Sander IRCAÑAUPA HUAMANI  
Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado  
Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil

# “PLANTEAMIENTO DE LOS SUDS EN LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO DE LA CIUDAD DE KIMBIRI”

*por* LUIS HERBER HUAMANI HUAYANAY

---

**Fecha de entrega:** 01-oct-2025 09:31a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2767826795

**Nombre del archivo:** Te\_Luis\_Herber\_Huamani\_Huayanay.pdf (10.44M)

**Total de palabras:** 34159

**Total de caracteres:** 173731

# "PLANTEAMIENTO DE LOS SUDS EN LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO DE LA CIUDAD DE KIMBIRI"

## INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

[bdigital.unal.edu.co](http://bdigital.unal.edu.co)

Fuente de Internet

2%

2

[hdl.handle.net](http://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

2%

3

Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

2%

4

[repositorio.unal.edu.co](http://repositorio.unal.edu.co)

Fuente de Internet

1%

5

[eacs.carm.es](http://eacs.carm.es)

Fuente de Internet

1%

6

[repositorio.unh.edu.pe](http://repositorio.unh.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

7

[www.dspace.espol.edu.ec](http://www.dspace.espol.edu.ec)

Fuente de Internet

1%

8

[repositorio.uni.edu.pe](http://repositorio.uni.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

9

[repositoriobibliotecas.uv.cl](http://repositoriobibliotecas.uv.cl)

Fuente de Internet

1%

10

[zaguan.unizar.es](http://zaguan.unizar.es)

Fuente de Internet

1%

11

Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru

Trabajo del estudiante

1%

12

[repositorio.unc.edu.pe](http://repositorio.unc.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

13

[ciencia.lasalle.edu.co](http://ciencia.lasalle.edu.co)

Fuente de Internet

<1%

[repositorioacademico.upc.edu.pe](http://repositorioacademico.upc.edu.pe)

14	Fuente de Internet	<1 %
15	Submitted to ipn Trabajo del estudiante	<1 %
16	repositorio.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	www.grafiati.com Fuente de Internet	<1 %
18	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
19	rei.iteso.mx Fuente de Internet	<1 %
20	repositorio.unican.es Fuente de Internet	<1 %
21	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
22	repositorio.uptc.edu.co Fuente de Internet	<1 %
23	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
24	www.hydrolatinamerica.org Fuente de Internet	<1 %
25	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
26	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
27	blogdelagua.com Fuente de Internet	<1 %
28	doku.pub Fuente de Internet	<1 %
29	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	repositorio.usmp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
31	1library.co Fuente de Internet	<1 %

32	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	<1 %
33	<a href="http://catalogo.escuelaing.edu.co">catalogo.escuelaing.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
34	<a href="http://repositorio.unsa.edu.pe">repositorio.unsa.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
35	<a href="http://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
36	Submitted to umb Trabajo del estudiante	<1 %
37	Submitted to Universidad de Piura Trabajo del estudiante	<1 %
38	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1 %
39	<a href="http://core.ac.uk">core.ac.uk</a> Fuente de Internet	<1 %
40	<a href="http://renati.sunedu.gob.pe">renati.sunedu.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
41	<a href="http://academica-e.unavarra.es">academica-e.unavarra.es</a> Fuente de Internet	<1 %
42	<a href="http://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas      Activo      Excluir coincidencias      < 30 words  
Excluir bibliografía      Activo