

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**ESCORRENTÍA URBANA Y DRENAJE
URBANO SOSTENIBLE EN LA
URBANIZACIÓN VILLA CONCEPCIÓN
DISTRITO DE CONCEPCIÓN PROVINCIA DE
CONCEPCIÓN 2023**

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

Presentado por:

Bach. JACOBE BENDEZU, CARLOS SAUL

Asesor:

Ph. D. MOHAMED MEHDI HADI MOHAMED

Línea de Investigación Institucional: Nuevas Tecnologías y Procesos

Huancayo – Perú
2024

HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO

DR. RUBÉN DARÍO TAPIA SILGUERA
PRESIDENTE

JURADO

JURADO

JURADO

MG. LEONEL UNTIVEROS PEÑALOZA
SECRETARIO DOCENTE

Asesor

Ph. D. MOHAMED MEHDI HADI MOHAMED

Dedicatoria

.

Lo dedico a mis padres que siempre me apoyaron incondicionalmente en todo momento y cada uno de mis logros se los debo a ellos, gracias.

Jacobe Bendezu Carlos Saul.

Agradecimiento

En agradecimiento al Ph. D. MOHAMED
MEHDI HADI MOHAMED, por su apoyo por
la culminación de esta investigación.

Jacobe Bendezu, Carlos Saul

CONSTANCIA DE SIMILITUD

N ° 0340 - FI -2024

La Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones, hace constar mediante la presente, que la Tesis; titulada:

ESCORRENTÍA URBANA Y DRENAJE URBANO SOSTENIBLE EN LA URBANIZACIÓN VILLA CONCEPCIÓN DISTRITO DE CONCEPCIÓN PROVINCIA DE CONCEPCIÓN 2023

Con la siguiente información:

Con Autor(es) : Bach. JACOBE BENDEZU CARLOS SAUL

Facultad : INGENIERÍA

Escuela Académica : INGENIERÍA CIVIL

Asesor(a) : Ph. D. MOHAMED MEHDI HADI MOHAMED

Fue analizado con fecha 02/10/2024; con 164 págs.; con el software de prevención de plagio (Turnitin); y con la siguiente configuración:

Excluye Bibliografía.

X

Excluye citas.

X

Excluye Cadenas hasta 20 palabras.

X

Otro criterio (especificar)

El documento presenta un porcentaje de similitud de 25 %.

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentajes establecidos en el artículo N°15 del Reglamento de uso de Software de Prevención de Plagio Versión 2.0. Se declara, que el trabajo de investigación: ***Si contiene un porcentaje aceptable de similitud.***

Observaciones:

En señal de conformidad y verificación se firma y sella la presente constancia.

Huancayo, 02 de octubre del 2024.



MTRA. LIZET DORIELA MANTARI MINCAMI

JEFA

Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
INTRODUCCIÓN	16
CAPÍTULO I	18
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	18
1.1. Planteamiento del problema	18
1.2. Formulación y sistematización del problema	20
1.2.1. Problema general	21
1.2.2. Problemas específicos	21
1.3. Justificación	21
1.3.1. Práctica o social	21
1.3.2. Científica o teórica	22
1.3.3. Metodológica	22
1.4. Delimitaciones	22
1.4.1. Espacial	22
1.4.2. Temporal	22
1.4.3. Económica	23
1.5. Limitaciones	23
1.5.1. Limitaciones dogmáticas	23
1.6. Objetivos	23
1.6.1. Objetivo general	23
1.6.2. Objetivos específicos	23
CAPÍTULO II	24
MARCO TEÓRICO	24
2.1. Antecedentes	24
2.1.1. Antecedentes internacionales	24
2.1.2. Antecedentes nacionales	30
2.2. Marco conceptual	34
2.2.1. Precipitación	34

2.2.1.1. Curvas de Intensidad Duración y Frecuencia	35
2.2.1.2. Tiempo de Concentración	35
2.2.2. Selección del periodo de retorno	37
2.2.3. Análisis estadístico de datos hidrológicos	38
2.2.3.1. Distribución Gumbel tipo I	38
2.2.4. Coeficiente de rugosidad	40
2.2.5. Escorrentía superficial	41
2.2.5.1. Coeficiente de escorrentía	42
2.2.6. Cunetas	46
2.2.7. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)	47
2.2.8. Precipitación máxima en 24 horas.	65
2.2.9. Herramienta web para el desarrollo de curvas (IDF) de precipitación en el ámbito peruano.	66
2.2.10. Coeficientes de Escorrentía	72
2.3. Definición de términos:	75
2.4. Hipótesis	76
2.4.1. Hipótesis general	76
2.4.2. Hipótesis específicas	77
2.5. Variables	77
2.5.1. Definición conceptual de la variable	77
2.5.2. Definición operacional de la variable	78
2.5.3. Operacionalización de la variable	78
CAPITULO III	80
METODOLOGÍA	80
3.1. Método de investigación	80
3.2. Tipo de investigación	80
3.3. Nivel de investigación	80
3.4. Diseño de investigación	80
3.5. Población y muestra	81
3.5.1. Población	81
3.5.2. Muestra	82
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	82

3.6.1. Técnicas	82
3.7. Procesamiento de la información	82
3.8. Técnicas y análisis de datos	83
CAPÍTULO IV	84
RESULTADOS	84
4.1. Analizar la escorrentía urbana para optimizar el drenaje urbano sostenible	84
4.1.1. Precipitaciones máximas en 24 horas:	84
4.1.2. Curvas de intensidad – duración – frecuencia	85
4.1.3. Hietograma de diseño	89
4.1.4. Tiempo de concentración	97
4.1.5. Área de drenaje	100
4.1.6. Método racional	102
4.1.7. Parámetros normativos considerados	105
4.1.8. Ajustes del modelo SWMM	106
4.1.9. Diseño de la red de drenaje	110
4.2. Comportamiento de la escorrentía urbana y el incremento de la retención con drenaje urbano sostenible	118
4.3. Comportamiento de la escorrentía urbana y el incremento de la filtración con drenaje urbano sostenible	124
4.4. Comportamiento de la escorrentía urbana y la mejora de control de fuentes con drenaje urbano sostenible	130
4.5. Prueba de hipótesis	136
CAPÍTULO V	139
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	139
CONCLUSIONES	144
RECOMENDACIONES	146
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	147
ANEXOS	151
Anexo 01: Matriz de consistencia	152
Anexo 02: Matriz de operacionalización de variables	155
Anexo 03: Panel Fotográfico	157
Anexo 04: Planos	162

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 01: Valores de Periodo de Retorno y vida útil	38
Tabla N° 02: Coeficientes de rugosidad según materiales	40
Tabla N° 03: Coeficientes de rugosidad en diferentes tipos de canales	41
Tabla N° 04: Valores de Coeficientes de escorrentía según método racional	43
Tabla N° 05: Valores del coeficiente de escorrentía según método Mac Math.....	43
Tabla N° 06: Valores del coeficiente de escorrentía en condiciones heterogéneas.....	44
Tabla N° 07: Coeficiente de escorrentía promedio para áreas urbanas (5-10 años P.R).....	45
Tabla N° 08: Coeficiente de escorrentía áreas no desarrolladas en función del tipo de suelo. ...	45
Tabla N° 09 Clasificación de las tipologías de los SUDS.....	65
Tabla N° 10: Coeficientes de escorrentía para aplicar el método Racional	73
Tabla N° 11: Coeficientes de escorrentía en áreas no desarrolladas	74
Tabla N° 12: Operacionalización de las variables.....	79
Tabla N° 13: Intensidad de precipitaciones, para diferentes duraciones y periodos de retorno ..	86
Tabla N° 14: Precipitaciones registradas estación meteorológica.....	90
Tabla N° 15: Modelo método Dick Peschke	91
Tabla N° 16: Intensidad Precipitación vs Periodo de retorno	92
Tabla N°17: Resumen de estadísticas de la regresión	93
Tabla N° 18: Hietograma de precipitación de diseño – PR 10 años.....	94
Tabla N° 19: Hietograma con PR 10 años y duración de 180 m.....	95
Tabla N° 20: Datos para el cálculo del Tiempo de concentración	99
Tabla N° 21: Resultados ecuaciones para tiempos de concentración.....	99
Tabla N° 22: Coeficiente de escorrentía promedio en zonas urbanas para periodos de retorno de 5 a 10 años de periodo de retorno	104
Tabla N° 23: Coeficiente de escorrentía adoptado	105
Tabla N° 24: Sensibilidad de variables	109
Tabla N° 25: Diseño de tuberías sin SUDS.....	114
Tabla N° 26: Diseño de tuberías con SUDS.....	115
Tabla N° 27: Resultados sin uso de zanjas de filtración.....	119
Tabla N° 28: Resultados con uso de zanjas de filtración	120
Tabla N° 29: Resultados de infiltración sin SUDS.....	125
Tabla N° 30: Resultados con uso de jardines de lluvias.....	126
Tabla N° 31: Resultados con pavimento porosos.....	131
Tabla N° 32: Prueba de Chi cuadrado para hipótesis general.....	136

Tabla N° 33: Prueba de Chi cuadrado para hipótesis específica	137
Tabla N° 34: Prueba de Chi cuadrado para hipótesis específica	137
Tabla N° 35: Prueba de Chi cuadrado para hipótesis específica	138

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 01: Ejemplo curva IDF para lluvia máxima	35
Figura N° 02: Vida útil vs Periodo de retorno.....	37
Figura N° 03: Esquema de una cubierta vegetada.....	49
Figura N° 04: Cubierta vegetada. En Warsaw University Library, Polonia.....	49
Figura N° 05: esquema de un pavimento permeable.....	51
Figura N° 06: Pavimento permeable en el Estadio del Atlético del Madrid.	52
Figura N° 07: Pavimento permeable en Hunter Avenue, Kent UK.....	52
Figura N° 08: Jardín de lluvia.	53
Figura N° 09: Franja filtrante	53
Figura N° 10: Esquema de un pozo de infiltración.	55
Figura N° 11: Pozos de infiltración.....	56
Figura N° 12: Ejemplo de aplicación de un pozo de infiltración.	56
Figura N° 13: Esquema de un dren filtrante.....	57
Figura N° 14: Ejemplo de aplicación de drenes franceses.	57
Figura N° 15: Cuneta verde.....	58
Figura N° 16: Depósito de infiltración.....	59
Figura N° 17: Depósito de detención en superficie.....	60
Figura N° 18: Depósito de detención en superficie.....	60
Figura N° 19: Depósito de detención enterrado.	61
Figura N° 20: Estanque de retención.....	62
Figura N° 21: Parque inundable La Marjal, en Playa de San Juan (Alicante).....	62
Figura N° 22: Humedal.	63
Figura N° 23: Aljibe Centro Social De Benaguasil (Valencia).....	64
Figura N° 24: Modelo de herramienta web Senamhi	68
Figura N° 25: Ubicación de nuestra población.....	81
Figura N° 26. Histograma histórico de precipitaciones máximas en 24 horas	84
Figura N° 27: Curvas lamina duración frecuencia	88
Figura N° 28: Curvas intensidad Duración y frecuencia IDF	89
Figura N° 29: Curva intensidad duración frecuencia – PR 10 años	93
Figura N° 30: Hietograma de Precipitación de diseño con PR 10 años	95
Figura N° 31: Hietograma de Precipitación PR 10 años en 180 m	97
Figura N° 32: Hietograma Distribución de Intensidades PR 10 años en 180 m.....	97
Figura N° 33: Delimitación de la microcuenca	101

Figura N° 34: Delimitación del estudio.....	102
Figura N° 35: Balance de masas sin SUDS.....	108
Figura N° 36: Balance de masas con SUDS.....	108
Figura N° 37: Descarga del punto crítico sin SUDS	112
Figura N° 38: Descarga del punto crítico con SUDS	112
Figura N° 39: Descarga del punto crítico sin SUDS	116
Figura N° 40: Descarga del punto crítico con SUDS	116
Figura N° 41: Descarga del punto crítico sin SUDS	117
Figura N° 42: Descarga del punto crítico con SUDS	117
Figura N° 43: Áreas propuestas con zanjas de infiltración	119
Figura N° 44: Escorrentía sin utilización de SUDS	120
Figura N° 45: Escorrentía utilizando SUDS.....	121
Figura N° 46: Infiltración sin la utilización de SUDS.....	122
Figura N° 47: Infiltración con la utilización de SUDS.....	122
Figura N° 48: Diseño de superficies para zanjas de infiltración en SWMM.....	123
Figura N° 49: Diseño de almacenamiento para zanjas de infiltración en SWMM.....	123
Figura N° 50: Diseño de almacenamiento para zanjas de infiltración en SWMM.....	124
Figura N° 51: Diseño de sección de vía según PDU de la provincia	125
Figura N° 52: Infiltración – Escorrentía – Almacenamiento sin SUDS.....	127
Figura N° 53: Infiltración – Escorrentía – Almacenamiento con SUDS.....	128
Figura N° 54: Diseño de superficies para jardines de lluvia en SWMM.....	128
Figura N° 55: Diseño de suelos para jardín de lluvias en SWMM.....	129
Figura N° 56: Diseño de almacenamiento para jardín de lluvia en SWMM	130
Figura N° 57: Infiltración – Escorrentía – Almacenamiento con SUDS.....	132
Figura N° 58: Diseño de superficies para pavimento poroso en SWMM	133
Figura N° 59: Diseño de pavimento poroso en SWMM	133
Figura N° 60: Diseño de suelos para pavimento poroso en SWMM.....	134
Figura N° 61: Diseño almacenamiento para pavimento poroso en SWMM	135
Figura N° 62: Diseño de drenaje para pavimento poroso en SWMM.....	135

RESUMEN

En esta investigación el problema general fue: ¿Como se relaciona la escorrentía urbana y el drenaje urbano sostenible en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023?, el objetivo general fue: Analizar la relación de la escorrentía urbana para mejorar el drenaje urbano sostenible en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023. y la hipótesis general fue: Si se relaciona la escorrentía urbana entonces el drenaje urbano sostenible es eficiente en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023.

El método general fue el científico, con el tipo de investigación aplicada, nivel descriptivo y con un diseño no experimental. La población concierne a la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción; dicha población y muestra se determinó como no probabilística o intencional. El resultado que se obtuvo fue que efectivamente se ha demostrado que el drenaje urbano tiene una relación directa con la escorrentía urbana lo que permite mitigar una gran medida de escorrentía generados que permite mejorar la utilización de los recursos hídricos.

A manera de conclusión se obtuvo que existe una relación directa y significativa entre la escorrentía urbana y el drenaje urbanos sostenible, el mismo que permitirá tener mayor retención de las precipitaciones y evitar inundaciones en la urbanización, además de permitir la utilización de tuberías de menores diámetros permitiendo elaborar proyectos que cumplan con la normativa y sean más económicos.

PALABRAS CLAVES: Escorrentía urbana, Drenaje urbano sostenible.

ABSTRACT

In this research the general problem was: How is urban runoff and sustainable urban drainage related in the urbanization Villa Concepción district of Concepción province of Concepción 2023, the general objective was: To analyze the relationship of urban runoff to improve sustainable urban drainage in the urbanization Villa Concepción district of Concepción province of Concepción 2023. and the general hypothesis was: If urban runoff is related then sustainable urban drainage is efficient in the urbanization Villa Concepción district of Concepción province of Concepción 2023.

The general method was scientific, with the type of applied research, descriptive level and with a non-experimental design. The population concerned the Villa Concepción urbanization, district of Concepción, province of Concepción; the population and sample were determined as non-probabilistic or intentional. The result obtained was that it has been effectively demonstrated that urban drainage has a direct relationship with urban runoff, which allows mitigating a large amount of runoff generated and improving the use of water resources.

In conclusion, it was found that there is a direct and significant relationship between urban runoff and sustainable urban drainage, which will allow greater retention of rainfall and prevent flooding in urbanization, in addition to allowing the use of pipes of smaller diameters, making it possible to develop projects that comply with the regulations and are more economical.

KEY WORDS: Urban runoff, Sustainable urban drainage.

INTRODUCCIÓN

La presente tesis titulada: “Relación entre escorrentía urbana y drenaje urbano sostenible en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023”; nace de la problemática causada por inundaciones en zonas urbanas, que afecta a la calidad de vida de los pobladores de la urbanización y las calles colindantes, debido a ello se realiza esta investigación que tiene como objetivo analizar el comportamiento de la escorrentía urbana para optimizar el drenaje urbano sostenible en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023, a fin de mejorar la infiltración y conservación del recurso hídrico, además de reducir costos en los diseños de drenajes pluviales, que cumplan con la normativa vigente y permitan un desarrollo sostenible, este problema identificado no es ajeno a la Urbanización Villa Concepción donde se realizó la investigación, donde se tiene como método la implementación de los sistemas de drenaje urbano sostenible mediante el uso del SWMM que ayudan a la disminución de las escorrentías y mejora de la calidad de vida de la población.

De acuerdo a lo requerido se realizó un modelado en un diseño convencional según los parámetros estipulados en la normativa, y se analiza una propuesta de diseño considerando sistemas de drenaje urbano sostenible, para comprobar si están relacionados y como esto permite lograr mejoras en futuros diseños de drenajes pluviales que aun la norma peruana no contempla de manera detallada.

Para el desarrollo, la investigación se ha subdivide en los siguientes capítulos:

El Capítulo I: Problema de investigación, planteamiento del problema, la formulación, la justificación, la delimitación de la investigación, limitaciones y objetivos tanto general y también los específicos.

El Capítulo II: Marco teórico, antecedentes internacionales y nacionales de la investigación, marco conceptual, la definición de términos, hipótesis y variables.

El Capítulo III: Metodología, el método de investigación, tipo, nivel, diseño, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de información, el procesamiento de la información y las técnicas y análisis de datos.

El Capítulo IV: Resultados, en base a los problemas, objetivos y las hipótesis.

El Capítulo V: Discusión de resultados, se efectúa la discusión de los resultados conseguidos en la investigación contrastando con los antecedentes.

Por último, se define las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

De acuerdo a la UNESCO, y la ONU, en países económicamente más desarrollados, el 30% de sus aguas residuales no son tratadas, y en países menos favorecidos este porcentaje es mayor del 92%, y en promedio más del 80% de estas aguas contaminan el medio ambiente, generan degradación de fuente hídricas, y por consecuencia la sostenibilidad, por lo que estos sistemas de saneamiento urbano se deben de innovar y mejorar. Por otro lado, el incremento de las precipitaciones, y la incapacidad y pérdida de capacidad para absorber las lluvias, producto de factores diversos como el crecimiento poblacional y desarrollo urbano, agravan el problema. Garriga. (2023).

Martínez (2013) señala que se ha incrementado los caudales de escurrimiento superficial y el riesgo de inundaciones en las zonas más bajas de las ciudades, producto del crecimiento demográfico, la urbanización de ciudades, que han contribuido a la disminución de la impermeabilización de los suelos, siendo remplazados por concreto y asfaltos, pérdida de áreas verdes, y alteración de los

ciclos hidrológicos. Si no se toman acciones adecuadas se incrementa riesgos sobre los pobladores y fuentes receptoras, así mismo incremento de pérdidas económicas por la escasa capacidad de los sistemas de drenaje existente.

Ellis & Mitchell (2006). La descarga de la escorrentía luego de un evento importante de precipitación, afecta a un cuerpo receptor de estas cargas incluso varias veces más que un saneamiento ordinario, por lo tanto es importante regular estas fuentes o proyectar estrategias para mitigar este problema, que no solo incrementa las descargas que muchas veces hacen colapsar las redes sino que también genera lavado de superficies, transporte de contaminantes y deteriora la calidad de las aguas, que pueden ser reutilizadas, esto sustentado en investigaciones que demuestran que luego de soportar estas descargas de escorrentía en autopistas, se presenta una disminución de la diversidad y variación de índices bióticos en cuerpos acuáticos receptores.

En Latinoamérica, Vázquez (2013). Indica que la escorrentía urbana, discurre por las superficies impermeabilizadas de las ciudades, afectado por eventos de lluvias y/o nieve, generando las inundaciones, además podría generar erosión de suelos y contaminación en los acuíferos, y esta agua podría considerarse como una fuente potencial para abastecer del recurso hídrico a las futuras generaciones, por lo que se debe de crear tecnologías que permitan el tratamiento y la reutilización del agua de las escorrentías urbanas.

En Venezuela, Rodríguez et al. (2011). Señala que, en las zonas urbanas con alta densidad, la infiltración es despreciable, y el 95% se constituye como escorrentía superficial, la cual es fundamental drenar y gestionar, y así lograr condiciones adecuadas de habitabilidad.

Adriana (2019) señala que, durante una precipitación el 95% de agua se infiltra al suelo y solo el 5% genera escorrentía superficial, pero debido al fenómeno de urbanización, pavimentación, y diversas vías construidas, este porcentaje se ve drásticamente modificado, y es fundamental que sea mitigado este impacto.

Además, en Perú – Cajamarca, Yáñez (2014) indica que la situación se torna crítica al incrementar los niveles de precipitaciones, los que generan daños a la población, por la falta de un buen sistema de drenaje pluvial, involucrando a sobrecargas pluviales, erosión de suelos, e inundaciones en zonas bajas.

En Perú- Huancayo, Vasquez (2023) señala que la red de alcantarillado se encuentra saturada en varios puntos críticos de la zona, evidenciando una insuficiente preparación para enfrentar eventos climáticos, lo que ha generado importantes afectaciones tanto en la infraestructura como en el funcionamiento de la ciudad, incluso durante lluvias de baja intensidad.

Esta situación se aprecia en nuestra investigación en la urbanización Villa Concepción, lo que viene afectando a viviendas y deteriorando las infraestructuras viales, además esto constituye un riesgo para la población sobre todo para las personas de la tercera edad y menores que circulan por estas avenidas y calles. Muestra de ello vemos presencia de estancamientos, encharcamientos, deterioro de pistas, presencia de barro, en algunas vías aledañas vemos afectados también los pavimentos flexibles, los cuales no se construyeron con un diseño adecuado, además debido a su antigüedad, generan mayores costos de mantenimiento, razón fundamental de brindar una alternativa adecuada para este problema que ayudara a mejorar las condiciones de vida de los pobladores.

1.2. Formulación y sistematización del problema

1.2.1. Problema general

¿Como se comporta la escorrentía urbana con drenaje urbano sostenible en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023?

1.2.2. Problemas específicos

1. ¿Como se comporta la escorrentía urbana y la retención en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023?
2. ¿Como se comporta la escorrentía urbana y la filtración en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023?
3. ¿Como se comporta la escorrentía urbana y el control de fuentes en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023?

1.3. Justificación

1.3.1. Práctica o social

Según Bernal (2010), debe esta debe presentar un aporte en la solución de problemas o estrategias que lo permitan, involucrando a todos los ámbitos, y permitiendo obtener información que mejore la investigación en ese campo.

Por tanto, esta investigación pretende dar solución a la problemática causada por inundaciones en zonas urbanas, que afecta a la calidad de vida de los pobladores de la urbanización y las calles colindantes, permitiendo una mejora en la transitabilidad y reducción de enfermedades, que se puedan generar por el estancamiento de las aguas, e incremento de descargas.

1.3.2. Científica o teórica

Por su parte Ccanto (2010), señala que esta debe contribuir a nuevos conocimientos, conceptos, o teorías, ampliando conceptos, evitando ambigüedades, minimizando dificultades propias de la ingeniería.

Por tanto, esta investigación abarca el drenaje urbano sostenible, que es una tendencia a considerar para mejorar la captación de agua y evitar desperdicio del recurso hídrico, permitiendo mejorar las condiciones de habilitación urbana, y el medio ambiente.

1.3.3. Metodológica

Esta investigación pretende favorecer a la implementación de sistemas de drenaje urbano adecuados que ayuden a la preservación del medio ambiente y mejora de la calidad de vida de la población. Además, servirá como precedente para futuras investigaciones en esta rama de la ingeniería civil

1.4. Delimitaciones

1.4.1. Espacial

La investigación se realizó en Urbanización Villa Concepción del distrito de Concepción provincia de Concepción departamento de Junín, donde se identificó el problema a investigar.

1.4.2. Temporal

Esta investigación se realizó entre los meses de agosto y el mes de noviembre de 2023.

1.4.3. Económica

En esta investigación el financiamiento fue asumido por el investigador.

1.5. Limitaciones

1.5.1. Limitaciones dogmáticas

Al desarrollar la investigación se tuvo ciertas limitaciones, pues existe mucho desconocimiento sobre los sistemas de drenaje urbano sostenible, los cuales conllevaron a capacitar a los usuarios sobre los beneficios.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Analizar el comportamiento de la escorrentía urbana para optimizar el drenaje urbano sostenible en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023.

1.6.2. Objetivos específicos

1. Evaluar el comportamiento de la escorrentía urbana y la retención en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023.
2. Evaluar el comportamiento de la escorrentía urbana y la filtración en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023.
3. Evaluar el comportamiento de la escorrentía urbana y el control de fuentes en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Hou et. Al. (2021). Proponen un sistema totalmente controlado a escala de ciudad para la gestión de aguas pluviales, considerando inundaciones, y la contaminación de las aguas. Desarrollaron un sistema de gestión sostenible de aguas pluviales, donde evaluaron la eficiencia y limitaciones de estos sistemas, además incluye la utilización de infraestructuras verdes y grises como parte del sistema de control de aguas pluviales. Además, modelan la intervención de los alcantarillados sanitarios, y la contaminación de las aguas de lluvias de manera combinada, por colapsos. El modelo a escala les permitió simular una ciudad esponja, siendo una solución alternativa innovadora. Identificaron la coexistencia de sistemas de drenaje combinado y separados en las nuevas y existentes redes colectoras de la ciudad, identificando defectos en tuberías, infiltración de aguas subterráneas. Logrando una mejora del sistema de drenaje, combinado con prácticas de desarrollo de bajo impacto, logrando una disminución de diámetros de tuberías en toda la red, y mayor eficiencia, logrando una disminución de los valores anuales de volúmenes de entrada y volúmenes inundados en un 32.26% y 53.68%

respectivamente. Además de una reducción significativa en la emisión de contaminantes en 40.96% de demanda química de oxígeno (DQO), 71.18% de nitrógeno amoniacal (NH₃-N), 41.57% de sólidos en suspensión (SS) y 50.40% de fósforo total (TP). Demostraron que la adaptación, rehabilitación y renovación del sistema de drenaje, y tanques de almacenamiento mejoran la capacidad de drenaje y controlan la contaminación. Sin embargo, es importante incrementar un mayor control de los alcantarillados sanitarios para evitar la contaminación de las aguas. Además, señalan que se debe de considerar un sistema integral a nivel de complejo urbano, con control sistemático de aguas pluviales y la eficacia en una futura gestión urbana sostenible.

Shao, et.al (2020). Elaboraron, su investigación sobre las características y eficacia de los métodos de gestión del agua para las ciudades esponja en China, señalaron que el crecimiento acelerado de las urbanizaciones, el suministro urbano de agua y la mitigación de riesgos por inundaciones son problemas cada vez más trascendentes, por lo que desde el 2013 el gobierno chino creó un plan de desarrollo para las ciudades esponja, donde se identificaron 30 ciudades piloto, para lo que implementaron diversos sistemas de gestión hídrica, tanto para el almacenamiento natural, infiltración y la limpieza del agua en zonas urbanas. Detectaron similitudes y diferencias de modelos elaborados en el extranjero, analizaron diversas características constructivas en las ciudades piloto, en torno a las diferentes implementaciones según zonas climáticas (semiáridas, semihúmedas y húmedas). Se tomó a Xiamen

como caso de estudio, aplicando métodos de selección de escorrentía anual y control de la contaminación, concluyendo que serían suficiente para cumplir con los objetivos previstos. Concluyen que la ciudad esponja permite controlar con eficiencia las lluvias y escorrentías urbanas, además de reducir los contaminantes.

Shahzad, et.al (2022). En Australia, elaboraron una caracterización de la calidad de la escorrentía de aguas pluviales y evaluaron el rendimiento de sistemas de infiltración en las aceras, para mejorar la calidad de las aguas pluviales de una cuenca urbana. Señalan que el transporte de las aguas pluviales constituye una gran preocupación para la planificación urbana, por los efectos nocivos hacia los cuerpos receptores, modificando y alterando los ecosistemas. Esta información ayudara a la planificación y mitigación, reduciendo las descargas de escorrentía pluvial a nivel de cuenca. Realizaron un modelo estocástico de captación, permitiendo modelar pozos con fugas distribuidos en las aceras, para mejorar la calidad del agua pluvial. Los resultados indican que se generó una gran carga contaminante, típica de las cuencas residenciales en Australia, y la utilización de almacenamientos distribuidos mejora de manera marginal, la calidad de caudales de captación debido a fugas distribuidas en los pozos, estrechamente relacionados con los volúmenes de escorrentías interceptados, dependiendo del volumen de almacenamiento hidrológico, por lo que el volumen de almacenamiento limitado de los sistemas actuales, genero una mayor área de contribución. Lo que ayudara a la toma de decisiones y adaptar medidas de mitigación

que monitoreen la contaminación de las aguas por escorrentías en las cuencas residenciales.

Lisenbee & Hathaway. (2022). En su investigación denominada: Modelado de hidrología de biorretención: Cuantificación del rendimiento de DRAINMOD-Urban y el módulo SWMM LID. Compararon el volumen de biorretención y el desempeño hidrográfico de dos modelos calibrados, por un lado, el SWMM generó pronósticos de volúmenes de salida e hidrogramas adecuados, inclusive sin estar calibrado, y por otra parte el DRAINMOD representaba los hidrogramas de drenaje de mejor idealizada. Llegando a concluir que los sistemas de biorretención, genera un desarrollo de bajo impacto (LID) basado en la infiltración, disminuyendo las escorrentías de aguas pluviales y flujos máximos. Por lo que señalan que se deben realizar estudios adicionales con diversos modelos y mediciones de campo que permitan optimizar el desempeño de los LID. Además, el modelo de gestión de aguas de lluvia SWMM es uno de los modelos más aplicados para efectos de biorretención. Con DRAINMOD-Urban se puede replicar hidrogramas de drenaje de mejor calidad, mientras que con SWMM mejores hidrogramas de desbordes.

Martínez (2021). En su investigación, Modelado del proceso de infiltración, flujo superficial e interacciones del sistema de alcantarillado para la mitigación de inundaciones urbanas. Señala que esa transformación de precipitaciones en escorrentía en estas cuencas urbanas, involucra a procesos físicos, que determinan su producción, pero los modelos acoplados 1D/2D no incluyen estos procesos, por lo que se necesita una

representatividad adecuada de las precipitaciones, escorrentías e infiltraciones en un modelo dual de drenaje. El aporte de su investigación propone una nueva configuración de modelos, considerando procesos precipitaciones – escorrentías – infiltración en el flujo superficial, y su interacción para con las redes de alcantarillado.

Ahammed et.al. (2021). En Australia desarrolla su investigación denominada: Numeración y dimensionamiento óptimos de las tecnologías de diseño urbano sensibles al agua basadas en la infiltración. Indica que los sistemas de drenaje consideran a las aguas pluviales, como desechables y su finalidad es recolectarlas lo más rápido posible para descargar en desagües cercanos. Además, señala que los drenajes tradicionales no permiten la utilización significativa del agua pluvial, por ello debemos utilizar un diseño urbano sensible del agua como tecnología, para reducir los impactos negativos respecto a la hidrología debido a la urbanización. Diseño tecnologías basadas en infiltración como pozos con fugas, pozo con absorción y zanjas de infiltración, y ecuaciones para estimar estos sistemas, considerando la conductividad hidráulica de los suelos, intervalos de recurrencia entre los eventos de precipitaciones, duración crítica de tormenta, e intensidades, aplicándolas a casos reales en las cuencas.

Fu et.al. (2023). En su investigación: Cuantificación y evaluación del potencial de infiltración de la infraestructura verde en áreas urbanas utilizando un modelo hidrológico en capas, analizaron la variabilidad de las tasas de infiltración máxima y la infiltración acumulada, en

infraestructura verde, con barreras impermeables y diversos espesores. Señalan que es muy importante el potencial de infiltración, para incrementar la efectividad de la infraestructura verde en la reducción de flujos terrestres. Debiendo incluir la heterogeneidad de capas y la evaluación del potencial de infiltración de estas infraestructuras verdes, en las simulaciones hidrológicas urbanas. Además, indican que hay un gran desafío, por la falta de información en capas y conocimiento del verdadero potencial de infiltración de los sistemas pluviales. Concluyen también que identificar los impactos potenciales típicos del proceso de infiltración nos generara grandes beneficios en la gestión de las aguas de lluvia urbanas.

Techer et. al. (2023). En su investigación denominada: Evidencias de apoyo para la infiltración de aguas pluviales mejorada por vegetación en sistemas de biorretención: una revisión exhaustiva. Señalan que en gran medida la eficiencia para mitigar las aguas de lluvia, en los sistemas de biorretención depende de la capacidad de infiltración de escorrentía recepcionada rápidamente. Además, los resultados fueron de gran impacto positivo sobre las plantas en la infiltración y percolación de agua, por tanto, la selección de los cultivos cumple un papel fundamental, para estos fines. Si se desea maximizar las tasas de infiltración podemos utilizar plantas o cultivos de raíces gruesas y profundas en estos medios permeables de biorretención. Finalmente implementar cultivos diversificados, permiten una cobertura perenne y adecuada de biorretención de la hidrología.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Ballesteros (2020). En su investigación denominada: sistema urbano de drenaje sostenible como alternativa al drenaje pluvial urbano del sector Miraflores en Castilla, identifico que el mayor problema urbano es el manejo, control y gestión de las escorrentías de lluvias, producto de diversas deficiencias que se tienen en el sistema pluvial de drenaje. Por lo que como finalidad del estudio se propuso determinar un sistema de drenaje urbano sostenible para la localidad. Se determinó que el sistema actual no era adecuado, no se encontraba integrado a la red principal, y no se realizaban mantenimientos, lo cual generaba mayores deficiencias, Se opto por diseñar un sistema sostenible de drenaje pluvial, contemplando también diseño de pavimentos permeables, en vías poco transitadas, parque inundable como recreación pasiva, estanques de retención y franjas filtrantes.

López & Villavicencio (2021). Realizaron su investigación sobre el sistema drenaje urbano sostenible para evitar inundaciones de origen pluvial mejorando áreas verdes, cruce Av. Mateo Pumacahua – Av. Separadora Industrial, Distrito Villa el Salvador donde el problema de la ejecución de obras genera la reducción de la infiltración y las precipitaciones observadas en los últimos años provoca inundación en dicha zona. El objetivo es proponer un sistema urbano de drenaje sostenible para dar solución a este problema y que consiste en técnicas de gestión de aguas producidas por las precipitaciones, Facilitando el restablecimiento del ciclo del agua en áreas urbanas, se mejora la calidad

del agua infiltrada y se previenen inundaciones. A través de cunetas verdes, se captarán los excedentes de agua pluvial provenientes de zonas con pendientes pronunciadas, distribuyéndose de manera que favorezca las áreas verdes del área de estudio. El hidrograma Unitario Sintético del SCS fue modelado con el HECHMS, cuyos resultados fueron, el caudal de diseño de 0.3 m³ /s y el volumen excedente de 6400 m³, Del análisis de las alternativas se concluyó que las cunetas verdes son efectivas para solucionar los problemas de inundaciones y recomendables por ser las económicas y con los mismo beneficios técnicos y ambientales.

Rojas (2021). Desarrollaron su investigación sobre el sistema de drenaje urbano sostenible entre la Av. Cajamarca y Jr. Yurimaguas, Cajamarca 2021, con el fin de descubrir aquellas razones del insuficiente sistema actual de drenaje de dichas calles para lo cual se busca mejorar el sistema de drenaje pluvial donde se aplica el drenaje urbano sostenible, donde se tiene como objetivo determinar mediante el programa SWMM la capacidad hidráulica del drenaje urbano sostenible para dar solución a dichos calles, donde se tiene como resultados que dicho sector no posee la suficiente capacidad de drenaje pluvial lo que provoca inundaciones y colapsos del sistema y se afirma que la capacidad hidráulica es ineficiente para evacuar los caudales máximos. Se concluye que el sistema hidráulico es ineficiente y que los sistemas de drenaje urbano sostenible tienen que elegir y dimensionar de forma que se logre solucionar las inundaciones que se genera en el sector.

Valdivia (2023). Desarrollo su investigación sobre el 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, el estudio se enfoca especialmente en la zona monumental del distrito de Huancayo donde se identifica la saturación de la red de alcantarillado en 8 puntos críticos. El objetivo es diseñar un sistema de drenaje urbano sostenible para gestionar las aguas pluviales. Para ello, se realizó un análisis exhaustivo de diversas técnicas de manejo de aguas pluviales, enfocándose en las cubiertas verdes y los pavimentos permeables, los cuales generan la infiltración del agua de lluvia en el suelo, disminuyendo el escurrimiento superficial y frenando la sobrecarga de la red de drenaje. Se confirma que ambas alternativas son opciones altamente prometedoras para mejorar considerablemente la eficiencia en la gestión de aguas pluviales en Huancayo. Los resultados respaldan de manera sólida la propuesta de implementar un sistema de drenaje urbano sostenible en esta ciudad. Además de abordar las necesidades hidráulicas, las cubiertas verdes y los pavimentos permeables ofrecen ventajas ambientales y estéticas, en concordancia con los principios de sostenibilidad, promoviendo a su vez la resiliencia urbana frente a fenómenos climáticos extremos.

Córdova & García (2021). Realizan su investigación sobre el diseño de Pavimento Permeable como alternativa de drenaje pluvial en la Av. Circunvalación Km. 0+000 - Km. 1+500, Veintiséis de Octubre, Piura, donde diseñaron un pavimento permeable, como alternativa al drenaje

pluvial, encontrando un pavimento de bajo tránsito tipo I según el ESAL de 2207 008 ejes equivalentes, sobre un suelo arenoso no plástico, determinando un espesor de capa filtrante de 20 cm, con una losa de concreto permeable de 15 cm. El diseño del pavimento poroso se realizó según las normas técnicas peruanas, según un periodo de diseño para 20 años, la cual cumple con todos los requisitos necesarios en su implementación.

Artica & De La Cruz (2023) Elaboraron su investigación sobre comparación del pavimento permeable con los pavimentos rígidos y flexibles para la mejora del drenaje el estacionamiento del aeropuerto de Jauja, con el objetivo de contribuir a la mejora del drenaje de aguas pluviales a través de la implementación de pavimentos permeables, dado que la investigación identificó un problema ambiental generado por el sistema de drenaje actual en los pavimentos rígidos y flexibles. Como solución se plantea los pavimentos permeables que son parte de los Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS). Para verificar la viabilidad del pavimento permeable, se establecieron puntos clave de comparación con los pavimentos rígidos y flexibles en el estacionamiento del aeropuerto de Jauja. Se diseñó cada tipo de pavimento basándose en la Norma AASHTO 93 y ACI 330R - 08. Luego se procedió a evaluar los valores obtenidos se determinaron puntos de comparación como, por ejemplo, mantenimiento, costos, reciclabilidad, resistencia a la compresión y flexión, entre otros para los tres tipos de pavimento. Finalmente, se concluyó cuál es el tipo de pavimento más adecuado para este

estacionamiento, identificando al pavimento permeable como la opción óptima para dicho espacio.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Precipitación

Según Chereque, está referida a las múltiples alternativas de humedad vertidas de la atmósfera y acumuladas en superficies terrestres, es decir lluvias, granizos, rocíos, neblinas, nieves o heladas. Por lo tanto, el contenido del volumen de agua de las nubes, difiere del agua que se precipita. Mediciones realizadas demuestran que el agua que cae es mucho mayor, debido a la continua condensación de nubes, durante las precipitaciones, es decir tiene una alimentación constante del vapor de agua, que rodea las nubes, la que renueva el vapor de agua.

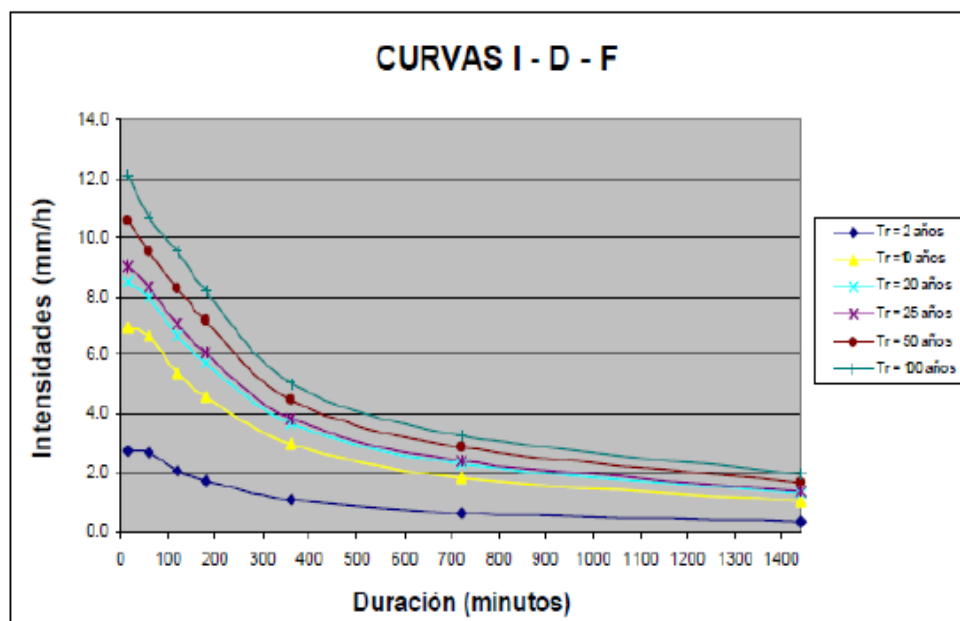
Las precipitaciones se generan, en relación a la humedad atmosférica, la radiación solar, el enfriamiento del aire, aparición de núcleos giroscópicos producto de la condensación, crecimiento de las partículas de lluvia. Las lluvias por lo tanto se forman cuando:

Debido a la conducción el aire húmedo de los estratos bajos se calienta. Por lo que este aire se vuelve más leve, experimentando una ascensión adiabática, haciendo que el aire húmedo se expanda y se enfríe a razón de 1 °C, cada 100 metros, hasta llegar a condición de saturación, llegando a su nivel de condensación, en este punto los núcleos giroscópicos, condensan el vapor de agua formando minúsculas gotas en estos núcleos, estas gotas se mantendrán en suspensión hasta que crezcan, y alcancen un tamaño suficiente para precipitarse.

2.2.1.1. Curvas de Intensidad Duración y Frecuencia

El Manual de hidrología, hidráulica y drenaje (2008), señala que para determinar estas curvas se necesitara registros pluviográficos de las precipitaciones en la zona de intervención, Seleccionaremos las precipitaciones más intensas de distintas duraciones en cada año para llevar a cabo un estudio de frecuencia con cada una de las series obtenidas. De manera que obtendremos una asignación de probabilidades para la intensidad de precipitaciones, que correspondan a cada duración, representado en una gráfica única de intensidad vs duración, considerando el periodo de retorno. Por ejemplo:

Figura N° 01: Ejemplo curva IDF para lluvia máxima.



Fuente: Elaboración propia

2.2.1.2. Tiempo de Concentración

Carranza (1995), indica que el tiempo de concentración para la escorrentía desde el punto más distante, determinará la duración de la intensidad de la lluvia crítica considerada para el diseño, porque se considera a la máxima

concentración de agua en el punto de aplicación o aplicando la fórmula racional, y esta determinará el momento cuando toda el área contribuye. En el ámbito urbano, las vías son las principales conductoras de las precipitaciones, con altas velocidades, tiempos cortos de concentración y/o transporte, por tanto, el tiempo de concentración, es el tiempo que tarda una partícula de agua en llegar desde el punto más distante, hasta la salida de la cuenca. El tiempo de concentración será la suma del tiempo de entrada y el tiempo del trayecto.

$$T_c = T_e + T_t$$

Dónde:

T_c = Tiempo de concentración (Horas)

T_e = Tiempo de entrada (Horas)

T_t = Tiempo de trayecto (Horas)

Además, se conoce que existe una relación inversa entre la duración de una tormenta y su intensidad (a mayor duración disminuye la intensidad), entonces se asume que la duración crítica es igual al tiempo de concentración t_c .

El tiempo de concentración real depende de muchos factores, entre otros de la geometría en planta de la cuenca, de su pendiente (a mayor pendiente se tiene flujos de mayor velocidad y menos tiempo de concentración), el área, las características del suelo, cobertura vegetal, y otros.

El tiempo de concentración en un sistema de drenaje pluvial puede ser determinado usando una ecuación empírica desarrollada por Kirpich.

$$T_c = (0.871 * L^3 / H)^{0.385}$$

Dónde:

Tc= Tiempo de concentración (Horas).

L = Longitud del curso de agua más distante (Km).

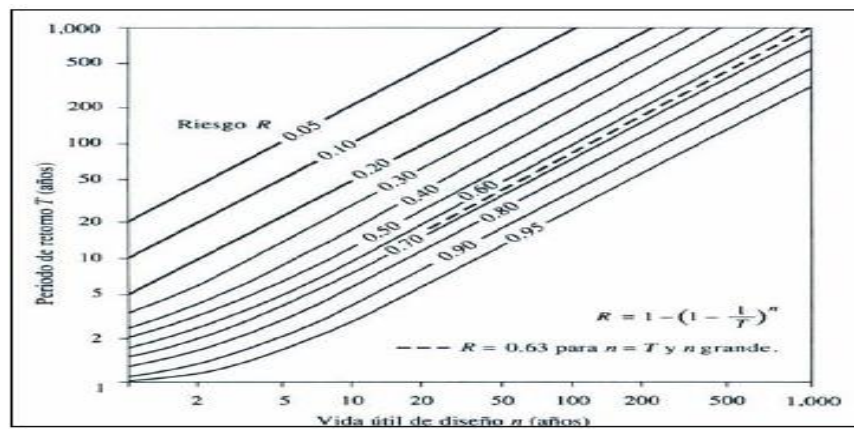
H = Desnivel máximo del curso de agua más distante (metros).

2.2.2. Selección del periodo de retorno

De acuerdo al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012). El tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada “T” años, se le denomina Período de Retorno. Se asume eventos anuales independientes, por lo que podemos estimar la probabilidad de falla para una vida útil de n años. Al determinar el periodo de retorno, se debe de considerar la relación entre la probabilidad de excedencia del evento, la vida útil y el riesgo de falla admisible, analizando factores sociales, técnicos y económicos. El riesgo de falla admisible en función del período de retorno y vida útil de una obra estará determinado por:

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

Figura N° 02: Vida útil vs Periodo de retorno.



Fuente: MTC

En la siguiente tabla presentamos los valores T para diversos riesgos permisibles R, según la vida útil de la obra.

Tabla N° 01: Valores de Periodo de Retorno y vida útil

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

Fuente: MTC, "Manual de Hidráulica y Drenaje"; Pág. 24

2.2.3. Análisis estadístico de datos hidrológicos

De acuerdo al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012). El análisis de frecuencias permite estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, considerando diferentes períodos de retorno, a través de la aplicación de modelos probabilísticos, discretos o continuos. La estadística nos permite utilizar diversas funciones de distribución de las probabilidades de forma teórica, por lo que recomienda utilizar las siguientes funciones.

2.2.3.1. Distribución Gumbel tipo I

La distribución de Valores Tipo I conocida como Distribución Gumbel o Doble Exponencial, permite realizar la distribución de las probabilidades, utilizando la siguiente fórmula:

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

Y aplicando la metodología de momentos tendremos las siguientes relaciones:

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma}$$
$$\beta = \mu - 0.45\sigma$$

Dónde:

α = Parámetro de concentración.

β = Parámetro de localización.

De acuerdo a Ven Te Chow, la distribución puede expresarse como:

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

Dónde:

x = Valor con una probabilidad dada

\bar{X} = media de la serie.

k = factor de frecuencia.

Para calcular la intensidad de diseño para cualquier periodo de retorno tendremos:

$$\Psi = y - \frac{sy}{Gn} \left\{ \bar{y}_n - \ln. \ln \left(\frac{Tm}{Tm - 1} \right) \right\}$$

Dónde:

Ψ = Precipitación de diseño

Tm = Periodo de retorno (años)

Gn = Desviación estándar

Yn = Media en función del tamaño de muestra

2.2.4. Coeficiente de rugosidad

López (2010). Señala que la rugosidad en un canal no permanece constante con el tiempo, así mismo el tirante con el tirante de flujo, debido al desgaste de la superficies y acumulación de cuerpos extraños.

Tabla N° 02: Coeficientes de rugosidad según materiales

TIPOS DE MATERIAL	RUGOSIDAD (n)
Tierra: alineada y uniforme	0.025
Roca: lisos y uniformes	0.033
Dragados: con saliente	0.040
Roca: con salientes	0.028
Tierra con taludes ásperos	0.030
Mampostería con piedra labrada	0.018
Mampostería con piedra de cantera	0.017
Hormigón y concreto	0.016

Fuente: Ricardo Alfredo López, diseño de acueductos y alcantarillados, pág. 281

Para obtener un valor constante y razonable durante la vida útil de los canales, requerirá constante mantenimiento, por ello los valores promedios del coeficiente de rugosidad, se aplican a canales conservados.

Por su parte Chow (1982), propone valores de coeficiente de rugosidad en canales de tierra con valores entre 0.025 a 0.030, y en canales revestidos de concreto 0.015, asimismo nos presenta la siguiente tabla:

Tabla N° 03: Coeficientes de rugosidad en diferentes tipos de canales

TIPO DE CANAL Y DESCRIPCIÓN	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO
A) Conductos cerrados fluyendo parcialmente llenos.			
1) Cemento	0.010	0.011	0.013
a) Pulido de superficie.	0.011	0.013	0.015
b) Mortero.	0.010		
2) Concreto	0.011	0.011	0.013
a) Alcantarilla, recta y libre de desperdicios.	0.011	0.013	0.014
b) Alcantarilla con codos, conexión y algunos desperdicios.	0.013	0.012	0.014
c) Terminado.	0.012	0.015	0.017
d) Cloaca con válvulas, entradas, etc. recto.	0.012	0.013	0.014
e) Sin terminar, con encofrado metálico.	0.015	0.014	0.016
f) Sin terminar, con encofrado pulido de madera.		0.017	0.020
g) Sin terminar, con encofrado común de madera.	0.021		
		0.025	0.030
B) Canales revestidos o fabricados.	0.010		
1) Metal corrugado.	0.011	0.011	0.013
2) Cemento	0.011	0.013	0.015
a) Limpio en la superficie.	0.013		
b) Mortero.	0.015	0.013	0.015
	0.014	0.015	0.016
3) Concreto.	0.016	0.017	0.020
a) Terminado con cuchara	0.018	0.017	0.020
b) Terminado con lechada	0.017	0.019	0.023
c) Terminado con grava en el fondo.	0.022	0.022	0.025
d) Sin terminar.	0.015	0.020	
e) Gunita en sección correcta.	0.017	0.027	
f) Gunita en sección ondulada.	0.016		
g) Sobre roca excavada pareja.	0.020	0.017	0.020
h) Sobre roca excavada irregular.	0.017	0.020	0.024
	0.020	0.020	0.024
4) Fondo de concreto terminado con lechada con los costados de:	0.023	0.025	0.030
a) Piedra acomodada en mortero.			
b) Piedra volcada en mortero.			
c) Mampostería de piedra de partida cementada ay revocada.			
d) Mampostería de piedra partida cementada.		0.020	0.025
		0.023	0.026
5) Fondo de grava con costado de:		0.033	0.036
a) Hormigón encofrado.			
b) Piedra volcada en mortero			
c) Piedra partida suelta.			

Fuente: Ven Té Chow. *Hidráulica de canales abiertos*

2.2.5. Escorrentía superficial

Villón, señala que es aquel que proviene de la precipitación no infiltrada y que escurre sobre la superficie del suelo. Este efecto sobre el escurrimiento total es instantáneo y se mantendrá durante la tormenta, y cuando esta termine. Esta parte de la precipitación total que genera el escurrimiento se conoce como exceso de precipitación.

2.2.5.1. Coeficiente de escorrentía

Sandoval, señala que, del total de precipitaciones, solo una parte llega al alcantarillado, una fracción se pierde por evaporación, intercepción vegetal, zanjas o depresiones, infiltración y detención superficial por cunetas, lo cual es la función que cumple el terreno para impermeabilizar, por ello se denomina coeficiente de impermeabilidad. La determinación absoluta de este coeficiente es bastante compleja de determinar, por existir valores que varían con el tiempo, podemos expresarla como:

$$C = \frac{\text{Precipitación}}{\text{Escorrentía}} < 1$$

Donde:

C=factores que permiten a la hidrología determinar la escorrentía superficial de una determinada precipitación. Para su evaluación se sugiere el uso de diversas tablas según el método a utilizar.

Tabla N° 04: Valores de Coeficientes de escorrentía según método racional

TIPO DE AREA DRENADA	COEFICIENTE "C"
Áreas Comerciales	
Céntricas	0.7 – 0.95
Vecindarios	0.5 – 0.7
Áreas Residenciales	
Familiares Simples	0.30 – 0.50
Multifamiliares Separadas	0.40 – 0.60
Multifamiliares Concentrados	0.60 – 0.75
Semi-Urbanos	0.25 – 0.40
Casas DE Habitación	0.50 – 0.70
Áreas Industriales	
Densas	0.60 – 0.90
Espaciadas	0.50 – 0.80
Parques, Cementerios	0.10 – 0.25
Campos de Juego	0.10 – 0.35
Patios de Ferrocarril	0.20 – 0.40
Zonas Suburbanas	0.10 – 0.30
Calles	
Asfaltadas	0.70 – 0.95
De Concreto Hidráulico	0.80 – 0.95
Adoquinadas	0.70 – 0.85
Estacionamientos	0.75 – 0.85
Techados.	0.75 – 0.95

Fuente: Villón Béjar, Máximo. "Hidrología", pág.258.

Tabla N° 05: Valores del coeficiente de escorrentía según método Mac Math.

VEGETACION Cobertura 100%	C1	SUELO Textura	TOPOGRAFIA C2 Pendiente %	C3
100	0.80	Arenosa	0.08 0.0 - 0.20	0.04
80 - 100	0.12	Ligera	0.12 0.20 - 0.50	0.06
50 - 80	0.16	Media	0.16 0.50 - 2.00	0.06
20 - 50	0.22	Fina	0.22 2.00 - 5.00	0.10
0 - 20	0.30	Pesada	0.30 5.00 - 10.00	0.15

Fuente: Morales Uchofen, Walter, "Drenaje Vial", ciclo de actualización UNSM/2000-IFC-Tarapoto-Peru.

La Norma Técnica O.S. 060 Drenaje Pluvial Urbano (2006), menciona que la selección del valor del coeficiente de escorrentía deberá sustentarse en considerar los efectos de las características de superficie, tipo de área

urbana, intensidad de lluvias (según tiempo de retorno), pendiente, condición futura según horizonte de vida de proyecto. Además, el proyectista podría considerar otros efectos, como: Proximidades de niveles freáticos, porosidad de suelos, almacenamiento en depresiones, y otros. También se puede considerar condiciones heterogéneas según tipos de cubierta (techos, pavimentos, áreas verdes, etc.), determinado como promedio ponderado, considerando el factor de ponderación a la fracción de cada tipo de área.

Tabla N° 06: Valores del coeficiente de escorrentía en condiciones heterogéneas.

CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)						
	2	5	10	25	50	100	500
AREAS URBANAS							
Asfalto	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto / Techos	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc)							
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)							
Plano 0 - 2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio 2 - 7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente Superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición promedio (cubierta de pasto menor del 50% al 75% del área)							
Plano 0 - 2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio 2 - 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente Superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)							
Plano 0 - 2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio 2 - 7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente Superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
AREAS NO DESARROLLADAS							
Área de Cultivos							
Plano 0 - 2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio 2 - 7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente Superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano 0 - 2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio 2 - 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente Superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano 0 - 2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio 2 - 7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente Superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Fuente: La Norma Técnica O.S. 060 Drenaje Pluvial Urbano

Tabla N° 07: Coeficiente de escorrentía promedio para áreas urbanas (5-10 años P.R).

Características de la superficie	Coeficiente de Escorrentía
Calles	
Pavimento Asfáltico	0,70 a 0,95
Pavimento de concreto	0,80 a 0,95
Pavimento de Adoquines	0,70 a 0,85
Veredas	0,70 a 0,85
Techos y Azotcas	0,75 a 0,95
Césped, suelo arenoso	
Plano (0 - 2%) Pendiente	0,05 a 0,10
Promedio (2 - 7%) Pendiente	0,10 a 0,15
Pronunciado (>7%) Pendiente	0,15 a 0,20
Césped, suelo arcilloso	
Plano (0 - 2%) Pendiente	0,13 a 0,17
Promedio (2 - 7%) Pendiente	0,18 a 0,22
Pronunciado (>7%) Pendiente	0,25 a 0,35
Praderas	0,20

Fuente: La Norma Técnica O.S. 060 Drenaje Pluvial Urbano

Tabla N° 08: Coeficiente de escorrentía áreas no desarrolladas en función del tipo de suelo.

Topografía y Vegetación	Tipo de Suelo		
	Tierra Arenosa	Limo arcilloso	Arcilla Pesada
Bosques			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.25	0.35	0.50
Pronunciado	0.30	0.50	0.60
Pradera			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.16	0.36	0.55
Pronunciado	0.22	0.42	0.60
Terrenos de Cultivo			
Plano	0.30	0.50	0.60
Ondulado	0.40	0.60	0.70
Pronunciado	0.52	0.72	0.82

Fuente: La Norma Técnica O.S. 060 Drenaje Pluvial Urbano

Por su parte Heras (2001), señala que el coeficiente de escorrentía se elegirá en función características fisiográficas del terreno, en el área tributaria, considerándolo como complejo, debido a las variaciones por transformaciones, generadas por área construida, asfaltado de vías, y la deforestación.

Así mismo Gálvez (2004), señala que la escorrentía es un porcentaje del total registrado, debido a que no todo el volumen drenara por una alcantarilla natural o artificial. También se ve afectado por la evaporación, detención, etc. Por lo que el coeficiente de escorrentía será mayor cuando más impermeable sea la superficie. Esto se debe a la evaporación,

infiltración, detención en oquedades del suelo, etc. Por lo que existirá diferente coeficiente para cada tipo de terreno, el cual será mayor cuando más impermeable sea la superficie.

2.2.6. Cunetas

Sandoval (2014), señala que son estructuras para drenaje pluvial paralelas a caminos y viviendas, en carreteras y zonas urbanas, necesarios en lugares de laderas, pie de talud de corte, zonas de abundantes lluvias, donde es necesario evacuar estas aguas de las zonas de vías.

Es necesario revestir las cunetas cuando los suelos sean deleznable, y las rasantes sean mayores o iguales a 4%, o buscar reducir la rugosidad, mejorando el escurrimiento del agua. Por lo general descargarán a una alcantarilla o aliviadero, según la longitud de las cunetas, dimensiones y caudales máximos de cada tramo. Las pendientes de las cunetas no siempre son paralelas a las pendientes del camino, y se conoce que el agua no fluye con pendientes longitudinales menores de 0.5%, por lo que las cunetas consideran gradientes mayores o iguales a esta. El dimensionamiento de las cunetas, se determinan según las consideraciones pluviométricas y diseño hidráulico respectivamente. Además, requiere consideraciones ambientales para el diseño como: mantener limpias y protegidas de la erosión, un revestimiento que contribuya a que el agua no regrese, o genere deterioros, se debe limitar las pendientes de las cunetas en 2% a 5 %, y reducir la velocidad, de ser necesario con diques de contención o revestimientos, si las cunetas no son adecuadas según la capacidad actual, se debe de agregar desfogueos intermedios.

2.2.7. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)

El CONAMA (2018) define a los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) son técnicas de gestión de aguas pluviales y planeamiento urbano que persiguen reproducir y/o restituir los procesos hidrológicos previos al desarrollo urbanístico (infiltración, filtración, almacenamiento, laminación, evapotranspiración), integrando estratégicamente elementos de control de escorrentía en el paisaje urbano. Estos sistemas intentan simular el comportamiento de las cuencas en su estado natural, para mejorar el manejo del recurso hídrico, proteger frente a inundaciones, sequías, mitigar el cambio climático, menor consumo de energía, menores volumen de carga en plantas de tratamiento de aguas residuales, conservación de biodiversidad, restauración ecológica y ampliación de áreas verdes.

Por lo tanto, forman parte de infraestructura urbana verdes compatibles con los sistemas convencionales de drenaje pluvial urbano, permiten disminuir las escorrentías, reducen arrastre de sólidos, minimizar aguas vertidas, facilitando un mejor manejo sin la necesidad de tratamientos complejos, adaptado a la sostenibilidad en los tres pilares, de economía, medio ambiente y sociedad.

Se pueden identificar diversas infraestructuras como cubiertas vegetales, aljibes, alcorques de infiltración, pavimentos permeables, pozos, zanjas y depósitos de infiltración, parterres inundables, drenes filtrantes, cunetas vegetadas, franjas filtrantes, filtros de arena, balsas de detención o infiltración, así como estanques y humedales artificiales.

Cubiertas vegetadas (Green-roofs):

Las cubiertas vegetadas, o techos verdes son sistemas multicapa con cubierta vegetal que recubren tejados y terrazas de todo tipo. Están planteadas para interceptar y retener las aguas pluviales, disminuyendo el volumen de escorrentía y atenuando el caudal pico. Además, retienen contaminantes, actúan como capa de aislante térmico en el edificio y ayudan a compensar el efecto “isla de calor” que se produce en las ciudades. Hay 3 tipos de cubiertas vegetadas:

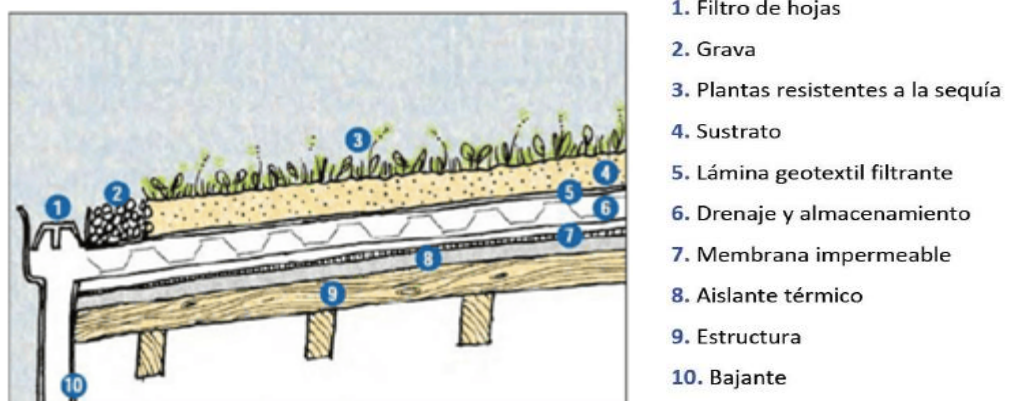
- Extensivas: si la vegetación es baja y ocupa la totalidad de la superficie. Ligeramente necesitan mantenimiento y simplemente se puede acceder a la cubierta para realizar estos trabajos.
- Intensivas: son semejantes a un jardín convencional (pueden estar equipadas con bancos, iluminación...) crean una carga mayor para la estructura. Son más costosos que las anteriores
- Intensivas simples: la vegetación tendrá que ser de cualquier planta tapizante (césped...) y son muy ligeras.

Estos sistemas de drenaje no solo disminuyen los volúmenes de escorrentía, sino que también logran una notable reducción de los sólidos en suspensión y una eliminación moderada de metales pesados que son arrastrados hacia la red de drenaje. Además, su valor ecológico es considerable, dado el oxígeno generado por la vegetación. La implementación de estos sistemas puede incrementar el costo de la construcción, en particular en la parte estructural (sobre todo si se trata de cubiertas intensivas). También es relevante el costo de mantenimiento de

la cubierta vegetal, por lo que es esencial seleccionar cuidadosamente su tipología y diseño. En lo que respecta a este último, los factores más importantes a tener en cuenta son:

- El peso saturado del conjunto suelo-agua y la capacidad resistente de la estructura del edificio.
- Las cargas variables derivadas del mantenimiento.
- La resistencia de la membrana impermeable a la penetración de las raíces.
- Considerar la gestión del drenaje en la cubierta.
- Asegurarse de la idoneidad para ciertas plantas.

Figura N° 03: Esquema de una cubierta vegetada.



Fuente: SFPUC, (2010). Stormwater Design Guidelines.

Figura N° 04: Cubierta vegetada. En Warsaw University Library, Polonia



Fuente: www.flickr.com/photos/habitatsustainable

Superficies Permeables (Porous / Permeable Paving)

Los pavimentos permeables son superficies diseñadas para soportar el tránsito de peatones y vehículos, al mismo tiempo que facilitan la filtración vertical del agua. Esto permite que el agua se infiltre en el suelo, contribuyendo a la recarga de acuíferos, o que sea almacenada en capas subterráneas para su reutilización o evacuación posterior.

Las superficies permeables, además de reducir el caudal pico de la escorrentía al aumentar la infiltración y la porosidad del suelo, también contribuyen a mejorar la calidad del agua. Esto se debe a su capacidad para eliminar contaminantes como aceites, grasas, metales y sólidos en suspensión que el agua de lluvia arrastra desde las superficies pavimentadas.

La reducción de la escorrentía generada por estos sistemas mejorará la seguridad vial en condiciones de lluvia, al evitar la formación de charcos que comprometen la adherencia de los neumáticos al pavimento. Esto contribuye a una mayor estabilidad y control de los vehículos durante episodios de precipitación.

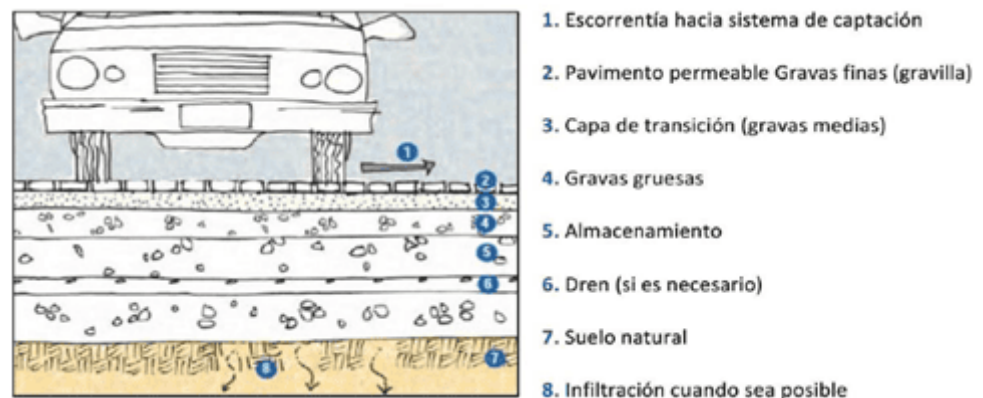
Actualmente, se recomienda evitar el uso de pavimentos permeables en áreas propensas a heladas, ya que estas podrían causar agrietamientos en los sistemas. También se desaconseja su aplicación en superficies con alta carga de tráfico. Sin embargo, se están llevando a cabo investigaciones para permitir su utilización en diversos tipos de firmes en el futuro, aunque la principal limitación radica en la capacidad estructural del suelo saturado.

Pueden ser pavimentos continuos (hormigón o asfalto) o discontinuos mediante elementos modulares, y pueden ser utilizados en una gran variedad de espacios, como carreteras, aparcamientos, aceras, parques, terrazas, patios interiores.

Se pueden identificar diferentes tipos de pavimentos permeables, tales como césped o gravas (con o sin refuerzo), bloques impermeables con juntas permeables, y baldosas y bloques porosos. También se incluyen pavimentos continuos porosos fabricados de materiales como asfalto, hormigón y resinas. Las capas inferiores de estos sistemas deben asegurar la infiltración del agua o, alternativamente, acumularla y retenerla para su evacuación gradual.

Para ser capaces de gestionar adecuadamente los episodios extraordinarios de precipitación que superan el periodo de retorno para el que han sido diseñados, es necesario que se disponga de un aliviadero perimetral que sea capaz de disipar el flujo de agua excedente, y conducirlo hacia el sistema de drenaje convencional, o hacia otro SUDS.

Figura N° 05: esquema de un pavimento permeable.



Fuente: SFPUC, (2010). Stormwater Design Guidelines.

Figura N° 06: Pavimento permeable en el Estadio del Atlético del Madrid.



Fuente: Ayto. de Madrid. Fuente: CONAMA 2018

Figura N° 07: Pavimento permeable en Hunter Avenue, Kent UK.



Fuente: Ciria 2015.

Zonas de biorretención / Jardines de lluvia

Son sistemas que permiten un tratamiento de la escorrentía a través de la vegetación y suelos preparados o autóctonos. Cuando no cuentan con un suelo diseñado específicamente, se les conoce como jardines de lluvia. En estos sistemas se llevan a cabo procesos como la interceptación de la lluvia, la evapotranspiración, la infiltración y la eliminación de contaminantes. Reduciéndose de esta manera el volumen de la escorrentía y su contaminación.

Estos dispositivos pueden instalarse en una amplia gama de entornos urbanos debido a la flexibilidad de su diseño y construcción. Son

particularmente efectivos para la eliminación de sólidos en suspensión y aportan un significativo valor estético y ecológico.

En el ámbito hidrológico, los jardines de lluvia disminuyen la escorrentía en las áreas donde se instalan, gracias a procesos como la infiltración, evapotranspiración y el aumento del coeficiente de rugosidad de la superficie (número de Manning). Estos sistemas pueden integrarse con pozos de infiltración, lo que incrementa su eficacia en la reducción de la escorrentía.

Figura N° 08: Jardín de lluvia.



Fuente: drenajurbanosostenible.org

Franjas Filtrantes (Filter Strips)

Se trata de superficies vegetadas con una ligera pendiente que genera un flujo lento de la escorrentía superficial. Estas áreas son capaces de tratar el agua mediante procesos físicos, químicos y biológicos, actuando como un filtro natural gracias a la cobertura vegetal, que puede variar desde césped hasta arbustos. Además de tratar la escorrentía a través del filtrado por la vegetación, también disminuyen la velocidad del agua, lo que favorece tanto la sedimentación de contaminantes como la infiltración. Sin

embargo, debido a su tamaño, no son adecuadas para áreas con espacio limitado, como zonas urbanas densamente desarrolladas o terrenos con fuertes pendientes. Su uso principal es en los márgenes o medianas de carreteras que cuentan con suficiente espacio, ya sea como sistemas independientes o como parte de otros SUDS, actuando como pretratamiento. Entre sus ventajas destacan la alta efectividad en la eliminación de sólidos en suspensión y su fácil integración en áreas impermeables, además de su construcción simple, promoción de la evapotranspiración y la infiltración, y su considerable valor ecológico.

Figura N° 09: Franja filtrante.



Fuente: jsancheztapetillo.wordpress.com

Pozos de Infiltración (Soakaways & Infiltration Trenches)

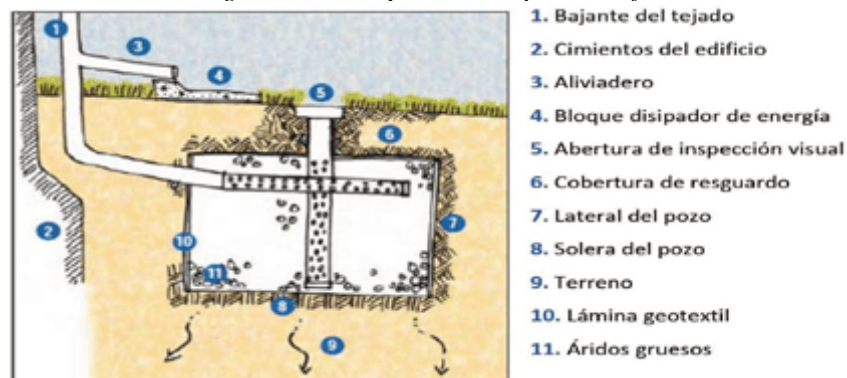
Son pozos de poca profundidad (entre 1 y 3 metros) llenos de material drenante, ya sea granular o sintético, que reciben la escorrentía de superficies impermeables adyacentes. Estos sistemas se diseñan como estructuras de infiltración capaces de absorber por completo la escorrentía generada durante la tormenta para la cual fueron concebidos, infiltrando el agua hacia el subsuelo. Su único efluente es la infiltración al subsuelo, por lo que para garantizar su correcto funcionamiento es crucial que este tenga una alta permeabilidad y sea estable incluso cuando está saturado. De lo

contrario, la estabilidad estructural de las cimentaciones cercanas al pozo podría verse comprometida durante episodios de lluvia. Los pozos de infiltración son estructuras simples, fáciles de construir y de bajo costo de mantenimiento, que además contribuyen a la recarga de acuíferos al infiltrar grandes volúmenes de agua en comparación con el espacio que ocupan, ya que requieren muy poco terreno. No obstante, siempre que las características del subsuelo sean adecuadas, estos sistemas reducirán significativamente tanto el caudal como la contaminación de la escorrentía.

Estos sistemas tienen una gran efectividad en la eliminación de nutrientes, sedimentos, materia orgánica, trazas de metales... mejorando la hidrología urbana y la recarga de acuíferos.

Debido a su sencilla construcción, bajo costo de mantenimiento y el poco espacio que requieren, se recomienda el uso de estos sistemas en áreas con limitaciones de espacio, como las zonas urbanas, siempre que el suelo cumpla con los requisitos necesarios de estabilidad y permeabilidad.

Figura N° 10: Esquema de un pozo de infiltración.



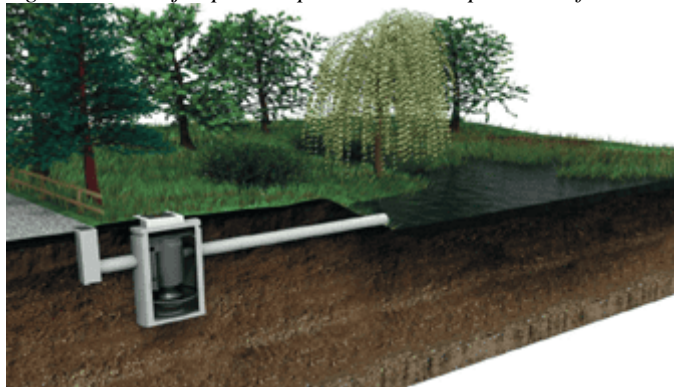
Fuente: SFPUC, (2010). *Stormwater Design Guidelines*.

Figura N° 11: Pozos de infiltración.



Fuente: concretepipes.co.uk/page/sustainable-urban-drainage-systems

Figura N° 12: Ejemplo de aplicación de un pozo de infiltración.



Fuente: buildingconstructiondesign.co.uk

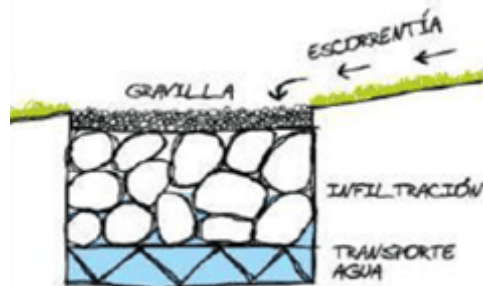
Drenes Filtrantes o franceses (Filter Drains)

Se trata de zanjas poco profundas llenas de material filtrante, ya sea granular o sintético, que pueden incluir o no un conducto en la parte inferior para el transporte. Su diseño está destinado a captar y filtrar la escorrentía de superficies impermeables adyacentes, con el objetivo de dirigirla hacia aguas abajo. Además, también reducen la contaminación, especialmente los sólidos en suspensión y los metales pesados. Su mayor aplicación es en el drenaje de las carreteras, situándose a lo largo del borde de éstas. Son especialmente indicadas en terrenos de baja permeabilidad o donde la infiltración del agua al terreno pueda poner en peligro la estabilidad de las estructuras cercanas, ya que las zanjas conducen la

escorrentía aguas abajo. Otra de las funciones de las zanjas será ralentizar el flujo del agua, de forma que disminuya la punta de caudal.

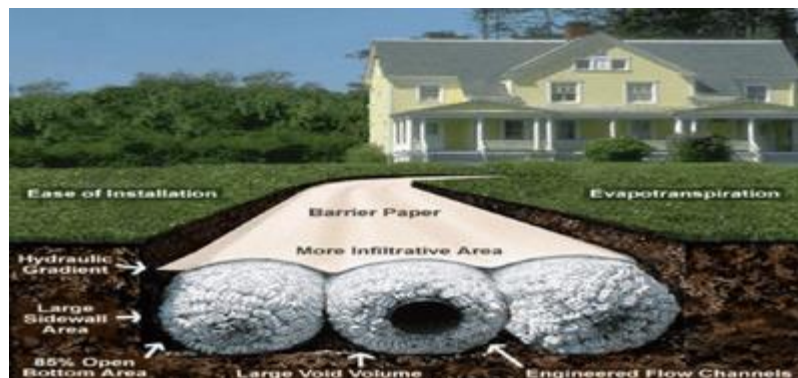
Estas zanjas pueden incluir un tubo-dren en la parte inferior, lo que facilitará el transporte del agua.

Figura N° 13: Esquema de un dren filtrante



Fuente: ovacen.com

Figura N° 14: Ejemplo de aplicación de drenes franceses.



Fuente: bulldawgyards.com

Cunetas Verdes o Vegetadas (Swales)

Estructuras lineales vegetadas, generalmente de forma trapezoidal, con una base amplia ($> 0,5$ m) y un talud suave ($< 1V:3H$), que están diseñadas para almacenar y transportar superficialmente la escorrentía generada por las áreas impermeables adyacentes. Deben generar bajas velocidades ($< 1-2$ m/s) que permitan la sedimentación de las partículas en suspensión para una eliminación eficaz de contaminantes, para ello, deberán estar

densamente vegetadas. Adicionalmente pueden permitir la infiltración a capas inferiores.

Las soluciones no solo disminuyen el volumen de escorrentía, sino que también contribuyen a mejorar la calidad del agua, al capturar partículas suspendidas y metales pesados, ralentizando el flujo. Asimismo, promueven la biodiversidad en áreas urbanas y favorecen la calidad del aire gracias a la vegetación presente.

Figura N° 15: Cuneta verde.



Fuente: www.ecologyconsultancy.co.uk

Depósitos de Infiltración (Infiltration Basins):

Se trata de depresiones en el terreno revestidas de vegetación, diseñadas para captar, almacenar e infiltrar gradualmente la escorrentía proveniente de superficies adyacentes. Este proceso convierte el flujo superficial en subterráneo, lo que también facilita la eliminación de contaminantes a través de filtración, adsorción y transformaciones biológicas. Son altamente efectivas para eliminar sólidos en suspensión y metales pesados. Estos depósitos disminuyen la escorrentía superficial al permitir la infiltración en el suelo, por lo que es esencial que esté presente una adecuada permeabilidad. Esta infiltración facilita su uso para la recarga de

acuíferos, siempre que la escorrentía no provenga de áreas contaminadas, como zonas industriales, para evitar riesgos de contaminación. Aunque el suelo sea permeable, la infiltración ocurre a una velocidad muy baja (aproximadamente centímetros por hora), lo que implica que se requiere una superficie extensa para infiltrar un volumen significativo de agua.

Figura N° 16: Depósito de infiltración.



Fuente: www.mortonroberts.com

Depósitos de Detención (Detention Basins)

Depósitos diseñados para almacenar temporalmente los volúmenes de escorrentía generados aguas arriba. Facilitan la sedimentación, lo que contribuye a la reducción de la contaminación. Pueden ubicarse en "zonas muertas" o combinarse con otros usos, como recreativos, en parques e instalaciones deportivas. Generalmente, estos sistemas, una vez concluido el episodio de lluvia, liberan de manera gradual el volumen de agua almacenado hacia la red. Estos depósitos pueden ser:

- En Superficie: Son similares a los depósitos de infiltración, pero con más profundidad, ya que en los de detención, la reducción del caudal se producirá por el almacenamiento de la escorrentía sobre la superficie, en lugar de por su infiltración al subsuelo.

- Enterrados: Cuando no se dispone de terrenos en superficie, o en los casos en que las condiciones del entorno no recomiendan una infraestructura a cielo abierto, estos depósitos se construyen en el subsuelo. Se elabora utilizando diversos tipos de materiales, entre los cuales los más habituales son los plásticos y el concreto reforzado.

Figura N° 17: Depósito de detención en superficie.



Fuente: ovacen.com

Figura N° 18: Depósito de detención en superficie



Fuente: www.meadfleet.co.uk

Figura N° 19: Depósito de detención enterrado.



Fuente: ovacen.com

Estanques de Retención (Retention Ponds):

Lagunas artificiales con lámina permanente de agua (de profundidad entre 1,2 y 2 m) con vegetación acuática, tanto emergente como sumergida. Están concebidas para asegurar períodos prolongados de retención de la escorrentía, que pueden durar entre 2 y 3 semanas, favoreciendo la sedimentación y la absorción de nutrientes por la vegetación. Se diseñan para que tengan una masa de agua permanente, y el fondo es impermeable, pero, además, contienen un volumen de almacenamiento adicional para la laminación de los caudales punta.

Estos estanques reducen considerablemente el volumen de escorrentía y son muy efectivos en la eliminación de sólidos en suspensión y metales pesados, pero requieren de mucho espacio. Los principales inconvenientes de los estanques de retención con agua estancada incluyen la posible necesidad de añadir agua durante las estaciones secas, la aparición de condiciones anaerobias y las molestias ocasionadas por malos olores e insectos, especialmente mosquitos.

Figura N° 20: Estanque de retención



Fuente: ovacen.com

Parque inundable:

Los parques inundables son extensas áreas que funcionan como parques convencionales la mayor parte del año, pero que durante episodios de lluvia se transforman en grandes depósitos para almacenar la escorrentía generada en zonas aguas arriba.

Para ello, deberán estar a cota inferior que las superficies de las que reciba la escorrentía, y estar correctamente conectado a su red de drenaje en el caso de que de esta también reciba caudal.

Para evitar la cría de mosquitos y los malos olores se deberá evitar el estancamiento del agua mediante el vaciado-llenado de esta, o con una recirculación constante.

Figura N° 21: Parque inundable La Marjal, en Playa de San Juan (Alicante).



Fuente: www.laverdad.es

Humedales (Wetlands):

Similares a los sistemas anteriores, pero con menor profundidad y una mayor densidad de vegetación emergente, estos dispositivos ofrecen un alto valor ecológico, estético, educativo y recreativo. En ellos, los contaminantes se eliminan mediante procesos biológicos, absorción por parte de las plantas, sedimentación y adsorción. No obstante, comparten los inconvenientes de los estanques de retención, como la acumulación de agua estancada. Sin embargo, este problema puede abordarse mediante el control biológico de mosquitos, utilizando peces que se alimentan de larvas o instalando nidos para aves como golondrinas o murciélagos, que se alimentan de estos insectos.

Figura N° 22: Humedal.



Fuente: salixrw.com

Aljibes

Los aljibes son depósitos que permiten captar y almacenar escorrentía para un uso posterior. En general, los aljibes se ubican en el exterior de los edificios y almacenan el agua de las cubiertas u otras superficies altas a través de bajantes; sin embargo, estos también se pueden ubicar dentro de los propios edificios o ser subterráneos. En todo caso, en función de su uso, se debe asegurar la calidad del agua almacenada con una serie de

tratamientos previos como son filtros de retención de gruesos, sistemas de protección anti-insectos y/o sistemas de decantación en el propio depósito, en caso de que no se pueda evitar la entrada de sedimentos al sistema. Por regla general, el agua de lluvia almacenada en los aljibes será utilizada para usos de agua no potables como riego o aguas para recarga de inodoros. Otros usos, pueden necesitar de un sistema de tratamiento adicional. Los materiales más utilizados para la construcción de aljibes son el plástico, la fibra de vidrio y el metal galvanizado, aunque se pueden utilizar otros que aseguren ser herméticos y estériles.

El tamaño y el diseño del aljibe dependerá del área a drenar, de los patrones de lluvias locales y de la demanda de agua a cubrir. En su diseño, además, se debe asegurar un rebose seguro a la red de colectores o a una zona permeable. Los aljibes son buenas soluciones para incorporar en zonas ya edificadas o sin capacidad de infiltración donde se busque reducir el caudal pico y el volumen de escorrentía, obteniendo, además, un doble beneficio al poder reducir la demanda de agua potable del ámbito.

Figura N° 23: Aljibe Centro Social De Benaguasil (Valencia).



Fuente: https://lifenadapta.navarra.es/documents/2696321/0/Guia_SUDS/f354bb57-e84e-f26c-be13-c789df56ae33

Dentro de las ventajas más significativas de los sistemas urbanos de drenaje sostenible, es la diversidad de técnicas a emplear, las cuales

pueden adaptarse a cualquier situación, mostramos a continuación un cuadro de tipologías.

Tabla N° 09 Clasificación de las tipologías de los SUDS.

Grupo dentro del Drenaje Sostenible		Técnica de Drenaje Sostenible
Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)	Retención	1. Estanque de retención
		2. Almacenamiento subsuperficial
	Humedal	3. Humedal poco profundo
		4. Estanque de detención extendido
		5. Estanque/ Humedal
		6. Humedal con gravas sumergidas
		7. Humedal con Canal
	Infiltración	8. Zanjas de infiltración
		9. Estanques de Infiltración
		10. Pozos de Infiltración
	Filtración	11. Filtros de arena superficiales
		12. Filtros de arena subsuperficiales
		13. Filtros de arena perimetrales
		14. Biorretención
		15. Zanjas Filtrantes
	Detención	16. Estanque de Detención
	Canales Abiertos	17. Cuentas
		18. Cuentas Húmedas
		19. Cuntas Secas
	Control de Fuente	20. Green Roof
		21. Recolección de agua de Precipitación
		22. Pavimento Permeable

Fuente: López Ayala, Luz Adriana. *Disipación de calor por medio de sistemas geotérmicos y recuperación de aguas lluvias, a través de pavimentos poroso. Colombia – 2019.*

2.2.8. Precipitación máxima en 24 horas.

Para obtener un registro histórico de precipitaciones diarias, se debe elaborar con información de estaciones pluviométricas y de los satélites. Para estos fines Senamhi utiliza PISCO (Peruvian Interpolated data of the Senamhi's Climatological and hydrological Observations) es decir datos interpolados de las observaciones climatológicas e hidrológicas. En el Perú que es un país con escasa información de registros de estaciones

pluviométricas, por factores como la agreste geografía e inaccesibilidad, y la poca inversión en prevención de desastres. Estas alternativas son bastante útiles para la ingeniería. También se ha desarrollado la Plataforma Hidrológica de Información Sistematizada e Integrada del SENAMHI (PHISIS), que permite incrementar con eficiencia la información con datos confiables y oportunos. En su diseño considera tres componentes propuestos por Almarabeh et al. (2009), la teoría de cadena de valor del conocimiento, los datos o información y conocimiento. Por tanto, generar conocimiento y no solo información es lo más importante, para una entidad. (Ching & Yang, 2000).

Para poder entonces determinar las precipitaciones se utiliza las herramientas desarrolladas por Senamhi, una de ellas es la Herramienta web para el desarrollo de curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) de precipitación en el ámbito peruano.

2.2.9. Herramienta web para el desarrollo de curvas (IDF) de precipitación en el ámbito peruano.

Esta herramienta considero en su elaboración un conjunto de datos utilizados en el análisis consiste en registros de precipitaciones máximas anuales históricas (PMAH) y precipitaciones horarias (PH), registradas mediante 442 estaciones meteorológicas convencionales y 286 estaciones automáticas, distribuidas por todo el país. Es conocido que algunas estaciones presentan brechas temporales debido a periodos no operativos; a tal efecto, se eligió aquellas estaciones con más de 15 años de información dentro del periodo (1969-2019) para PMAH y un periodo que

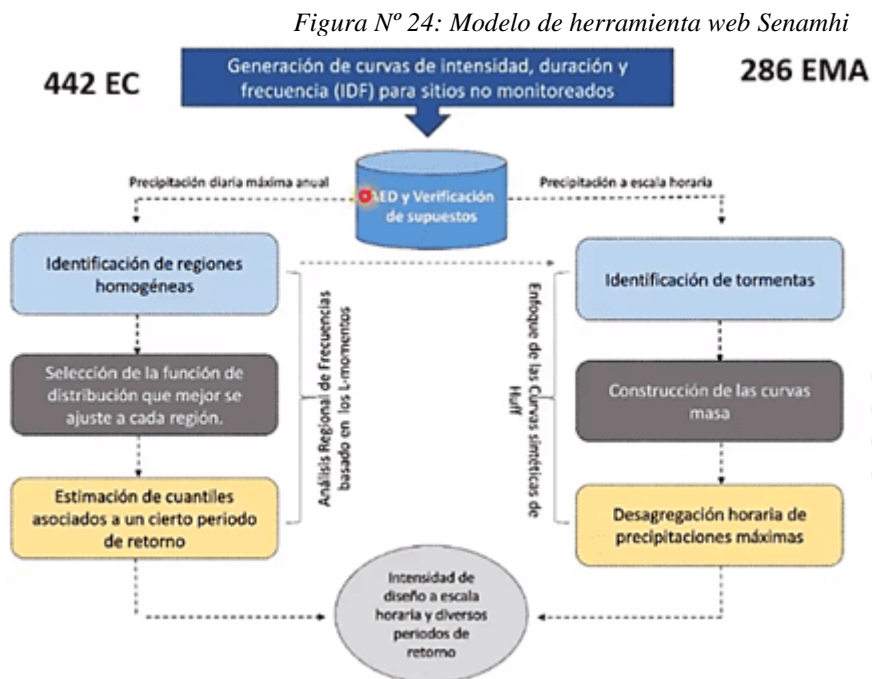
va desde el (2014-2019) para PH. En la fase previa se analizaron los datos en mención, mediante la detección de valores atípicos (outliers) y la verificación de supuestos para establecer la estacionariedad e independencia serial de los datos. Este enfoque consta de 2 submódulos, uno en base a un análisis de frecuencia regional de series de precipitación máxima anual histórica (PMAH) para la generación sintética de series largas de profundidades totales de lluvia de tormentas (datos agrupados con frecuencias similares), que permiten implementar distribuciones probabilísticas multiparamétricas, siendo necesario identificar regiones homogéneas, utilizando predictores físicos estandarizados, como altitud, latitud, longitud, precipitación media anual, tipo de tormenta e intensidad de precipitaciones. Por tanto, en un lugar específico i dentro de una región homogénea, se estiman cuantiles de profundidad de lluvias de T años en el tiempo t y el sitio i , con la siguiente expresión:

$$y_i(t, T) = \eta_i(t).y'(t, T)$$

Denominado también como índice de avenida, generalmente a la media o mediana muestral.

En zonas no monitoreadas, podemos estimar en base a mapas derivados interpolando espacialmente los valores locales disponibles. Podemos utilizar métodos como el análisis de conglomerados ampliamente aplicados al análisis regional de frecuencias. (Muñoz & Rodrigo, 2004), para la herramienta se aplicó el método de agrupamiento jerárquico de Ward, con las estadísticas de los L-momentos. Luego de identificar las

regiones homogéneas las series de PMAH de los sitios en cada región se pueden agrupar y estandarizar con respecto a los valores de índice correspondientes. Posteriormente estos datos se utilizan para ajustar los parámetros a diferentes distribuciones de probabilidad. (Hosking, J; Wallis, 1997). La aplicación de métodos de bondad de ajuste permite seleccionar la distribución de probabilidad más adecuada para los datos disponibles. Finalmente, se puede derivar la correspondiente curva de crecimiento regional ($y'(t, T)$) como la función de distribución acumulativa inversa.



Fuente: Senamhi

El segundo submódulo, consiste en un método simple para definir el patrón temporal de cada evento de lluvia simulado para cada lugar. La idea es utilizar un hietograma sintético de un patrón fijo de distribución temporal de las intensidades de lluvia dentro de periodo. Entonces, usamos

representaciones probabilísticas de las profundidades acumuladas de las tormentas para las correspondientes duraciones acumuladas de tormentas expresadas en forma adimensional, es decir la de curva de masa desarrollado por (Huff, 1967).

$$H(d) = \frac{1}{V} \int_0^d h(s) ds \quad d \in [0, 1]$$

Donde $H(s)$ es la intensidad de la lluvia en el tiempo s , d es una fracción de la duración total de la lluvia t y V es la profundidad total de la lluvia, lo que simplifica el análisis de datos.

Antes de caracterizar y desarrollar distribuciones de frecuencia de los datos de duración y profundidad de las tormentas, las tormentas deben identificarse y separarse dentro de los datos de lluvia para formar la base de datos subyacente para desarrollar un modelo conceptual y matemático de las intensidades dentro de la tormenta. En este caso se ha considerado eventos iguales a 1 hora.

Por consiguiente, la variabilidad de las precipitaciones dentro de un periodo lluvioso se puede expresar como: Actualización de las curvas IDF basadas en condiciones climáticas futuras. Este aplicativo ha considerado además el cambio climático, el calentamiento global, y las modificaciones del ciclo hidrológico y ecológico. Estos aspectos desencadenan en muchos casos en inundaciones severas, por ello se ha considerado en el método aplicado estos aspectos. La mayor parte de obras hidráulicas en el Perú se diseñó con basándose en el supuesto de que el clima histórico es un buen predictor futuro, pero actualmente sabemos que no será representativo de

condiciones futuras, por lo que se debe diseñar y modernizarse considerando el cambio climático y las condiciones cambiantes.

Por tanto, estos modelos climáticos globales (GCM) brindan comprensión del cambio climático en diferentes escenarios de emisiones futuras, también conocidas como vías de concentración representativas (RCP), y brindan una forma de actualizar las curvas IDF en un clima cambiante. Para la herramienta se ha considerado los diversos escenarios climáticos al 2050 en el Perú, elaborado por Senamhi en el marco del Proyecto Apoyo a la Gestión de Cambio Climático Fase II y financiado por el Fondo de Cooperación Suiza para el Desarrollo (COSUDE). La información se sustenta en la reducción de escala dinámica con el modelo regional Weather Research and Forecasting con núcleo dinámico Advanced Research WRF-ARW (Skamarock et al., 2008). Para WRF-ARW se utilizó la proyección geográfica Mercator, sobre Sudamérica (130° a 20° W y 70° S a 15° N) con resolución espacial horizontal 50 km y Perú (88° a 62° W y 23° S a 5°N) a 12 km. Se consideró 35 niveles verticales desde superficie hasta 5 hPa en la atmósfera. Las forzantes del modelo WRF-ARW para las simulaciones climáticas fueron los datos de los modelos climáticos globales (MCG) de la fase 5 del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP5), siendo los modelos ACCESS1-0 del Instituto Meteorológico de Australia (Bi et al., 2013) y el MPI-ESM-LR del Max Planck Instituto (Jungclaus et al., 2013), correspondientes a los periodos HISTORICAL (1981-2005) y futuro (2006-2065) tomando en cuenta el escenario de altas emisiones RCP8.5. Estos dos MCG tienen

buena representación de los patrones de circulación de gran escala sobre Sudamérica, como el Alta de Bolivia, el Anticiclón del Pacífico Sur y el núcleo de la Baja Amazónica; los cuales modulan el clima en el Perú (Barreto, C; Llacza, 2014). Se aplica la corrección de sesgos sistemáticos a las forzantes con la propuesta de (Brueyre, c; Done, j; Holland, G; Fredrick, 2014), utilizando el re análisis ERA Interim (Dee et al., 2011). El procesamiento de las simulaciones climáticas para el periodo 1981-2065 utilizando WRF-ARW se llevó a cabo en un “cluster” de alto rendimiento en el SENAMHI ejecutándose de manera independiente para cada forzante.

En el postproceso, la precipitación, temperatura máxima y mínima de 12 km de resolución espacial fueron corregidos mediante la técnica de Linear Scaling (Luo et al., 2018), utilizando datos del producto grillado PISCO (Aybar et al., 2017), llevándose a 10 km de resolución espacial horizontal. Estos datos fueron complementados con los del modelo WRF-ARW_HadGEM2-ES (SENAMHI, 2016), el cual fue llevado a la resolución espacial de 10 km desde su resolución original de 16 KM para finalmente obtener los escenarios climáticos para el Perú a 10km.

Para examinar las proyecciones futuras de las curvas IDF, se utilizó la precipitación diaria de los modelos de cambio climático ACCESS1-0, HadGEM2-ES y MPI-ESM-LR. Posteriormente, se seleccionaron dos periodos de cada modelo: el escenario histórico (1981-2004) y el escenario futuro (2035-2064) ambos bajo el RCP 8.5. enseguida, se obtuvo la

precipitación máxima diaria para cada año y se determinó la media de cada periodo.

A continuación, se estableció una relación simple entre el promedio del escenario futuro (PCP_{fut}) y el promedio del escenario histórico (PCP_{hist}), generando un valor multiplicativo conocido como parámetro “B”. Además, se aplicó un filtrado de los valores extremos, propios de divisiones entre precipitaciones menores a 0.1 mm, asignando a los valores superiores al percentil 0.995 el valor de este mismo, con el propósito de definir los escenarios futuros más desfavorables.

$$\frac{PCP_{fut}}{PCP_{hist}} = B$$

Adicionalmente, se obtuvo una ráster del parámetro B para cada modelo de cambio climático y se calculó una mediana de B para tener un valor de referencia de los 3 modelos CMIP5. Por último, el parámetro B fue multiplicado a los cuantiles de precipitación máxima en 24 horas y finalmente estos valores fueron sometidos a un proceso de desagregación.

2.2.10. Coeficientes de Escorrentía

Podemos definirlo como la relación entre el volumen de precipitación neta y la precipitación total, teóricamente varía entre valores entre 0 y 1. La finalidad de este coeficiente es representar el fenómeno físico del proceso de pérdidas, que se manifiestan en las vías de la cuenca, como en las depresiones, la evaporación, infiltración y otros. Depende del tipo y uso del suelo, topografías y de la lluvia de tormenta. (Gómez, 2007).

En nuestro Reglamento Nacional de Edificaciones se mencionan los valores de coeficiente de escorrentía para diferentes tipos de terreno, como se muestra a continuación:

Tabla N° 10: Coeficientes de escorrentía para aplicar el método Racional

Características de la Superficie	Periodo de retorno (años)						
Área Urbana	2	5	10	25	50	100	500
Asfalto	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/Techos	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (Jardines, parques, etc.)							
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)							
Plano 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición promedio (cubierta de pasto entre 50%-75% del área)							
Plano 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)							
Plano 0-2%	0.20	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas							
Áreas de cultivos							
Plano 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Fuente: Reglamento Nacional de edificaciones OS 060

Tabla N° 11: Coeficientes de escorrentía en áreas no desarrolladas

Topografía y vegetación	Tipo de Suelo		
	Tierra arenosa	Limo Arcilloso	Arcilla Pesada
Bosques			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.25	0.35	0.50
Pronunciado	0.30	0.50	0.60
Pradera			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.16	0.36	0.55
Pronunciado	0.22	0.42	0.60
Tierras de cultivo			
Plano	0.30	0.50	0.60
Ondulado	0.40	0.60	0.70
Pronunciado	0.52	0.72	0.82

Fuente: Reglamento Nacional de edificaciones OS 060

Detalles:

- Plano 0-5% pendiente
- Ondulado 5-10% pendiente
- Pronunciado >10% pendiente

Es importante recordar que, a pesar de la división en subcuencas para lograr mayor grado de homogeneidad, las características de los suelos, no son suficientemente homogéneas, por lo que se deberá considerar un ponderado de estas áreas.

$$C = \frac{(C_{perm} \cdot A_{perm}) + (C_{imp} \cdot A_{imp})}{A_{perm} + A_{imp}}$$

De la formula C indica coeficiente de escorrentía medio, A es área y los subíndices per e imp indican zona permeable o impermeable según corresponda.

2.3. Definición de términos:

Área de Drenaje: Carranza (1995), señala que el área de influencia se determina por la distribución de la escorrentía en función de la captación de flujo, y las posibilidades de evacuación, por tanto, es necesario determinar las direcciones superficiales de los flujos, un sistema de colectores, una vez definidos estos elementos y en base a ellos se puede definir las áreas de influencia del proyecto considerando como drena cada vía en una rea determinada.

Drenaje: Se refiere a retirar o eliminar de una propiedad la demasía de agua pluvial que no es aprovechable.

Hietograma de diseño: El hietograma de diseño muestra la distribución de lluvias a través del tiempo y es necesario realizarlo para cada tipo de elemento del sistema. En locaciones donde no se tiene esta información se utiliza el método de los bloques alternos. Cuando no se dispone de registros sobre la duración de las precipitaciones se la puede considerar igual al tiempo de concentración.

Evaporación: Chereque, indica que la evaporación es una etapa presente en todo el ciclo hidrológico, y en superficie húmeda. Proceso que permite el paso de agua a un estado de vapor, y por parte de las plantas se tiene un fenómeno denominado transpiración. Podemos, por lo tanto, estudiar la evaporación total de la cuenca, exceptuando las particularidades, y se denomina evapotranspiración.

Caudal de diseño: Chereque, señala que para llegar a conocer los recursos hidráulicos de una cuenca es necesario averiguar el caudal, diariamente, a la misma hora, y durante el mayor número posible de años. De esta manera, se llega a comprender el régimen de los ríos. Esta labor en el Perú la realiza el Senamhi.

Sistema urbano de drenaje sostenible: Se trata de reproducir la hidrología natural de una cuenca, por tanto, las diferentes técnicas implantadas en los SUDS para una mejor gestión del agua de escorrentía que busca:

- **Prevención:** Aplicar las medidas no estructurales para prevenir la contaminación de aguas de escorrentía, como el control de la aplicación de herbicidas y fungicidas en parques y jardines.
- **Detener:** control de la escorrentía del agua en su origen o en áreas cercanas, empleando, por ejemplo, medidas estructurales como coberturas vegetales o pavimentos.
- **Ralentizar:** disminuir la escorrentía a través del terreno urbanizado, mediante drenes, franjas o áreas de infiltración.
- **Almacenar:** se almacena el agua de escorrentía, utilizando elementos estructurales como aljibes, estanques, depósitos superficiales o enterrados, humedales artificiales, cubiertas aljibe o áreas enterradas de almacenamiento.
- **Infiltrar:** el agua almacenada se infiltra en el terreno o se reutiliza, utilizando elementos estructurales como las zanjas de infiltración, las franjas de biorretención, los pozos y los depósitos de infiltración.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

H0: El comportamiento de la escorrentía urbana no se mitiga con el drenaje urbano sostenible siendo ineficiente en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023.

H1: El comportamiento de la escorrentía urbana se mitiga con el drenaje urbano sostenible siendo eficiente en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023.

2.4.2. Hipótesis específicas

1. Si el comportamiento de la escorrentía urbana se reduce con la retención entonces es eficiente el drenaje urbano sostenible en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023.
2. Si el comportamiento de la escorrentía urbana se reduce con la filtración entonces es eficiente el drenaje urbano sostenible en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023.
3. Si el comportamiento de la escorrentía urbana reduce el control de fuentes entonces es eficiente el drenaje urbano sostenible en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023.

2.5. Variables

2.5.1. Definición conceptual de la variable

Variable independiente (X): ESCORRENTÍA URBANA

Ortiz et.al (2013), señalan que: El agua de escorrentía urbana (AEU) es el agua que fluye sobre superficies impermeables urbanizadas y que procede de la precipitación que ocurra por un evento de lluvia o nieve. Generalmente, se considera un problema debido a su vinculación con

fenómenos de inundación, erosión del suelo y contaminación de los acuíferos.

Variable dependiente (Y): DRENAJE URBANO SOSTENIBLE

Lasa (2008). Señala que: Son elementos superficiales, permeables, preferiblemente vegetados, integrantes de la estructura urbana-hidrológica-paisajística y previos al sistema de saneamiento. Su propósito es filtrar, retener, transportar, acumular, reutilizar e infiltrar el agua de lluvia en el terreno, de manera que no solo eviten la degradación, sino que también contribuyan a restaurar la calidad del agua que manejan.

2.5.2. Definición operacional de la variable

Variable independiente (X): ESCORRENTÍA URBANA

Agua generada por la precipitación, la cual fluye sobre las superficies impermeables en las ciudades, generando inundaciones, erosión y contaminación del agua.

Variable dependiente (Y): DRENAJE URBANO SOSTENIBLE

Sistema de drenaje que permite retener, acumular, reutilizar e infiltrar el agua de precipitaciones a los terrenos y recuperando la calidad del agua.

2.5.3. Operacionalización de la variable

Tabla N° 12: Operacionalización de las variables

Variable	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems
Escorrentía urbana	El agua de escorrentía urbana (AEU) es el agua que fluye sobre superficies impermeables urbanizadas y que procede de la precipitación que ocurra por un evento de lluvia o nieve. Por lo general, se le considera un problema por su relación con fenómenos de inundación, erosión del suelo y contaminación de acuíferos. Ortiz et.al (2013). Biorretención y reúso del agua de escorrentía urbana en climas áridos o semi-áridos: una revisión	Agua generada por la precipitación, la cual fluye sobre las superficies impermeables en las ciudades, generando inundaciones, erosión y contaminación del agua	Precipitaciones	Intensidad de precipitaciones	La cantidad de precipitación (mm)
			Curva IDF	Magnitud de lluvias	Frecuencia
					Duración
					Intensidad
			Escorrentía superficial	Coeficiente de escorrentía	Coeficiente de rugosidad
					Caudal real
Caudal teórico					
Drenaje urbano sostenible	Son elementos superficiales, permeables, preferiblemente vegetados, integrantes de la estructura urbana-hidrológica-paisajística y previos al sistema de saneamiento. Están destinados a filtrar, retener, transportar, acumular, reutilizar e infiltrar al terreno el agua de lluvia, de forma que no degraden e incluso restauren la calidad del agua que gestionan. Pedro LASA («SUDS S.L - Atlantis») «JORNADA ARQUITECTURA ECOLÓGICA 3». Cádiz. 06-03-2008.	Sistema de drenaje que permite retener, acumular, reutilizar e infiltrar el agua de precipitaciones a los terrenos y recuperando la calidad del agua	Retención	Almacenamiento subsuperficial	% de almacenamiento
			Filtración	Biorretención	Mejoramiento de calidad de agua
					Control de caudales
					Incremento de vegetación
			Control de fuentes	Pavimento permeable	Infiltración
					Almacenamiento

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método de investigación

Tamayo (2003). En la presente investigación se empleará el método científico, el cual “considera las instrucciones para realizar indagaciones significativas y fidedignas, para entender, verificar, corregir o utilizar la razón”.

3.2. Tipo de investigación

Nuestra investigación es de tipo aplicada, puesto que nuestros resultados sirvirán para dar solución a los problemas relacionados con las inundaciones generadas por la escorrentía superficial, producto de las lluvias.

3.3. Nivel de investigación

Carrasco (2005), será descriptiva, porque permite entender los orígenes y elementos que dan inicio a una acción, o manifestación, que esclarezca lo desconocido o ignorado.

3.4. Diseño de investigación

Según Hernández et. al (2014), indica que si no se manipula la variable de manera deliberada, se aplica un diseño no experimental. Por lo tanto en nuestra investigación se trata también de un diseño no experimental.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Según Arias (2006), La población se define como “elementos con características comunes que pueden contabilizarse, así mismo se pueden determinar de acuerdo a la cantidad o características a medir”. Nuestra población estará constituida por las vías urbanas de la Urbanización Villa Concepción, ubicado en el Distrito de Concepción, Provincia de Concepción.

Figura N° 25: Ubicación de nuestra población



Fuente: Elaboración propia

3.5.2. Muestra

Nuestra muestra fue No Probabilística, estos elementos de la población no siempre formaran parte de ella” según Carrasco (2005), es decir la muestra está conformada por las vías urbanas de la Urbanización Villa Concepción, ubicado en el Distrito de Concepción, Provincia de Concepción.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

Arias (2012), señala que: “consiste obtener información que accede desarrollar su proyecto del investigado, como entrevistas, observaciones y muestras, extrayendo o construyendo datos de primera mano de su población o fenómeno que se desea conocer”.

a) Observación directa

Mediante observacion, recolección, confrontación, y computar las caracterisiticas de las alternativas planteass como solucion al problema.

b) Análisis de documental

Se realizo mediante la operación intelectual, que nos permite obtener un subproducto o documentos secundarios, como instrumento de busqueda obligada entre los documentos originales y el usuario que requiere la informacion. Requiere interpretacion y analisis de la informacion de documentos y sintesis.

3.7. Procesamiento de la información

Se elaboro según requerimientos y/o especificaciones segun las Normas tecnicas peruanas de acuerdo a las alternativas de solucion propuestas, como sistemas de

drenaje urbano sostenible, utilizando programas para la verificación y procesamiento de los resultados.

3.8. Técnicas y análisis de datos

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, por tanto se realiza un análisis estadístico descriptivo de acuerdo a nuestras variables.

CAPÍTULO IV

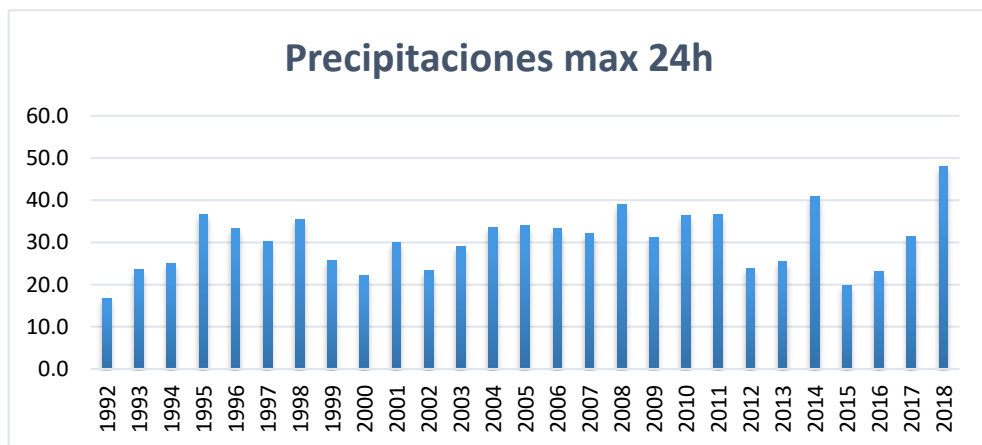
RESULTADOS

4.1. Analizar la escorrentía urbana para optimizar el drenaje urbano sostenible

4.1.1. Precipitaciones máximas en 24 horas:

Según normas OS.060 se debe tener como mínimo un registro de lluvias de 20 años y lo recomendado por el MTC es de 22 años. En la investigación se ha considerado se ha considerado información desde el año 1992 hasta el 2018, haciendo un total de 27 años. En la gráfica N° 01 se muestra el registro anual de precipitaciones máximas en 24 horas. Pero también se debe de considerar el cambio climático por lo que utilizaremos las herramientas desarrolladas por Senamhi, por lo sustentado en la parte del marco teórico.

Figura N° 26. Histograma histórico de precipitaciones máximas en 24 horas



Fuente: Elaboración Propia

4.1.2. Curvas de intensidad – duración – frecuencia

Mediante las curvas intensidad – duración – frecuencia (IDF) se relaciona la intensidad de la tormenta, la duración de la misma y la frecuencia con la que se presenta el evento, es decir su periodo de retorno. Es posible determinar las curvas intensidad duración frecuencia con métodos como Dick y Peschke, y otros, pero para nuestra investigación se ha visto por conveniente utilizar el método desarrollado por Senamhi, según también las nuevas modificaciones de la norma C.E. 040, que nos indica considerar también el cambio climático. Por tanto, esta herramienta basada en la web para el desarrollo de curvas IDF de Senamhi, integra una interfaz de usuario con sistemas de Información Geográfica (GIS). A la vez, muestra un conjunto de datos basados en precipitaciones extremas, y a partir de ello, se construyen tormentas de diseño para ser aplicados en diversos campos de la ingeniería, como la hidrología urbana, diseño de infraestructura y estudios de evaluación de riesgos, entre otros y considera el cambio climático como una de las variables de cálculo. El primer paso es determinar, las Intensidades de precipitación, para diferentes duraciones y periodos de retorno. Como se muestra en la tabla N° 13.

Tabla N° 13: Intensidad de precipitaciones, para diferentes duraciones y periodos de retorno

Intensidades de precipitación, para diferentes duraciones y periodos de retorno.

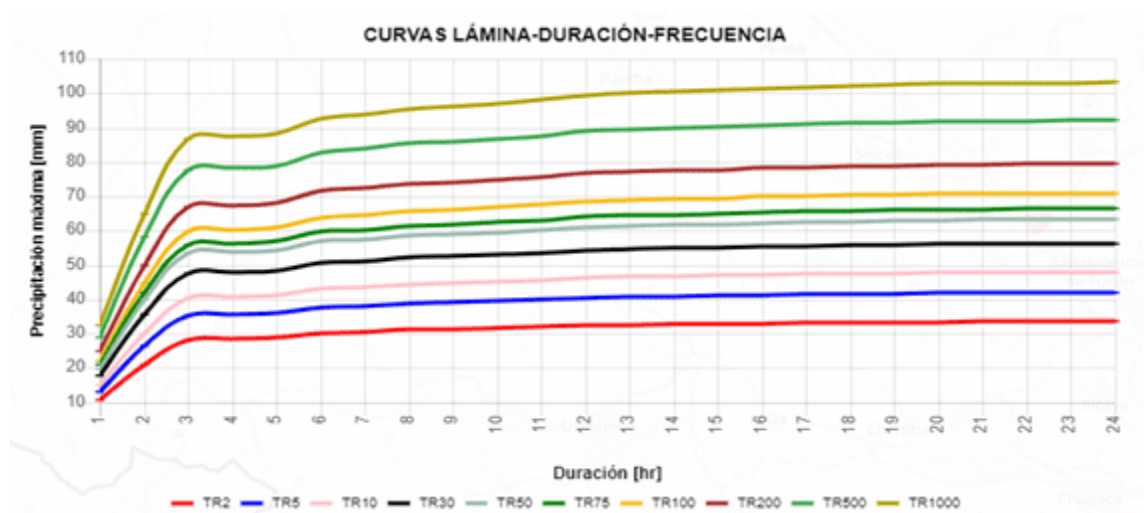
Duración	TR2	TR5	TR10	TR30	TR50	TR75	TR100	TR200	TR500	TR1000
	18.3	21.5	24.3	29.6	32.3	34.7	36.6	41.3	48.6	54.9
1-hr	(17.0-19.6)	(20.0-23.3)	(22.6-26.5)	(27.4-32.5)	(30.1-35.7)	(32.3-38.5)	(34.0-40.7)	(38.4-46.3)	(45.2-54.9)	(51.2-62.4)
	10.8	12.7	14.4	17.4	19.1	20.5	21.6	24.4	28.6	32.4
2-hr	(10.0-11.6)	(11.8-13.7)	(13.3-15.6)	(16.2-19.2)	(17.7-21.1)	(19.0-22.7)	(20.0-24.0)	(22.7-27.3)	(26.7-32.4)	(30.2-36.8)
	7.9	9.3	10.5	12.8	14.0	15.0	15.8	17.9	21.0	23.8
3-hr	(7.3-8.5)	(8.6-10.1)	(9.8-11.5)	(11.9-14.1)	(13.0-15.5)	(14.0-16.7)	(14.7-17.6)	(16.6-20.0)	(19.6-23.8)	(22.2-27.0)
	6.4	7.5	8.5	10.3	11.2	12.1	12.7	14.4	16.9	19.1
4-hr	(5.9-6.8)	(6.9-8.1)	(7.9-9.2)	(9.5-11.3)	(10.5-12.4)	(11.2-13.4)	(11.8-14.1)	(13.4-16.1)	(15.7-19.1)	(17.8-21.7)
	5.4	6.3	7.1	8.7	9.5	10.2	10.7	12.1	14.3	16.1
5-hr	(5.0-5.8)	(5.9-6.8)	(6.6-7.8)	(8.1-9.5)	(8.8-10.5)	(9.5-11.3)	(10.0-11.9)	(11.3-13.6)	(13.3-16.1)	(15.0-18.3)
	4.7	5.5	6.2	7.5	8.3	8.9	9.3	10.6	12.4	14.0
6-hr	(4.3-5.0)	(5.1-5.9)	(5.8-6.8)	(7.0-8.3)	(7.7-9.1)	(8.2-9.8)	(8.7-10.4)	(9.8-11.8)	(11.6-14.0)	(13.1-15.9)
	4.2	4.9	5.5	6.7	7.3	7.9	8.3	9.4	11.0	12.5
7-hr	(3.9-4.5)	(4.5-5.3)	(5.1-6.0)	(6.2-7.4)	(6.8-8.1)	(7.3-8.8)	(7.7-9.2)	(8.7-10.5)	(10.3-12.5)	(11.6-14.2)
	3.8	4.4	5.0	6.1	6.6	7.1	7.5	8.5	10.0	11.3
8-hr	(3.5-4.0)	(4.1-4.8)	(4.6-5.4)	(5.6-6.7)	(6.2-7.3)	(6.6-7.9)	(7.0-8.3)	(7.9-9.5)	(9.3-11.3)	(10.5-12.8)
	3.4	4.0	4.6	5.5	6.1	6.5	6.9	7.7	9.1	10.3
9-hr	(3.2-3.7)	(3.7-4.4)	(4.2-5.0)	(5.1-6.1)	(5.6-6.7)	(6.1-7.2)	(6.4-7.6)	(7.2-8.7)	(8.5-10.3)	(9.6-11.7)
	3.2	3.7	4.2	5.1	5.6	6.0	6.3	7.1	8.4	9.5
10-hr	(2.9-3.4)	(3.5-4.0)	(3.9-4.6)	(4.7-5.6)	(5.2-6.2)	(5.6-6.7)	(5.9-7.0)	(6.7-8.0)	(7.8-9.5)	(8.9-10.8)
	2.9	3.5	3.9	4.8	5.2	5.6	5.9	6.6	7.8	8.8
11-hr	(2.7-3.2)	(3.2-3.7)	(3.6-4.3)	(4.4-5.2)	(4.8-5.8)	(5.2-6.2)	(5.5-6.5)	(6.2-7.4)	(7.3-8.8)	(8.2-10.0)
	2.8	3.2	3.7	4.5	4.9	5.2	5.5	6.2	7.3	8.3
12-hr	(2.6-3.0)	(3.0-3.5)	(3.4-4.0)	(4.1-4.9)	(4.5-5.4)	(4.9-5.8)	(5.1-6.1)	(5.8-7.0)	(6.8-8.3)	(7.7-9.4)
	2.6	3.1	3.4	4.2	4.6	4.9	5.2	5.9	6.9	7.8
13-hr	(2.4-2.8)	(2.8-3.3)	(3.2-3.8)	(3.9-4.6)	(4.3-5.1)	(4.6-5.5)	(4.8-5.8)	(5.4-6.6)	(6.4-7.8)	(7.3-8.8)
	2.5	2.9	3.3	4.0	4.3	4.7	4.9	5.5	6.5	7.4
14-hr	(2.3-2.6)	(2.7-3.1)	(3.0-3.5)	(3.7-4.4)	(4.0-4.8)	(4.3-5.2)	(4.6-5.4)	(5.1-6.2)	(6.1-7.3)	(6.9-8.4)
	2.3	2.7	3.1	3.8	4.1	4.4	4.6	5.2	6.2	7.0
15-hr	(2.2-2.5)	(2.5-3.0)	(2.9-3.4)	(3.5-4.1)	(3.8-4.5)	(4.1-4.9)	(4.3-5.2)	(4.9-5.9)	(5.7-7.0)	(6.5-7.9)

16-hr	2.2 (2.1-2.4)	2.6 (2.4-2.8)	2.9 (2.7-3.2)	3.6 (3.3-3.9)	3.9 (3.6-4.3)	4.2 (3.9-4.7)	4.4 (4.1-4.9)	5.0 (4.7-5.6)	5.9 (5.5-6.6)	6.6 (6.2-7.6)
17-hr	2.1 (2.0-2.3)	2.5 (2.3-2.7)	2.8 (2.6-3.1)	3.4 (3.2-3.8)	3.7 (3.5-4.1)	4.0 (3.7-4.5)	4.2 (3.9-4.7)	4.8 (4.4-5.3)	5.6 (5.2-6.3)	6.3 (5.9-7.2)
18-hr	2.0 (1.9-2.2)	2.4 (2.2-2.6)	2.7 (2.5-2.9)	3.3 (3.0-3.6)	3.6 (3.3-4.0)	3.8 (3.6-4.3)	4.0 (3.8-4.5)	4.6 (4.3-5.1)	5.4 (5.0-6.1)	6.1 (5.7-6.9)
19-hr	1.9 (1.8-2.1)	2.3 (2.1-2.5)	2.6 (2.4-2.8)	3.1 (2.9-3.4)	3.4 (3.2-3.8)	3.7 (3.4-4.1)	3.9 (3.6-4.3)	4.4 (4.1-4.9)	5.2 (4.8-5.8)	5.8 (5.4-6.6)
20-hr	1.9 (1.7-2.0)	2.2 (2.0-2.4)	2.5 (2.3-2.7)	3.0 (2.8-3.3)	3.3 (3.1-3.6)	3.5 (3.3-3.9)	3.7 (3.5-4.2)	4.2 (3.9-4.7)	5.0 (4.6-5.6)	5.6 (5.2-6.4)
21-hr	1.8 (1.7-1.9)	2.1 (2.0-2.3)	2.4 (2.2-2.6)	2.9 (2.7-3.2)	3.2 (3.0-3.5)	3.4 (3.2-3.8)	3.6 (3.3-4.0)	4.1 (3.8-4.6)	4.8 (4.4-5.4)	5.4 (5.0-6.1)
22-hr	1.7 (1.6-1.9)	2.0 (1.9-2.2)	2.3 (2.1-2.5)	2.8 (2.6-3.1)	3.1 (2.9-3.4)	3.3 (3.1-3.7)	3.5 (3.2-3.9)	3.9 (3.6-4.4)	4.6 (4.3-5.2)	5.2 (4.9-5.9)
23-hr	1.7 (1.6-1.8)	2.0 (1.8-2.1)	2.2 (2.1-2.4)	2.7 (2.5-3.0)	3.0 (2.8-3.3)	3.2 (3.0-3.5)	3.4 (3.1-3.7)	3.8 (3.5-4.2)	4.5 (4.2-5.0)	5.0 (4.7-5.7)
24-hr	1.6 (1.5-1.7)	1.9 (1.8-2.1)	2.2 (2.0-2.4)	2.6 (2.4-2.9)	2.9 (2.7-3.2)	3.1 (2.9-3.4)	3.2 (3.0-3.6)	3.7 (3.4-4.1)	4.3 (4.0-4.9)	4.9 (4.5-5.5)

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla se puede apreciar, los diversos periodos de retorno desde 2 años hasta los 1000 años que calcularon para la latitud y longitud correspondientes a la investigación, considerando una duración cada hora y se ha considerado también los valores extremos presentados en cada uno de estas duraciones. Con esta información podemos ahora construir las láminas duración frecuencia para nuestra investigación, en función a las precipitaciones máximas registradas y la duración en horas, como se muestra en la figura N° 27, que presentamos a continuación:

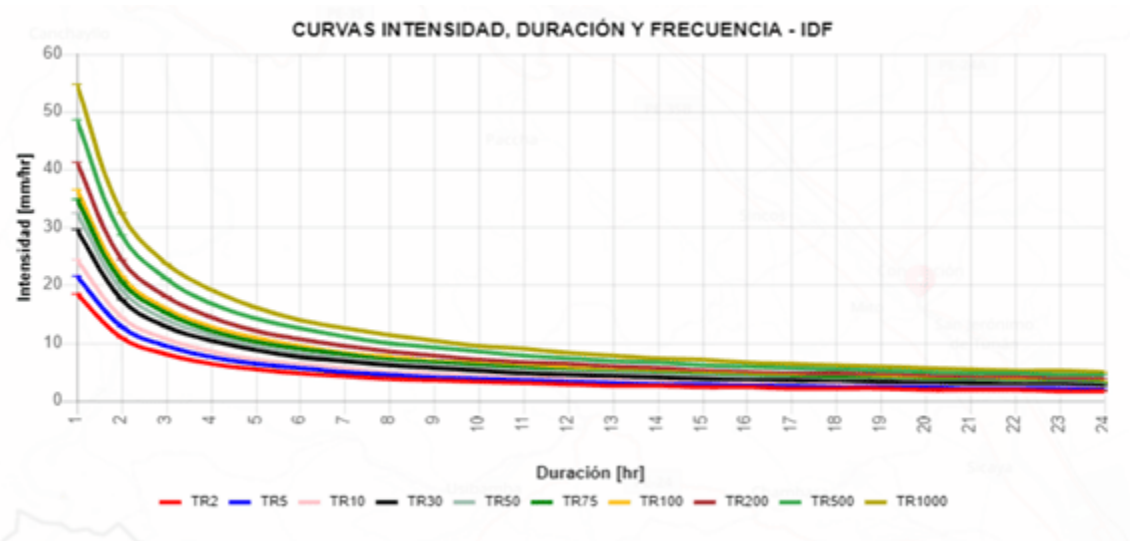
Figura N° 27: Curvas lamina duración frecuencia



Fuente: Elaboración Propia

Podemos ver que las precipitaciones máximas para los diferentes periodos de retorno, en relación a la duración se incrementan inicialmente y luego se vuelven constantes, con esta información podemos ahora calcular las curvas intensidad duración frecuencia (IDF), para nuestra investigación. Como podemos ver en la figura N° 28, que presentamos a continuación:

Figura N° 28: Curvas intensidad Duración y frecuencia IDF



Fuente: Elaboración Propia

De donde podemos interpretar que mientras más tiempo pasa las intensidades disminuyen y, por el contrario, cuando los periodos de retorno son mayores las intensidades se incrementan.

4.1.3. Hietograma de diseño

En la investigación se ha considerado un periodo de retorno de 10 años, debido a que la norma técnica O.S. 060 de drenaje Pluvial urbano, señala que para un sistema menor de drenaje en una zona urbana debemos considerar periodos menores a 25 años, y 2 años para zonas rurales, además señala que deberá estar en función de la importancia económica de la urbanización, entonces para nuestro caso el diseñado, considera este criterio económico y estratégico, que corresponde a este valor, con el cual se realizara el modelamiento y también la determinación de los diversos parámetros de diseño.

En la investigación considerando los datos obtenidos con la herramienta web, proporcionada por el Senamhi, y considerando el cambio climático se ha

determinado en base a datos de las estaciones meteorológicas la siguiente tabla N° 14, con el registro de precipitaciones considerado para la investigación.

Tabla N° 14: Precipitaciones registradas estación meteorológica

AÑO	ENE	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	MAX ANUAL
1992	6.4	14.4	7.4	8.5	3.4	7.4	2.0	6.0	6.6	16.8	14.1	9.3	16.8
1993	10.8	17.8	14.4	23.6	15.8	18.0	2.0	10.6	9.6	5.0	11.4	10.0	23.6
1994	25.0	10.8	17.0	9.6	9.0	6.0	0.0	4.2	3.3	8.6	8.7	9.8	25.0
1995	14.0	12.8	12.5	6.0	5.4	1.5	3.0	5.7	4.3	22.5	18.5	36.6	36.6
1996	32.5	8.3	18.6	33.3	3.8	1.0	0.0	1.0	12.6	15.4	15.3	14.1	33.3
1997	18.0	22.9	9.0	11.1	2.2	2.1	2.4	5.6	11.4	16.5	16.2	30.3	30.3
1998	35.5	31.5	8.8	21.2	6.8	5.7	0.0	3.2	12.8	18.2	13.0	12.6	35.5
1999	11.5	22.9	11.6	7.2	1.6	10.9	7.8	2.8	12.2	25.8	20.4	21.4	25.8
2000	19.2	22.1	19.0	14.5	5.8	1.8	6.0	7.7	2.6	11.1	10.1	18.0	22.1
2001	14.9	19.9	20.5	14.9	4.7	0.8	3.2	2.5	13.0	26.4	13.0	29.9	29.9
2002	11.2	17.2	21.3	7.5	4.7	0.7	10.4	7.6	16.7	16.7	23.4	20.8	23.4
2003	15.0	19.3	29.0	24.0	11.8	0.0	0.5	9.4	12.1	11.2	25.2	23.0	29.0
2004	20.0	33.5	14.7	9.3	3.7	6.5	6.7	3.2	17.5	13.4	20.9	21.3	33.5
2005	12.3	20.8	18.8	14.6	1.9	11.9	2.0	0.4	4.4	24.3	17.3	33.9	33.9
2006	25.5	14.0	13.2	6.7	0.7	3.6	5.1	4.9	14.5	10.0	22.2	33.2	33.2
2007	18.7	9.4	32.2	11.5	5.4	0.0	2.5	8.2	6.2	13.7	15.9	17.0	32.2
2008	25.0	8.4	8.8	18.5	3.8	7.9	0.0	3.4	11.2	39.0	17.5	16.4	39.0
2009	14.5	14.4	19.4	31.1	7.8	0.9	3.3	18.8	16.4	7.7	27.5	22.3	31.1
2010	22.0	36.4	25.0	15.0	0.4	1.7	19.2	4.5	2.4	17.5	12.7	29.1	36.4
2011	30.0	34.0	36.5	19.0	2.7	0.0	5.2	1.5	17.0	15.2	18.0	23.3	36.5
2012	15.3	23.9	10.7	15.8	14.5	10.9	0.0	1.5	15.1	8.6	10.0	23.8	23.9
2013	25.5	12.6	10.3	15.9	6.0	1.6	2.9	20.4	11.6	9.6	10.5	19.1	25.5
2014	28.7	16.5	33.0	13.7	13.0	0.3	1.8	13.0	40.8	12.0	32.7	14.4	40.8
2015	12.9	19.8	17.0	11.6	10.5	7.0	5.3	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	19.8
2016	S/D	S/D	S/D	17.5	5.6	0.0	0.8	2.4	18.0	10.0	18.1	23.1	23.1
2017	17.5	22.5	26.4	31.3	4.0	0.6	0.0	1.7	31.5	18.7	29.4	16.0	31.5
2018	28.5	48.0	27.4	5.4	0.0	2.3	2.2	5.2	16.6	18.0	21.0	21.0	48.0
PROM.	19.6	20.5	18.6	15.5	5.7	4.1	3.5	6.0	13.1	15.8	17.8	21.1	30.4
MAX	35.5	48.0	36.5	33.3	15.8	18.0	19.2	20.4	40.8	39.0	32.7	36.6	48.0

Fuente: Senamhi

Se determino el modelo de Dick Peschke, según los periodos de retorno y las precipitaciones máximas, las que se pueden observar en la tabla N° 15, que se presenta a continuación:

Tabla N° 15: Modelo método Dick Peschke

Duración (Minutos)	Precipitación en 24 horas (mm)								
	31.73	35.81	39.25	45.16	48.56	53.22	56.38	65.85	94.25
	Periodo de Retorno (Años)								
	2	5	10	30	50	100	200	500	1000
	Precipitación (mm)								
5	7.70	8.69	9.53	10.96	11.79	12.92	13.69	15.98	22.88
10	9.16	10.34	11.33	13.04	14.02	15.36	16.28	19.01	27.21
15	10.14	11.44	12.54	14.43	15.51	17.00	18.01	21.04	30.11
20	10.89	12.29	13.47	15.50	16.67	18.27	19.35	22.60	32.36
25	11.52	13.00	14.25	16.39	17.63	19.32	20.46	23.90	34.21
30	12.05	13.61	14.91	17.16	18.45	20.22	21.42	25.02	35.81
35	12.53	14.14	15.50	17.83	19.17	21.01	22.26	26.00	37.21
40	12.95	14.62	16.02	18.44	19.83	21.73	23.02	26.88	38.48
45	13.34	15.06	16.50	18.99	20.42	22.38	23.70	27.69	39.63
50	13.70	15.46	16.94	19.49	20.96	22.97	24.34	28.42	40.68
55	14.03	15.83	17.35	19.96	21.47	23.53	24.92	29.11	41.67
60	14.33	16.18	17.73	20.40	21.94	24.05	25.47	29.75	42.58
120	17.05	19.24	21.09	24.26	26.09	28.60	30.29	35.38	50.64
180	18.86	21.30	23.34	26.85	28.87	31.65	33.52	39.15	56.04
240	20.27	22.88	25.08	28.85	31.03	34.01	36.02	42.07	60.22
300	21.43	24.20	26.52	30.51	32.81	35.96	38.09	44.49	63.68
360	22.43	25.32	27.76	31.93	34.34	37.63	39.87	46.56	66.64
420	23.32	26.32	28.85	33.19	35.69	39.11	41.43	48.39	69.26
480	24.11	27.21	29.82	34.31	36.90	40.44	42.84	50.03	71.61
540	24.83	28.03	30.72	35.34	38.00	41.65	44.12	51.53	73.75
600	25.49	28.77	31.54	36.28	39.02	42.76	45.30	52.90	75.72
660	26.10	29.47	32.30	37.16	39.96	43.79	46.39	54.18	77.55
720	26.68	30.12	33.01	37.97	40.84	44.76	47.41	55.37	79.25
780	27.22	30.72	33.67	38.74	41.66	45.66	48.37	56.49	80.86
840	27.73	31.30	34.30	39.47	42.44	46.51	49.27	57.55	82.37
900	28.21	31.84	34.90	40.15	43.18	47.32	50.13	58.55	83.80
960	28.67	32.36	35.47	40.81	43.88	48.09	50.94	59.50	85.16
1020	29.11	32.86	36.01	41.43	44.55	48.83	51.72	60.41	86.47
1080	29.53	33.33	36.53	42.03	45.19	49.53	52.47	61.28	87.71
1140	29.93	33.78	37.03	42.60	45.81	50.20	53.18	62.11	88.90
1200	30.31	34.22	37.50	43.15	46.40	50.85	53.87	62.91	90.05
1260	30.69	34.64	37.96	43.68	46.97	51.48	54.53	63.69	91.16
1320	31.04	35.04	38.41	44.19	47.52	52.08	55.17	64.43	92.22
1380	31.39	35.43	38.84	44.68	48.05	52.66	55.78	65.15	93.25
1440	31.73	35.81	39.25	45.16	48.56	53.22	56.38	65.85	94.25

Fuente: Elaboración Propia

Luego se determinó la intensidad de precipitación en relación a los periodos de retorno, como se muestra en la tabla N° 16, presentada a continuación:

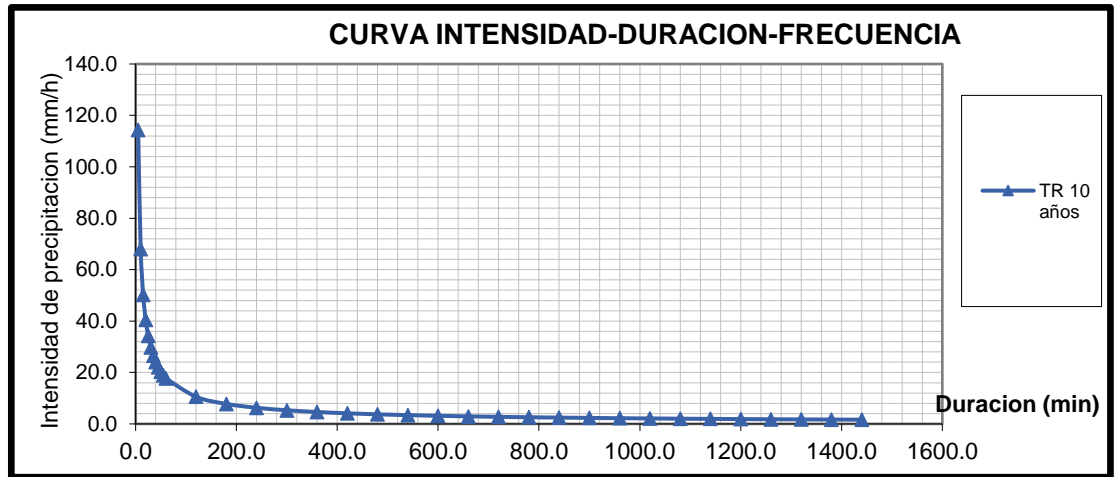
Tabla N° 16: Intensidad Precipitación vs Periodo de retorno

Duración (Horas)	Duración (min)	Periodo de Retorno (Años)								
		2.00	5.00	10.00	30.00	50.00	100.00	200.00	500.00	1000.00
		Intensidad (mm/hr)								
0.083	5	92.42	104.32	114.34	131.55	141.46	155.04	164.23	191.81	274.55
0.167	10	54.95	62.03	67.99	78.22	84.11	92.19	97.65	114.05	163.25
0.250	15	40.54	45.77	50.16	57.71	62.06	68.01	72.05	84.14	120.44
0.333	20	32.67	36.88	40.42	46.51	50.01	54.81	58.06	67.81	97.07
0.417	25	27.64	31.20	34.20	39.34	42.31	46.37	49.12	57.36	82.11
0.500	30	24.11	27.21	29.82	34.31	36.90	40.44	42.84	50.03	71.61
0.583	35	21.48	24.24	26.57	30.57	32.87	36.03	38.16	44.57	63.80
0.667	40	19.43	21.93	24.04	27.65	29.74	32.59	34.52	40.32	57.72
0.750	45	17.79	20.08	22.00	25.32	27.22	29.84	31.61	36.91	52.84
0.833	50	16.43	18.55	20.33	23.39	25.16	27.57	29.20	34.11	48.82
0.917	55	15.30	17.27	18.93	21.78	23.42	25.67	27.19	31.76	45.45
1.000	60	14.33	16.18	17.73	20.40	21.94	24.05	25.47	29.75	42.58
2.000	120	8.52	9.62	10.54	12.13	13.05	14.30	15.15	17.69	25.32
3.000	180	6.29	7.10	7.78	8.95	9.62	10.55	11.17	13.05	18.68
4.000	240	5.07	5.72	6.27	7.21	7.76	8.50	9.01	10.52	15.06
5.000	300	4.29	4.84	5.30	6.10	6.56	7.19	7.62	8.90	12.74
6.000	360	3.74	4.22	4.63	5.32	5.72	6.27	6.64	7.76	11.11
7.000	420	3.33	3.76	4.12	4.74	5.10	5.59	5.92	6.91	9.89
8.000	480	3.01	3.40	3.73	4.29	4.61	5.06	5.35	6.25	8.95
9.000	540	2.76	3.11	3.41	3.93	4.22	4.63	4.90	5.73	8.19
10.000	600	2.55	2.88	3.15	3.63	3.90	4.28	4.53	5.29	7.57
11.000	660	2.37	2.68	2.94	3.38	3.63	3.98	4.22	4.93	7.05
12.000	720	2.22	2.51	2.75	3.16	3.40	3.73	3.95	4.61	6.60
13.000	780	2.09	2.36	2.59	2.98	3.20	3.51	3.72	4.35	6.22
14.000	840	1.98	2.24	2.45	2.82	3.03	3.32	3.52	4.11	5.88
15.000	900	1.88	2.12	2.33	2.68	2.88	3.15	3.34	3.90	5.59
16.000	960	1.79	2.02	2.22	2.55	2.74	3.01	3.18	3.72	5.32
17.000	1020	1.71	1.93	2.12	2.44	2.62	2.87	3.04	3.55	5.09
18.000	1080	1.64	1.85	2.03	2.33	2.51	2.75	2.91	3.40	4.87
19.000	1140	1.58	1.78	1.95	2.24	2.41	2.64	2.80	3.27	4.68
20.000	1200	1.52	1.71	1.88	2.16	2.32	2.54	2.69	3.15	4.50
21.000	1260	1.46	1.65	1.81	2.08	2.24	2.45	2.60	3.03	4.34
22.000	1320	1.41	1.59	1.75	2.01	2.16	2.37	2.51	2.93	4.19
23.000	1380	1.36	1.54	1.69	1.94	2.09	2.29	2.43	2.83	4.05
24.000	1440	1.32	1.49	1.64	1.88	2.02	2.22	2.35	2.74	3.93

Fuente: Elaboración Propia

Con la cual se ajusta nuestra curva IDF para el periodo de retorno de considerado en el diseño según la normativa vigente, como se muestra en la figura N° 29.

Figura N° 29: Curva intensidad duración frecuencia – PR 10 años



Fuente: Elaboración Propia

Para el cálculo del hietograma se ha considerado el método de los bloques alternos, donde podemos apreciar en figura N° 30 que el hietograma tiene forma piramidal, empiezan con la lluvia suave hasta llegar a un punto pico de mayor intensidad y finalmente decae hasta terminar. Además, se ha considerado los siguientes estadísticos para la elaboración del hietograma.

Tabla N°17: Resumen de estadísticas de la regresión

Estadísticas de la regresión	
Coficiente de correlación múltiple	0.998324348
Coficiente de determinación R ²	0.996651504
R ² ajustado	0.996630039
Error típico	0.032588053
Observaciones	315

Fuente: Elaboración Propia

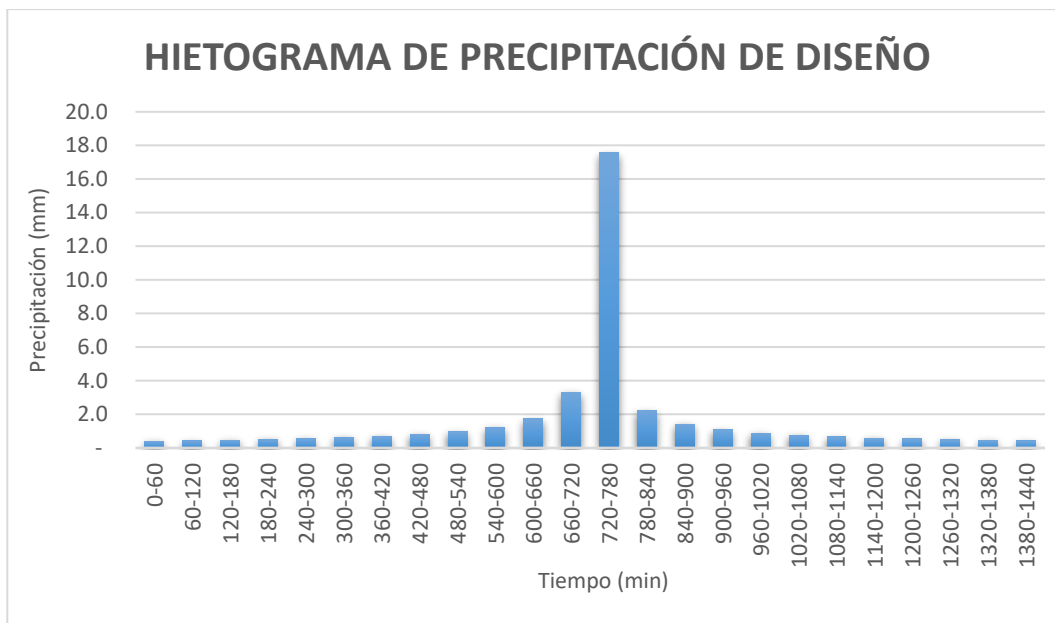
Con los cuales se pudo elaborar la siguiente tabla, para la elaboración del hietograma, según el método de bloques alternos, mediante la utilización de los estadísticos de regresión y el análisis de regresión múltiple.

Tabla N° 18: Hietograma de precipitación de diseño – PR 10 años

HIETOGRAMA DE PRECIPITACION DE DISEÑO					
K =		265.866		$I = \frac{265.866 \times T^{0.1539}}{D^{0.750}}$	
T =		10			
m =		0.1539			
n =		0.750			
6					
METODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDA ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	17.577	17.577	17.577	0-60	0.412
120	10.451	20.903	3.326	60-120	0.440
180	7.711	23.133	2.230	120-180	0.474
240	6.214	24.858	1.725	180-240	0.514
300	5.257	26.284	1.426	240-300	0.563
360	4.585	27.509	1.226	300-360	0.624
420	4.084	28.590	1.081	360-420	0.704
480	3.695	29.561	0.971	420-480	0.813
540	3.383	30.444	0.883	480-540	0.971
600	3.126	31.257	0.813	540-600	1.226
660	2.910	32.010	0.754	600-660	1.725
720	2.726	32.714	0.704	660-720	3.326
780	2.567	33.376	0.661	720-780	17.577
840	2.429	34.000	0.624	780-840	2.230
900	2.306	34.591	0.592	840-900	1.426
960	2.197	35.154	0.563	900-960	1.081
1020	2.099	35.691	0.537	960-1020	0.883
1080	2.011	36.204	0.514	1020-1080	0.754
1140	1.931	36.697	0.493	1080-1140	0.661
1200	1.859	37.171	0.474	1140-1200	0.592
1260	1.792	37.627	0.456	1200-1260	0.537
1320	1.730	38.067	0.440	1260-1320	0.493
1380	1.674	38.492	0.425	1320-1380	0.456
1440	1.621	38.904	0.412	1380-1440	0.425

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 30: Hietograma de Precipitación de diseño con PR 10 años



Fuente: Elaboración Propia

Para el modelado en el programa EPA SWMM 5.1, el cual incorpora en esta versión el modelado de sistemas de drenaje urbano sostenible, se ha adecuado el hietograma de precipitación de diseño a intervalos de 5 minutos, y de acuerdo a los parámetros de la cuenca como la longitud del cauce principal y de las pendientes, a un tiempo de 180 minutos, tiempo adecuado para este la envergadura de la investigación, como podemos apreciar en la tabla N° 19, presentada a continuación:

Tabla N° 19: Hietograma con PR 10 años y duración de 180 m

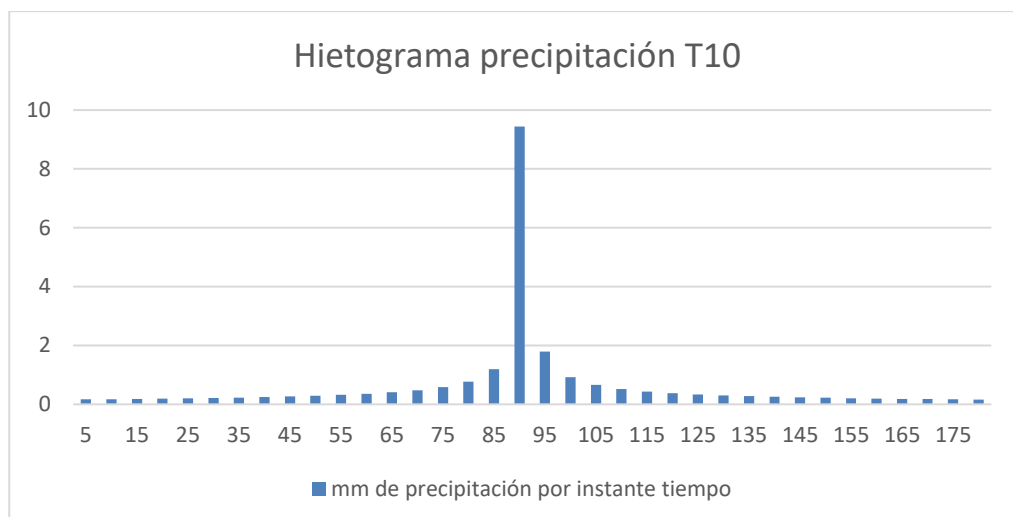
HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 10 AÑOS	
Duración de la tormenta (h)	3
Intensidad de lluvia (mm/h)	7.71
Precipitación en 24 horas (mm)	23.13
Intervalos de tiempo (min)	5

Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	113.33	9.44	9.44	113.33	0.17	1.99
10	67.38	11.23	1.79	21.44	0.17	2.08
15	49.72	12.43	1.20	14.38	0.18	2.18
20	40.07	13.36	0.93	11.12	0.19	2.30
25	33.89	14.12	0.77	9.19	0.20	2.43
30	29.56	14.78	0.66	7.90	0.21	2.57
35	26.33	15.36	0.58	6.97	0.23	2.74
40	23.82	15.88	0.52	6.26	0.25	2.94
45	21.81	16.36	0.47	5.70	0.26	3.18
50	20.15	16.79	0.44	5.24	0.29	3.46
55	18.76	17.20	0.40	4.86	0.32	3.81
60	17.58	17.58	0.38	4.54	0.36	4.26
65	16.55	17.93	0.36	4.26	0.40	4.86
70	15.66	18.27	0.34	4.02	0.47	5.70
75	14.87	18.59	0.32	3.81	0.58	6.97
80	14.17	18.89	0.30	3.63	0.77	9.19
85	13.54	19.18	0.29	3.46	1.20	14.38
90	12.97	19.45	0.28	3.31	9.44	113.33
95	12.45	19.72	0.26	3.18	1.79	21.44
100	11.98	19.97	0.25	3.05	0.93	11.12
105	11.55	20.22	0.25	2.94	0.66	7.90
110	11.16	20.45	0.24	2.84	0.52	6.26
115	10.79	20.68	0.23	2.74	0.44	5.24
120	10.45	20.90	0.22	2.65	0.38	4.54
125	10.14	21.12	0.21	2.57	0.34	4.02
130	9.84	21.33	0.21	2.50	0.30	3.63
135	9.57	21.53	0.20	2.43	0.28	3.31
140	9.31	21.72	0.20	2.36	0.25	3.05
145	9.07	21.92	0.19	2.30	0.24	2.84
150	8.84	22.10	0.19	2.24	0.22	2.65
155	8.63	22.28	0.18	2.18	0.21	2.50
160	8.42	22.46	0.18	2.13	0.20	2.36
165	8.23	22.64	0.17	2.08	0.19	2.24
170	8.05	22.80	0.17	2.03	0.18	2.13
175	7.88	22.97	0.17	1.99	0.17	2.03
180	7.71	23.13	0.16	1.95	0.16	1.95

Fuente: Elaboración Propia

De donde podemos determinar el hietograma de diseño como se muestra en la figura N° 31.

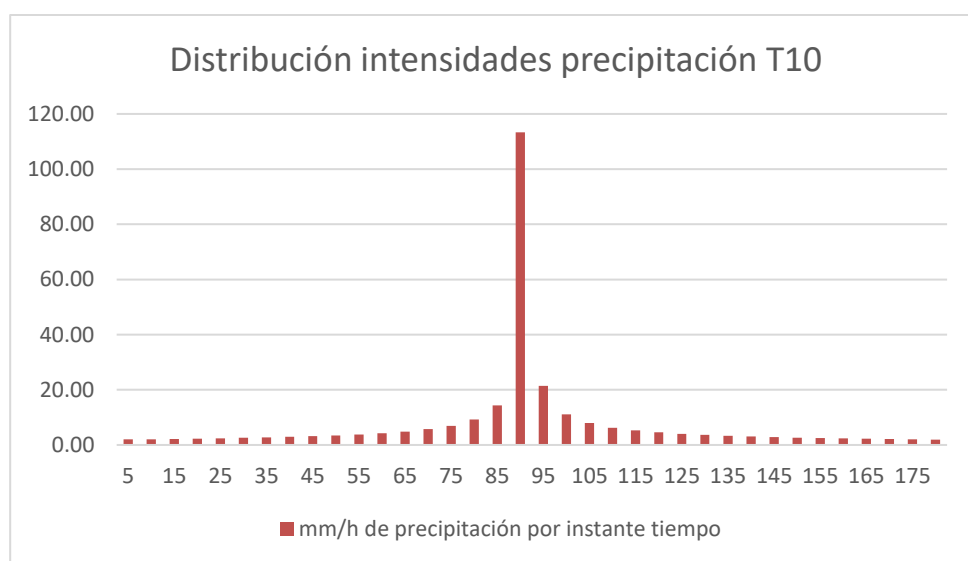
Figura N° 31: Hietograma de Precipitación PR 10 años en 180 m



Fuente: Elaboración Propia

Además, podemos elaborar el hietograma de distribución de intensidades para nuestra investigación y modelado respectivo, como se aprecia en la figura N° 32.

Figura N° 32: Hietograma Distribución de Intensidades PR 10 años en 180 m



Fuente: Elaboración Propia

4.1.4. Tiempo de concentración

Para determinar el tiempo de concentración en una zona urbana, de manera similar que, en hidrología, es el tiempo que demora una gota desde el punto más alejado de la cuenca en llegar al punto en el cual queremos determinar el tiempo de

concentración. En nuestro estudio debemos de considerar las características urbanas, donde el agua va a comportarse de dos maneras. Por un lado, un cauce superficial, hasta llegar a una estructura de captación, y por otra parte un caudal captado y que discurre por la misma red de drenaje, como podemos apreciar ambos casos son totalmente distintos.

Además, la superficie urbana, techos, veredas, cunetas, adoquinados, etc. Presentaran un comportamiento bidimensional, materiales más rugosos, rutas menos definidas, caso contrario la red de drenaje pluvial es un trayecto definido, de tipo unidimensional, con materiales de superficies lisas. (Gómez, 2007).

En esta investigación se consideró diversas ecuaciones empíricas de varios autores para poder determinar el tiempo de concentración, como, por ejemplo, Kirpich, Témez, John Cross, Giandotti, SCS Rancer, Ven te Chow, Hathway, ecuación de retardo de la SCS, y otros. En este estudio para la selección del tiempo de concentración de la microcuenca, se consideró seleccionar el método que presenta características más cercanas a la realidad de la zona de estudio.

La teoría también nos indica que podemos considerar un tiempo de concentración mínimo de 5min en áreas urbanizadas y un tiempo de concentración de 10min para áreas que no son consideradas urbanas. Pudiendo utilizar valores mínimos cuando los cálculos resulten en menores valores de tiempo de concentración. (Colorado, 2016).

Para el cálculo de los diversos métodos para determinar el tiempo de concentración, se considera los datos mostrados en la tabla N° 20 los que se muestran a continuación:

Tabla N° 20: Datos para el cálculo del Tiempo de concentración

LONGITUD (L)=	1.25 km
PENDIENTE (S)=	0.088 m/m
H MAX=	3385.00 m
H MIN=	3275.00 m
H=	110.00 m
ÁREA (A)=	0.52 km²

Fuente: Elaboración Propia

Obteniendo como resultados mostrados en la tabla N° 21, para los diversos métodos aplicados.

Tabla N° 21: Resultados ecuaciones para tiempos de concentración

<u>ECUACIONES</u>		
KIRPICH	0.20053	hr
TEMEZ	0.23516	hr
JOHN CROSS	0.94892	hr
GIANDOTTI	0.52464	hr
SCS RANCER	0.20061	hr
V.T. CHOW	0.68516	hr
CUERPO ING. USA	0.52634	hr
HATHWAY	0.77405	hr
EC. FED. AVIATION	0.74495	hr
EC. RETARDO SCS	0.84039	hr

Fuente: Elaboración Propia

Para esta investigación se ha considerado solo los métodos de Kirpich, Témez y SCS Rancer, debido a que la desviación estándar entre más dispersa es su distribución mayor es su desviación estándar como ocurre con las demás ecuaciones, por lo tanto, se ha considerado la media para determinar el tiempo de concentración para nuestro estudio. En nuestra investigación el tiempo de concentración es de 12.73 minutos, resultado del promedio de los mencionados.

4.1.5. Área de drenaje

La delimitación del área de drenaje en la urbanización de estudio, requiere identificar si se presentan escurrimientos de las partes altas hacia la urbanización, para lo cual se ha utilizado el plano catastral y la topografía de la ciudad, en donde se han identificado quebradas, ríos, riachuelos y puntos altos y de esa manera se ha delimitado la microcuenca, de manera de calcular el escurrimiento. En este proceso recurrimos también a herramientas informáticas como el Global Mapper, para realizarlo de manera rápida, automatizada y precisa. También apoyados con el Civil 3d, utilizando las herramientas de análisis para hidrología, se pudo trazar los posibles cursos de aguas, y definir los límites de la microcuenca.

El primer dato obtenido al delimitar la cuenca fue el área, la cual se utilizó para los cálculos necesarios para el diseño, el estudio permite aplicar el método racional, utilizando el modelo EPA SWMM. Luego se ha procedido con la medición de la longitud, es decir el recorrido realizado por una gota de agua desde el punto más lejano hasta el punto más distante donde llegara el aforo, para lo cual se ha considerado la esorrentía que seguirá el mismo sentido de las calles, al tratarse de una zona urbana, luego se determina la pendiente con relación a las cotas máxima y mínima, entre más lejos de las quebradas, cerros o ríos se ubique la cuenca las pendientes serán menores.

En nuestra investigación se ha considerado la cuenca mostrada en la figura N° 33, donde podemos apreciar que también hay áreas verdes, que aportan a la impermeabilidad.

Figura N° 33: Delimitación de la microcuenca



Fuente: Elaboración Propia

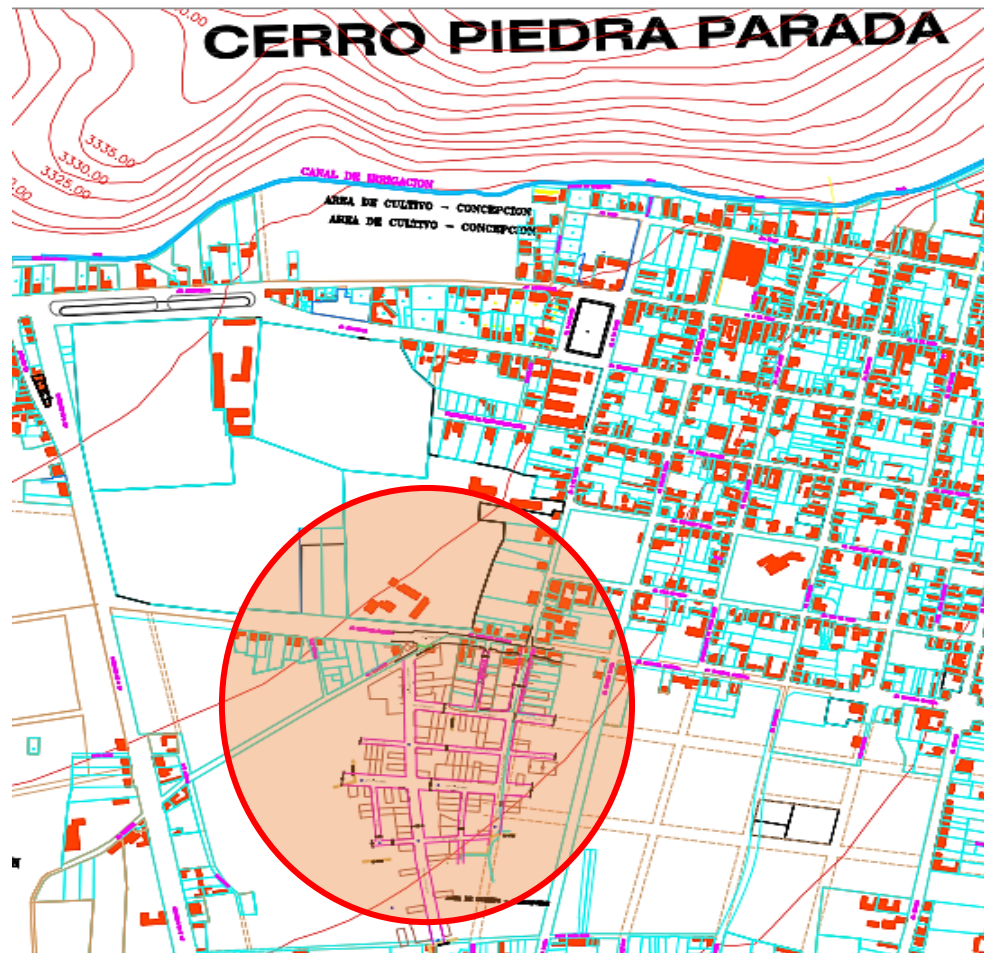
Topografía

Para nuestra investigación sobre drenaje urbano es indispensable un estudio topográfico, el cual nos permitirá identificar las características del área de nuestra cuenca, la superficie sobre la cual se elaborará el planteamiento de medidas de mejora con respecto a la sostenibilidad, permitirá identificar las pendientes máximas y mínimas, el área para modelar las cuencas y calles, así como el área de las viviendas, anchos de vía, según el plan de desarrollo urbano, y otros.

Estos parámetros son fundamentales para un correcto funcionamiento dentro de la red de drenaje, por tanto, no solo dependerá de un análisis correcto y un uso adecuado de fórmulas, esquemas y demás, sino también es importante la calidad de la información, empleada en el diseño, por ello debemos de recopilar toda la información posible del área de estudio. Un punto a tomar en consideración también es que se debe de considerar aspectos económicos y técnicos que limitaran en cierta medida nuestros diseños, a un rango de posibilidades reducidos.

En la investigación se utilizó diversas fuentes de información, desde planos topográficos, planos catastrales, datos pluviométricos, y fotografías satelitales. Podemos apreciar algunas de estas en las figuras siguientes:

Figura N° 34: Delimitación del estudio



Fuente: Elaboración Propia en base a plan de desarrollo urbano MPC

4.1.6. Método racional

El método Racional es un proceso alternativo a la utilización de modelos matemáticos como SWMM, para la determinación de caudales máximos de precipitaciones. Es necesario obtener los datos de áreas, coeficientes de escorrentías e intensidad de precipitaciones. Es utilizado también para la

calibración del modelo a falta de valores reales de campo. El método racional es aplicable a áreas que no excedan las 13 km².

En el método el área es un valor fijo, indistinto a los periodos de retorno, como lo es el coeficiente de escorrentía y la intensidad, relacionados de manera proporcional con este periodo de retorno. Los coeficientes de escorrentía varían según los tipos de suelo y la impermeabilidad. Por otra parte, la intensidad se determina en base a la precipitación de diseño.

En el método racional será válido cuando el almacenamiento temporal de la escorrentía sobre el suelo, las variaciones temporales son pequeñas. (Campos, 2010). Este método es utilizado en la mayoría de trabajos de ingeniería, pudiendo entregar resultados satisfactorios para diseños de drenajes pluviales urbanos, retenciones pequeñas y el dimensionamiento de captaciones en vías y colectores. (Colorado, 2016).

Para calcular el coeficiente de escorrentía se ha ponderado según el área, dividiéndolo en pistas, techos y área verde, donde las pistas y techos se consideran con el mismo coeficiente, y el área verde en función al porcentaje de cobertura de pastos y pendiente de cada área. (parámetros fisiográficos), se utiliza dos premisas: Se sabe que a mayor porcentaje de áreas verdes habrá menor escorrentía, y a mayor pendiente la escorrentía se incrementa. Los coeficientes de escorrentía y el caudal calculado fueron comparados con los obtenidos en el modelo SWMM.

En la investigación se ha considerado que la escorrentía máxima para el diseño está en función de la precipitación promedio durante el Tc, además la altura de

precipitación es la que se da desde el inicio de la lluvia hasta el T_c , la altura de precipitación de diseño en este lapso de tiempo se convierte en intensidad promedio de precipitación para el periodo, como se mostró en las figuras N° 28 y N° 29.

Es importante en el diseño considerar las normativas vigentes en el Perú, para lo cual también se hace referencia a la tabla N° 22 para el modelado empleado.

Tabla N° 22: Coeficiente de escorrentía promedio en zonas urbanas para periodos de retorno de 5 a 10 años de periodo de retorno

Características de la superficie	Coeficiente de escorrentía	
	Min	Max
Calles		
Pavimento asfáltico	0.70	0.95
Pavimento de concreto	0.80	0.95
Pavimento de Adoquines	0.70	0.85
Veredas	0.70	0.95
Techos y azoteas	0.75	0.95
Césped, suelo arenoso		
Plano 0-2%	0.05	0.10
Promedio 2-7%	0.10	0.15
Pendiente superior a 7%	0.15	0.20
Césped, suelo arcilloso		
Plano 0-2%	0.13	0.17
Promedio 2-7%	0.18	0.22
Pendiente superior a 7%	0.25	0.35
Praderas	0.20	

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones OS-060

Es así que para el presente trabajo se utilizaron los valores de coeficientes de escorrentía de acuerdo a la normativa según el reglamento nacional de edificaciones OS 060 y la norma CE 040.

Por lo tanto, para concreto/techos según la tabla N°10, se determinó para un periodo de retorno de 10, se tiene un Coeficiente de escorrentía de 0.83, y para Las zonas verdes incluyendo jardinerías y otros dentro del área de la investigación

se ha considerado según la pendiente en la que se encuentra que es menor de 2%, se tiene un coeficiente de escorrentía de 0.37. Para el estudio en función del área de la cuenca a investigar se ha determinado el valor del coeficiente de escorrentía como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla N° 23: Coeficiente de escorrentía adoptado

Características del área	C	HA
Concreto/Techos	0.83	7.59
Jardines/áreas verdes y otros	0.37	1.61
Área Total de estudio		9.20
Coeficiente escorrentía adoptado	0.75	

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo, del método racional es necesario utilizar la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360}$$

En la investigación se tiene un área de la cuenca de 9.20 ha, la intensidad considerada para el estudio fue de 113.33 mm/h y con el coeficiente de escorrentía adoptado podemos determinar un caudal de 2.17 m³/s.

4.1.7. Parámetros normativos considerados

Es importante recordar que según la normativa en lugares donde se presente precipitaciones frecuentes con lluvias iguales o superiores a 10 mm en 24 horas, se deberá contar con un sistema de drenaje pluvial de manera obligatoria. Los caudales se calculan con el método racional en áreas menores o iguales de 13 km², como la de la investigación, el periodo de retorno en zona urbana es de 10 años y para zona rural de 2 años. Se considera pendientes longitudinales mayores a 0.5% y transversales entre 2 a 4% con respecto a la orientación de los flujos.

En la Resolución Ministerial 126-2021-VIVIENDA, se modifica la denominación y el contenido de la Norma Técnica OS.060 Drenaje Pluvial Urbano, y se denomina ahora Norma Técnica CE.040 Drenaje Pluvial del Reglamento Nacional de Edificaciones. Esta normativa aporta técnicamente a proyectos integrales y de sostenibilidad en drenaje pluvial, integrando estructuras complementarias que permitan retener, infiltrar, filtrar las precipitaciones y prevenir inundaciones. Por ello la importancia de esta investigación. Por lo tanto, se considera también los diámetros mínimos para el modelado que en este caso la N.T. CE.040 señala que en el caso de tuberías circulares el diámetro mínimo es de 0.45m. Sin embargo, en la N.T. OS.060, se indica en tuberías de colector troncal el diámetro mínimo es de 0.50 m, y en el caso de Lateral troncal y conductor lateral 0.40 m, para la investigación asumimos lo indicado en la N.T CE.040. Las tuberías deberán cumplir las especificaciones técnicas vigentes, con respecto a la profundidad mínima a la clave de la tubería desde la rasante de la calzada se considera 1 metro, en el diseño hidráulico para las tuberías de PVC debemos de considerar un coeficiente de rugosidad de 0.010, las velocidades mínimas considerada es de 0.90 m/s y no deberá exceder a 6 m/s. Las pendientes mínimas de acuerdo a los diámetros que satisfagan la velocidad, en algunos tramos considerados se deberá adecuar en la profundidad de excavación, de manera razonable que no afecte o genere sobre costos, debido a que la normativa nos pide un diámetro mínimo.

4.1.8. Ajustes del modelo SWMM

Para el diseño de lluvia, en el modelamiento con el EPA SWMM, y en función al área la pendiente, se ha determinado una duración de 3 horas, puesto que se

aprecia mayor daño a las infraestructuras con precipitaciones largas, de baja intensidad, en comparación con precipitaciones rápidas y fuertes, como nuestra investigación se realiza en una zona de Sierra esta característica de precipitaciones largas es una constante.

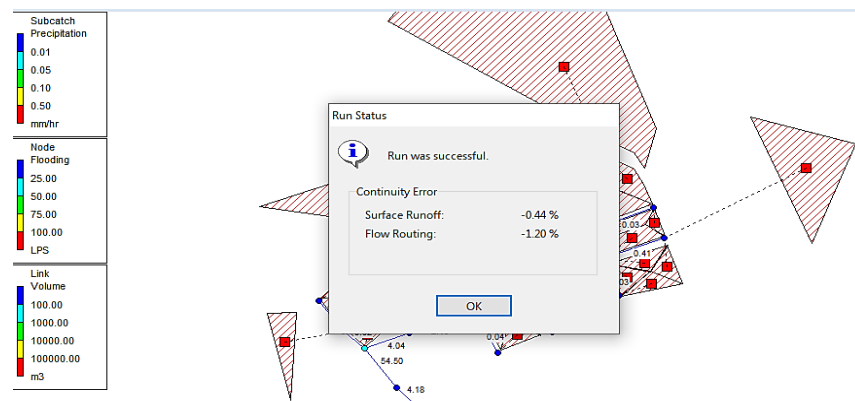
Otro aspecto considerado en el modelado es el número de curva en este caso para la investigación según el método del servicio de conservación de suelos de estados unidos, el número de curva corresponde a un suelo denominado como clase textural C, con tasas de infiltración bajas, cuando están completamente mojados, debido a ser un suelo margo arcilloso, que años atrás fue de uso agrícola, modificado actualmente por el crecimiento poblacional, y por ello ha sufrido una modificación de su estructura, por lo que corresponde un numero de curva según calles y carreteras pavimentadas, con cuencas y colectores de drenaje, un numero de curva de 98, y según la tablas de número de curva para áreas urbanas en la zona urbana completamente desarrollada con malas condiciones es decir con un porcentaje mayor al 50% de cubiertas se considera un numero de curva de 86. Con estos valores se realizó el modelamiento de ambas alternativas.

También para el modelo se ha determinado un n de Manning de 0.012, debido que se tiene en la zona concreto liso lo que contempla pavimentos y techos, y en la parte permeable se ha considerado un valor de 0.13 como pastos naturales, en las jardinerías. Considerando un porcentaje de área permeable y otra impermeable que es menor como en una cuenca urbana típica, debido a la casi inexistencia de áreas verdes en un futuro cercano, porque no existirán.

Para la validación y la calibración del modelo se ha considerado según el manual del software EPA SWMM en su versión 5.1, un error de continuidad de $\pm 10\%$ en

el balance de las masas, en la escorrentía superficial un -0.44% y con respecto a la ruta de flujo un -1.20% , lo cual asegura la confiabilidad de la simulación. Por ello es fundamental calibrar nuestro modelo hidráulico, de manera que se garantice o asegure la obtención de valores similares a la realidad. Esto se perfecciona con la incorporación de datos de campo y las normas vigentes.

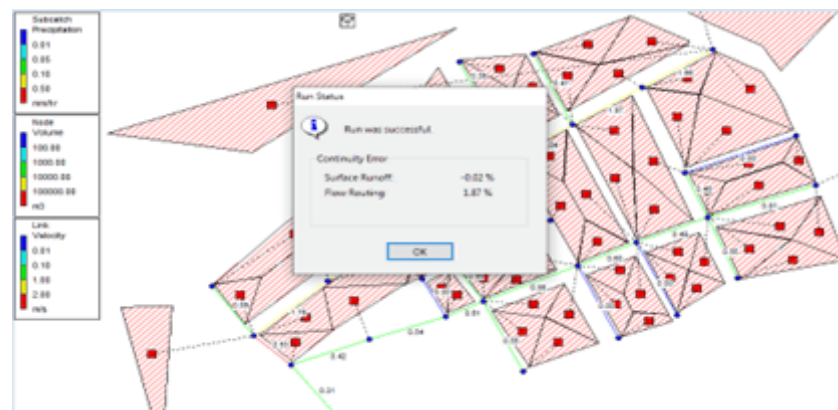
Figura N° 35: Balance de masas sin SUDS



Fuente: Elaboración propia

Para poder cumplir los objetivos propuestos en la investigación también se ha desarrollado un modelamiento considerando la implementación de sistemas de drenaje urbano sostenible, donde tenemos un balance de masas, en la escorrentía superficial un -0.02% y con respecto a la ruta de flujo un 1.87% , lo cual asegura la confiabilidad de la simulación como se aprecia a continuación:

Figura N° 36: Balance de masas con SUDS



Fuente: Elaboración propia

En el análisis desarrollado se ha podido constatar que los factores que afectan directamente a los caudales son la forma de la cuenta, y su porcentaje de permeabilidad, por otra parte, la variabilidad del coeficiente de escorrentía afecta directamente y en gran medida al caudal, lo cual se comprobó usando el método racional y comparándolo con el modelado. Para estos fines se considera la tabla N° 24, de sensibilidad de variables para nuestro modelado.

Tabla N° 24: Sensibilidad de variables

Propiedades		Caudal		Coeficiente de escorrentía	
Ancho	▲	Aumento considerable	▲	Aumento imperceptible	
Pendiente	▲	Aumento considerable	▲	Aumento imperceptible	
% imperv	▲	Aumento considerable	▲	Aumento considerable	▲
N imperv	▲	Disminución mínima		Disminución imperceptible	
N perv	▲	Disminución mínima		Disminución imperceptible	
D store imperv	▲	Disminución imperceptible		Disminución mínima	
D store perv	▲	Disminución mínima		Disminución mínima	
% zero imperv	▲	Aumento imperceptible		Aumento mínimo	
CN	▲	Aumento considerable	▲	Aumento considerable	▲
Drying time	▲	No afecta		No afecta	

Fuente: Elaboración propia

A pesar de los mejores ajustes del modelo, la similitud con el método racional no se logra de manera muy exacta, hay que considerar que en nuestra investigación el caudal considerando el método racional es mucho mayor a lo que podemos determinar con un modelo más realista como el SWMM, donde podemos notar grandes diferencias que de no considerarlas podríamos sobredimensionar los sistemas de drenaje urbano, puesto que con el método racional los caudales son mucho mayores. Si buscamos una igualdad entre ambos métodos podríamos llevar a un modelo con una configuración fuera de la realidad, debido a que requerirá modificar parámetros que no se ajustan a la normatividad vigente ni a las características de la zona donde se ejecuta el proyecto.

Para la modelación de nuestro sistema de drenaje pluvial urbano se determina el hietograma, el pluviógrafo, las subcuencas, los nudos, conductos, colectores y aforos, que es el último punto de la red, en donde se produce la descarga. Cada nodo ingresado también contempla su profundidad y altitud sobre el nivel del mar.

El análisis que se realiza para el modelo es cinemático, es decir no pude determinar la evolución de los tipos de flujos generados en el transcurso de las lluvias y su recorrido, sin embargo, el EPA SWMM lo considera como un flujo permanente.

Debido a la presencia de buzones y aforos el agua podría generar remanso aguas arriba o resaltos hidráulicos aguas debajo de esto, los que se consideran como flujos gradualmente variados y rápidamente variados, los cuales en la investigación no se presentaron, pero en otras investigaciones hay que considerar la posibilidad de ocurrencia. Así mismo las diferencias de pendientes, cambios de diámetros, caídas o incrementos de precipitaciones generan variaciones en el tipo de flujo, por lo que en el modelado se han controlado, para evitar estos cambios, que podrían llevar de un flujo subcrítico a uno supercrítico, para lo cual se requeriría disipadores de energía o saltos.

4.1.9. Diseño de la red de drenaje

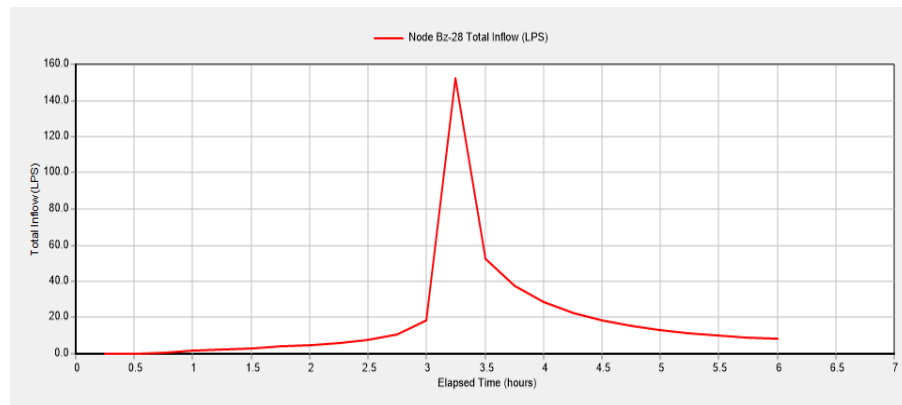
El diseño propuesto se propuso en base a la normatividad vigente, se calibro y valido como se indica en el acápite anterior, luego se ha definido la ubicación de los colectores que captaran el agua y eviten la acumulación de esta escorrentía superficial, que parte de ella es producto de las precipitaciones que caen en los techos de las viviendas, las cuales escurren y se conducen a través de cunetas y pistas hacia sumideros, que están conectados a los colectores. Además, que se ha

considerado en el diseño de los pavimentos el bombeo según la zona donde se ubica la investigación con un 2%.

Todos los colectores, se han trazado y diseñado de manera que permitan un adecuado cambio de dirección en función de los sentidos de la pendiente, y las condiciones y características de la topografía. Ya como recomendación para el proceso constructivo o elaboración de un expediente técnico, en tramos donde se tenga pendientes que no se adecuen con los requerimientos mínimos se podría profundizar la zanja y darle la inclinación que permita cumplir con las velocidades mínimas, otra opción es la de reducir diámetros, pero esto requerirá también un análisis de los sobre costos que no es parte de nuestra investigación.

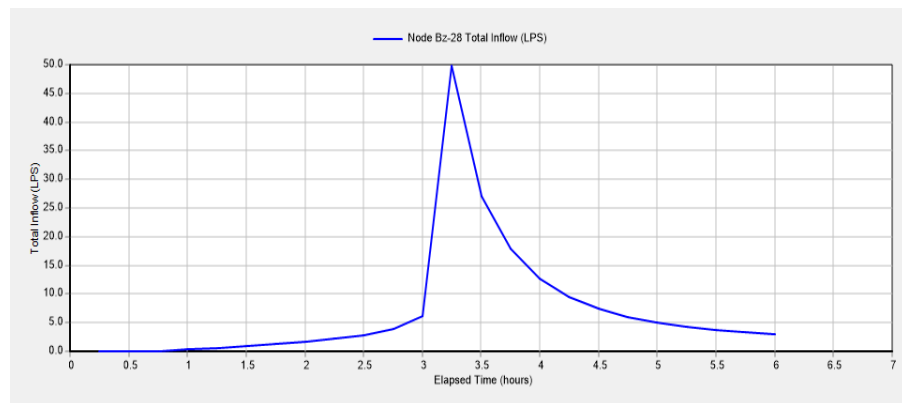
Los colectores son diseñados como tuberías de PVC los que tienen una sección transversal circular como indica la normativa con un diámetro mínimo que de acuerdo a nuestra propuesta es suficiente para solucionar el problema como se mostrara más adelante en relación a nuestros resultados. Con el modelado se logra obtener los caudales de escurrimiento de la cuenca, y permite analizar el comportamiento en la urbanización, en todo el recorrido que se requiere, logrando evacuar un caudal de 152.09 lps, el que se presenta a las 3 horas con 30 minutos, cuando se modela sin considerar los sistemas y de drenaje urbano sostenible, el que fue medido en el punto más crítico donde convergen los dos tramos que permiten evacuar las escorrentías urbanas de la urbanización, y un caudal de 49.81 lps, que se presenta a las 3 horas con 15 minutos, cuando se diseña con SUDS.

Figura N° 37: Descarga del punto crítico sin SUDS



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 38: Descarga del punto crítico con SUDS



Fuente: Elaboración propia

Luego de analizar la escorrentía urbana en la urbanización, para optimizar el drenaje urbano sostenible, podemos indicar que la normativa vigente indica como método recomendado la utilización del método racional, pero siguiendo el procedimiento se debería de diseñar el sistema de drenaje con un caudal muy alto, por lo que en relación a nuestro objetivo podemos indicar que se debe de utilizar este modelo SWMM, que permite mejorar todos los aspectos hidrológicos, permitiendo cálculos muchos más amplios y con más posibilidades de mejoras, con relación al método racional, lo que permitirá modelar estos sistemas, con más exactitud, y representando el comportamiento dinámico y real de las cuencas urbanas, en funcionamiento total de las redes, lo cual no permite también

optimizar el sistema, y como consecuencia minimizar los costos y los impactos, creando soluciones alternativas que también contribuyan a un mejor uso de los recursos hídricos y en muchos casos el reúso, y mejora de la calidad ambiental en las zonas de intervención. Como se señaló en el punto anterior si usamos el método racional se sobre dimensionaría el sistema, con un modelado más real vemos que llegamos a tener un valor mucho menor y si consideramos la implementación de SUDS el valor se reduce considerablemente por lo que la investigación demuestra que podemos reducir costos.

Para el diseño de modelos, sin considerar los sistemas urbanos de drenaje sostenible y para el sistema que contempla la utilización de los mismos, se verifico las velocidades mínimas según la norma C.E 0.40, que también con respecto a las velocidades mínimas señala 0.90 m/s, luego identificamos que si utilizamos los SUDS, estos diámetros podrían ser reducidos considerablemente, a lo cual aún la normativa peruana, no lo contempla, o no ha sido modificada según estos mecanismos, puesto que recién ha incorporado la posibilidad de utilizar estos sistemas dentro de sus normativas, para futuras investigaciones estos resultados serán de gran ayuda, y se espera que en los próximos años el estado modifique las normativas, como ya en otros países en el mundo, debido a que se debe contar con medidas que permitan una mejor toma de decisiones con respecto a los recursos hídricos cada vez más escasos.

Tabla N° 25: Diseño de tuberías sin SUDS

Link	Maximum (Flow) LPS	Hour of máximo Flow	Maximum (velocity) m/sec	Max./Full Flow	Max./Full Depth
Tub-1	2.07	03:11	0.90	0.00	0.04
Tub-2	1.35	03:11	0.91	0.00	0.03
Tub-4	0.93	03:11	1.00	0.00	0.02
Tub-5	7.67	03:11	1.08	0.02	0.09
Tub-6	4.39	03:11	0.94	0.01	0.07
Tub-7	85.66	03:12	2.28	0.18	0.29
Tub-8	83.35	03:11	1.27	0.39	0.43
Tub-9	77.28	03:11	2.42	0.14	0.26
Tub-10	74.64	03:11	2.02	0.18	0.28
Tub-11	97.02	03:12	1.46	0.40	0.44
Tub-12	101.98	03:13	2.26	0.23	0.33
Tub-13	4.71	03:11	1.21	0.01	0.06
Tub-14	109.38	03:12	3.28	0.15	0.26
Tub-18	4.28	03:11	0.91	0.01	0.07
Tub-21	56.44	03:12	1.13	0.27	0.36
Tub-22	0.76	03:11	0.98	0.00	0.02
Tub-23	69.35	03:12	1.27	0.30	0.38
Tub-25	1	03:11	1.03	0.00	0.02
Tub-26	51.91	03:11	1.27	0.20	0.30
Tub-30	41.01	03:11	1.03	0.20	0.30
Tub-31	20.07	03:11	2.27	0.02	0.11
Tub-32	0.64	03:11	0.90	0.00	0.02
Tub-33	1.9	03:11	1.26	0.00	0.03
Tub-34	69.41	03:12	1.07	0.38	0.43
Tub-35	69.59	03:13	0.95	0.47	0.48
Tub-36	9.36	03:11	2.24	0.01	0.06
Tub-41	11.62	03:11	0.95	0.04	0.13
Tub-43	1.83	03:11	1.21	0.00	0.03
Tub-50	122.69	03:18	0.97	1.05	0.86
Tub-51	122.48	03:19	1.15	0.74	0.64
Tub-52	0.33	03:11	0.90	0.00	0.01

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 26: Diseño de tuberías con SUDS

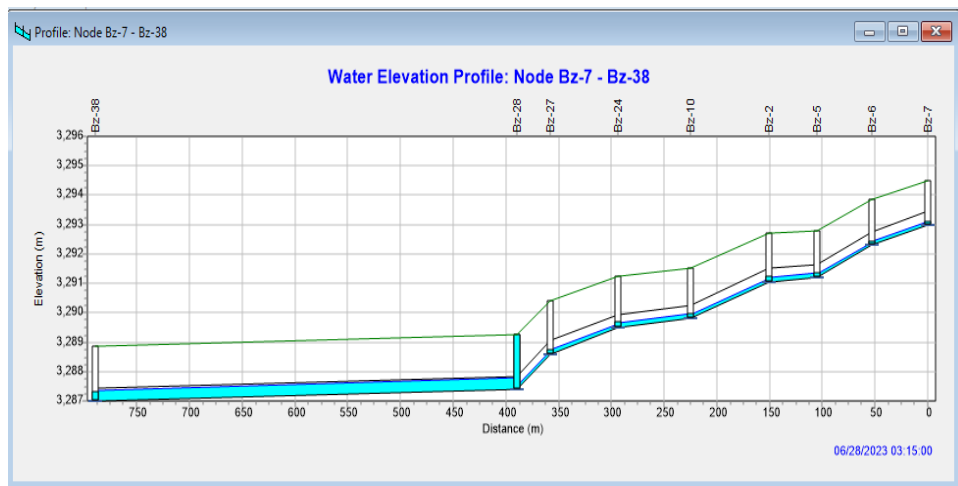
Link	Maximum (Flow) LPS	Hour of máximo Flow	Maximum (velocity) m/sec	Max./Full Flow	Max./Full Depth
Tub-1	0.25	03:11	0.50	0.00	0.02
Tub-2	0.16	03:11	0.47	0.00	0.01
Tub-4	0.12	03:11	0.49	0.00	0.01
Tub-5	0.87	03:12	0.57	0.00	0.04
Tub-6	0.51	03:12	0.57	0.00	0.03
Tub-7	44.06	03:12	1.89	0.09	0.20
Tub-8	43.87	03:12	1.06	0.21	0.31
Tub-9	43.36	03:11	2.04	0.08	0.19
Tub-10	43.32	03:11	1.72	0.10	0.22
Tub-11	44.99	03:13	1.18	0.18	0.29
Tub-12	45.28	03:14	1.79	0.10	0.22
Tub-13	0.58	03:11	0.66	0.00	0.03
Tub-14	45.86	03:14	2.55	0.06	0.17
Tub-18	0.5	03:12	0.56	0.00	0.03
Tub-21	4.77	03:13	0.56	0.02	0.10
Tub-22	0.09	03:11	0.47	0.00	0.01
Tub-23	6.02	03:14	0.63	0.03	0.11
Tub-25	0.12	03:11	0.51	0.00	0.01
Tub-26	4.4	03:12	0.63	0.02	0.09
Tub-30	3.25	03:12	0.50	0.02	0.09
Tub-31	0.83	03:11	0.87	0.00	0.02
Tub-32	0.08	03:12	0.43	0.00	0.01
Tub-33	0.23	03:11	0.66	0.00	0.01
Tub-34	5.97	03:15	0.54	0.03	0.12
Tub-35	5.78	03:16	0.47	0.04	0.13
Tub-36	1.09	03:11	1.17	0.00	0.02
Tub-41	1.41	03:11	0.51	0.00	0.05
Tub-43	0.22	03:11	0.63	0.00	0.01
Tub-50	39.36	03:23	0.70	0.34	0.39
Tub-51	39.09	03:25	0.67	0.33	0.40
Tub-52	0.04	03:11	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Con estos resultados podemos comprobar que se van a requerir diámetros mucho menores si se considera la utilización de los SUDs.

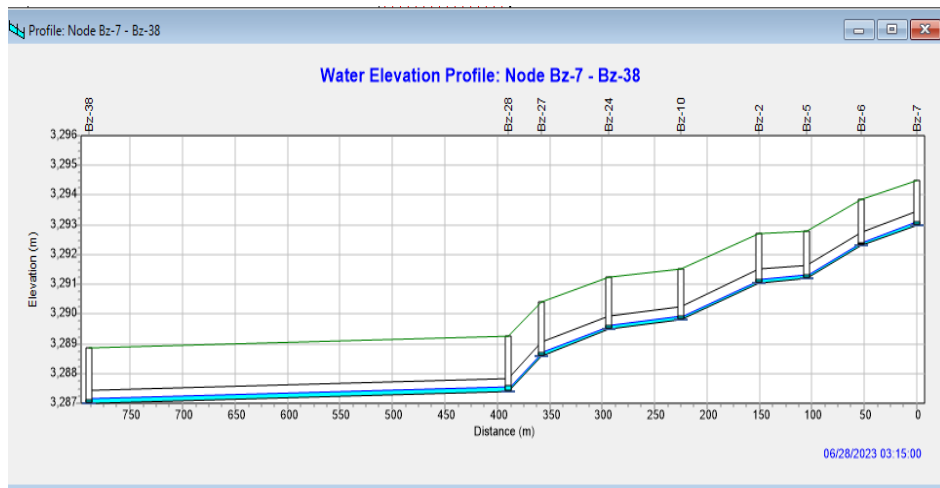
Para poder tener una idea mucho más clara de lo que sucede cuando se producen las precipitaciones a lo largo de tiempo de concentración, generando una situación real del comportamiento de la escorrentía urbana y los sistemas urbanos de drenaje sostenible, se presenta las simulaciones en el punto crítico y como se ha podido controlar con la utilización de SUDS.

Figura N° 39: Descarga del punto crítico sin SUDS



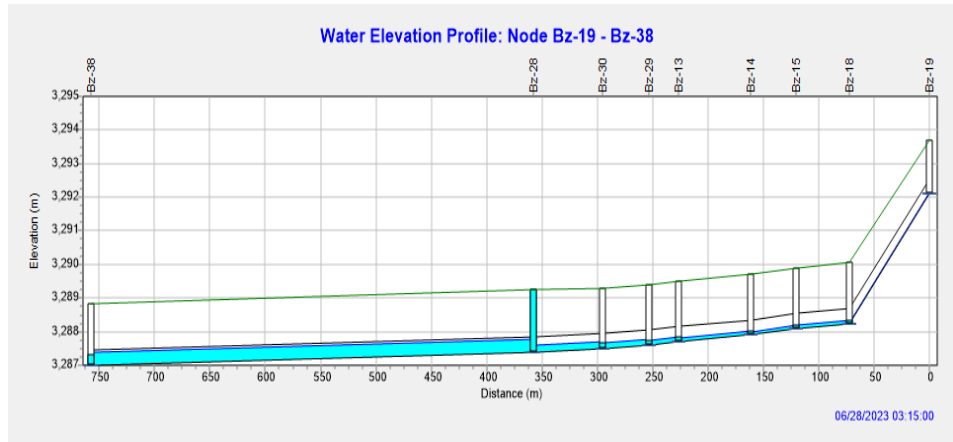
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 40: Descarga del punto crítico con SUDS



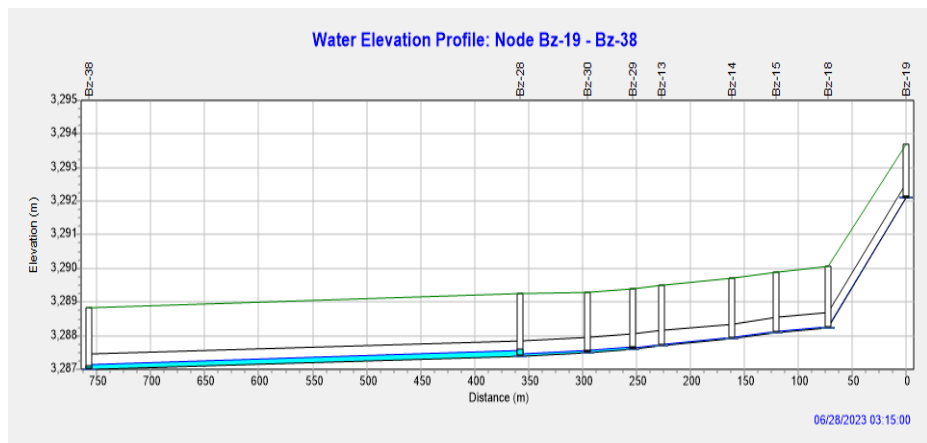
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 41: Descarga del punto crítico sin SUDS



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 42: Descarga del punto crítico con SUDS



Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en las figuras N°39 y N°41, que muestran el comportamiento en el buzón N° 38, donde se unen los dos tramos que parte desde el buzón N° 7 y N° 19 respectivamente, a las 3 horas con 15 minutos, el punto más desfavorable, y cuando no se considera la utilización de sistemas de drenaje urbano sostenible, se ve que el buzón colapsa, generando inundaciones en el punto más bajo de la urbanización.

Mientras que, con la utilización de los sistemas urbanos de drenaje sostenible, mostrados en las figuras N°40 y N°42, que muestran el comportamiento en el buzón N° 38, donde el flujo se puede controlar, significativamente, y las tuberías y buzones permanecen en condiciones normales de operación. Por lo que podemos señalar que se logra optimizar el drenaje urbano gracias a la utilización de estos sistemas.

4.2. Comportamiento de la esorrentía urbana y el incremento de la retención con drenaje urbano sostenible

Para poder entender el comportamiento de la esorrentía urbana y como esta actúa sobre el incremento de la retención, mediante el incremento de la retención de estas esorrentías, vamos a evaluar cómo se comporta en un diseño convencional aplicando la modelación SWMM, y luego como esta se comporta cuando se incorporan como sistema de drenaje urbano las zanjas de infiltración en la zona que genera un aporte incremental del sistema de la calles y área que se encuentra en la parte superior a la urbanización que no cuenta con un sistema de drenaje por tanto todo la esorrentía urbana será captada en gran medida en nuestro punto de inicio como una descarga adicional.

En esta zona como podemos ver en la figura N° 43, se pueden apreciar áreas donde se pueden construir estas zanjas de infiltración, las cuales mejoraran también el entorno, actual puesto que presentan áreas verdes colindantes con negocios de venta de helados, leche y otros, para nuestra propuesta se ha considerado un área de 181400 m², de donde se aplica un 5.51%, los que corresponden a 2569.83 m lineales, que tendrán un ancho de 3.60 m, haciendo una área de 9251.40m².

Figura N° 43: Áreas propuestas con zanjas de infiltración



Fuente: Elaboración propia

Las zanjas de filtración, forman parte de sistemas de retención dentro de los sistemas de drenaje urbano sostenible, con esta alternativa, se han obteniendo los resultados, mostrados en la tabla N° 27.

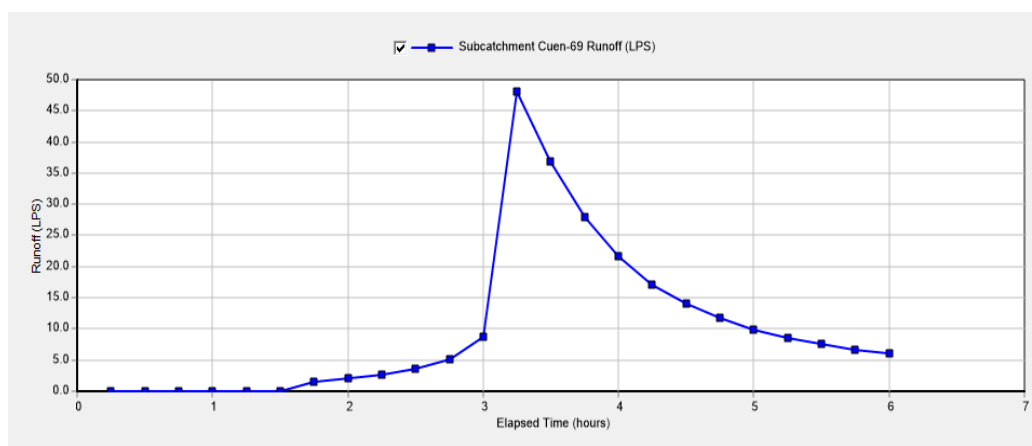
Tabla N° 27: Resultados sin uso de zanjas de filtración

Hours	Infiltration (mm/hr)	Runoff (LPS)
00:15:00	0.06	0.00
00:30:00	0.07	0.00
00:45:00	0.07	0.00
01:00:00	0.08	0.00
01:15:00	0.08	0.00
01:30:00	0.09	0.00
01:45:00	0.10	1.49
02:00:00	0.12	2.05
02:15:00	0.15	2.75
02:30:00	0.18	3.71
02:45:00	0.27	5.21
03:00:00	0.56	8.83
03:15:00	0.68	48.07
03:30:00	0.27	36.84
03:45:00	0.18	27.85
04:00:00	0.14	21.59
04:15:00	0.11	17.19

04:30:00	0.10	14.04
04:45:00	0.08	11.72
05:00:00	0.08	9.96
05:15:00	0.07	8.61
05:30:00	0.06	7.55
05:45:00	0.06	6.70
06:00:00	0.05	6.01

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 44: Escorrentía sin utilización de SUDS



Fuente: Elaboración propia

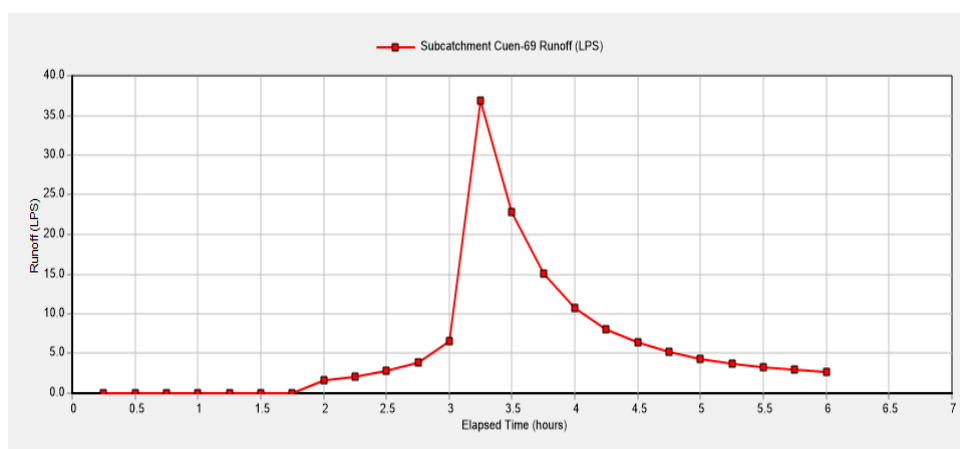
Tabla N° 28: Resultados con uso de zanjas de filtración

Hours	Infiltration (mm/hr)	Runoff (LPS)
00:15:00	0.07	0.00
00:30:00	0.08	0.00
00:45:00	0.08	0.00
01:00:00	0.09	0.00
01:15:00	0.10	0.00
01:30:00	0.11	0.00
01:45:00	0.12	0.00
02:00:00	0.14	1.67
02:15:00	0.17	2.52
02:30:00	0.22	3.28
02:45:00	0.31	4.55
03:00:00	0.66	8.04
03:15:00	0.81	39.99
03:30:00	0.32	24.13
03:45:00	0.21	15.91

04:00:00	0.16	11.34
04:15:00	0.13	8.48
04:30:00	0.11	6.72
04:45:00	0.10	5.29
05:00:00	0.09	4.39
05:15:00	0.08	3.78
05:30:00	0.07	3.32
05:45:00	0.07	2.96
06:00:00	0.06	2.68

Fuente: Elaboración propia

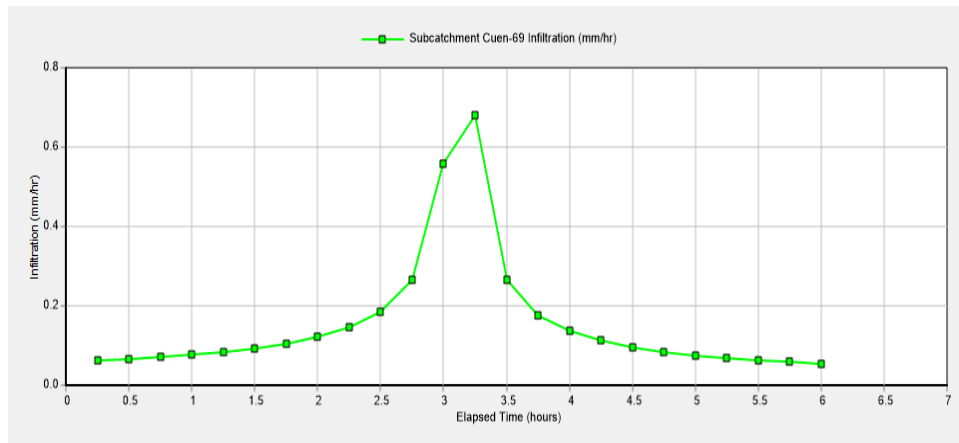
Figura N° 45: Escorrentía utilizando SUDS



Fuente: Elaboración propia

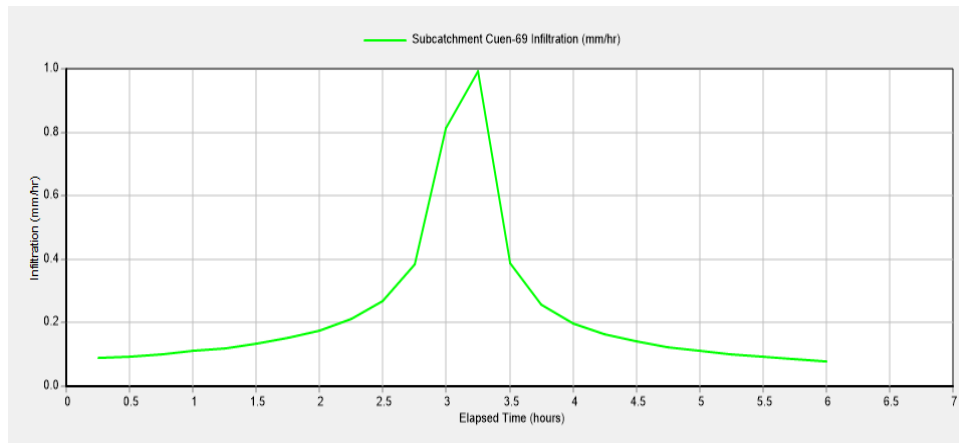
Según el modelamiento SWMM, la escorrentía urbana en el punto más crítico según el tiempo de concentración obtenido es de 48.07 lps , el que se presenta a las 3 horas con 15 minutos, cuando no utilizamos las zanjas de infiltración como sistema de retención, mientras que al utilizar las zanjas de infiltración en esta cuenca como se ha propuesto con ese porcentaje indicado se logra reducir las escorrentías a 39.99 lps, mientras que la infiltración se incrementa como se muestra en las gráficas siguientes:

Figura N° 46: Infiltración sin la utilización de SUDS



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 47: Infiltración con la utilización de SUDS

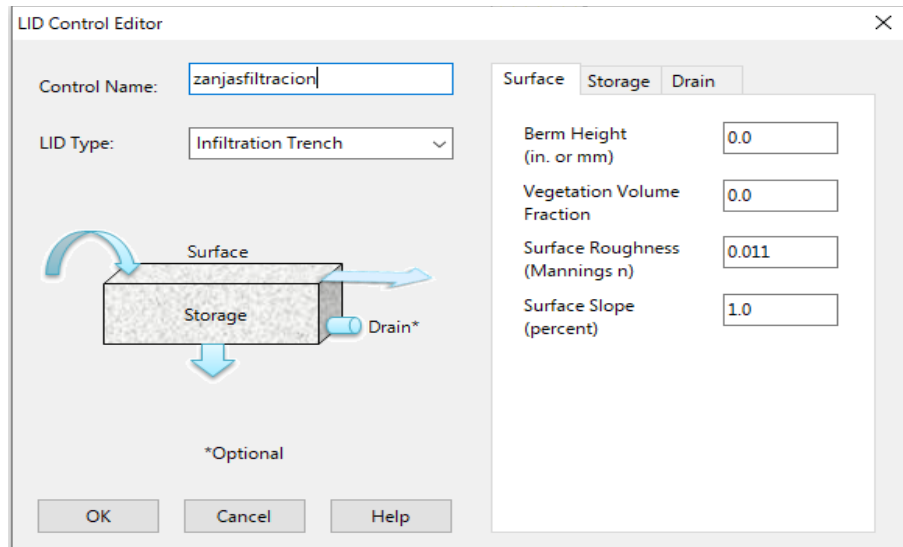


Fuente: Elaboración propia

En estas graficas podemos demostrar que la infiltración que se tiene en un sistema convencional sin la utilización de SUDS logra un valor de 0.68 mm/h mientras que, con la implementación de las zanjas de infiltración se incrementa a 0.99 mm/h, por lo tanto, hay mayor retención cumpliendo por tanto con la reducción de escorrentías y mejorando la retención del recurso hídrico.

Para la investigación las zanjas de infiltración fueron modeladas para la cuenca mostrada en la figura N° 43 y con las siguientes características:

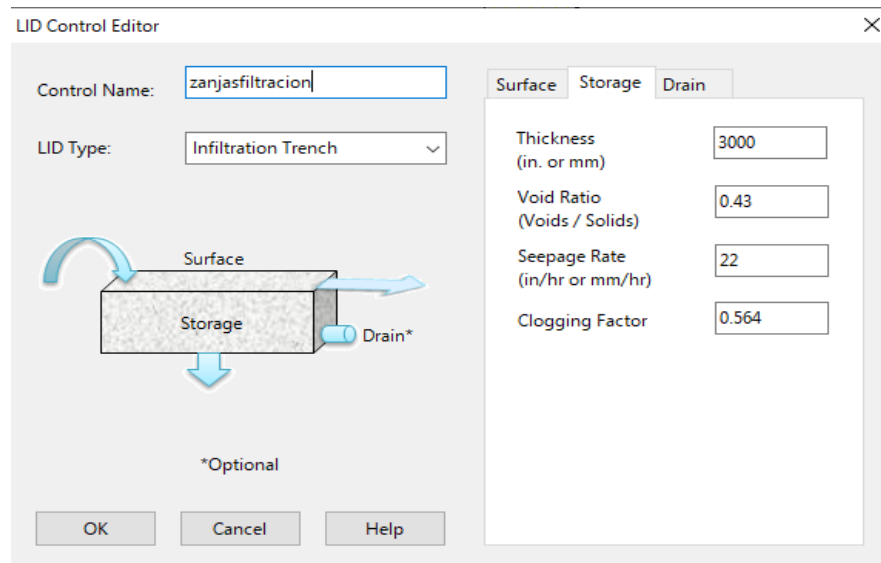
Figura N° 48: Diseño de superficies para zanjas de infiltración en SWMM



Fuente: Elaboración propia

En este caso no se considera una altura de berma, ni tampoco una fracción del volumen de vegetación (volumen ocupado por los tallos y las hojas) por ser Zanjas de filtración, pero si se ha considerado un coeficiente de rugosidad de 0.011 para las características y condiciones de las zanjas propuesta, y por último se consideró una pendiente de 1% en el modelado.

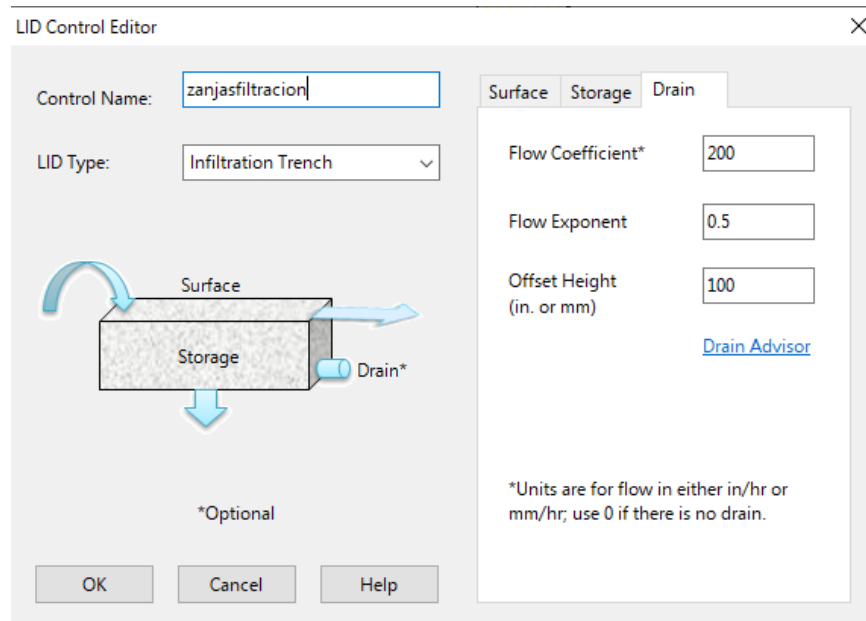
Figura N° 49: Diseño de almacenamiento para zanjas de infiltración en SWMM



Fuente: Elaboración propia

El espesor de almacenamiento de 3 m, un porcentaje de vacío de 0.43% con una separación 22%, característico de zanjas de infiltración y un factor de obstrucción de 0.564.

Figura N° 50: Diseño de drenaje para zanjas de infiltración en SWMM



Fuente: Elaboración propia

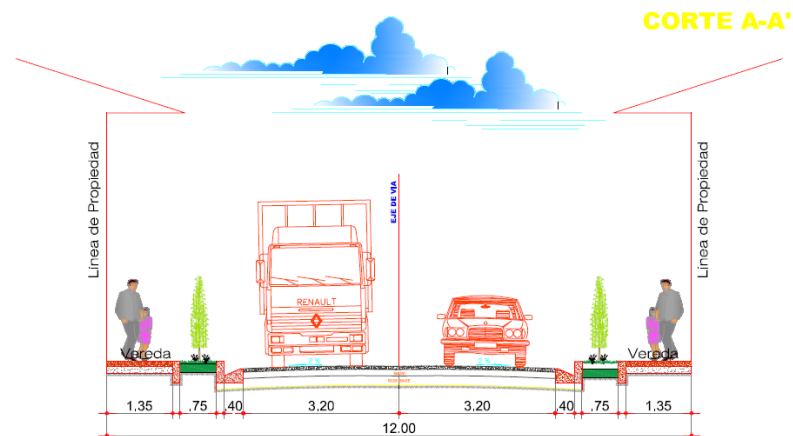
Con relación al drenaje se consideró un coeficiente de flujo de 200, con un exponente de 0.5 y una altura de compensación de 0.1 m.

4.3. Comportamiento de la escorrentía urbana y el incremento de la filtración con drenaje urbano sostenible

Para poder entender el comportamiento de la escorrentía urbana y como esta actúa sobre el incremento de la filtración, permitiendo incrementar las reservas en los estratos más profundos, y generar esa acumulación por espacios de tiempo mayores que generen escorrentías subterráneas, que puedan aportar a los acuíferos de las cuencas, vamos a evaluar cómo se comporta en un diseño convencional aplicando la modelación SWMM, y luego como esta se comporta

cuando se incorporan como sistema de drenaje urbano con jardines de lluvias en la urbanización, en la que se ha considerado en relación a el área según la secciones típicas, obtenidas del plan de desarrollo urbano del municipio provincial de Concepción, la que constituye un 12.50% del área del modelo en cada cuenca, y se muestra a continuación:

Figura N° 51: Diseño de sección de vía según PDU de la provincia



Fuente: Elaboración propia

En el modelado se tiene un error de continuidad de 0.0355% con los jardines de lluvias, un valor bastante aceptable y por debajo de los límites de calibración y ajuste para SWMM.

Tabla N° 29: Resultados de infiltración sin SUDS

Hours	Infiltration	Runoff	Storage
(h)	(mm/hr)	(LPS)	(m3)
00:15:00	0.050	0.000	0.140
00:30:00	0.050	0.350	0.570
00:45:00	0.060	1.580	1.860
01:00:00	0.060	1.990	3.630
01:15:00	0.070	2.290	5.060
01:30:00	0.080	2.610	6.200
01:45:00	0.090	4.470	7.290
02:00:00	0.100	5.500	8.500
02:15:00	0.120	6.890	9.940

02:30:00	0.150	8.950	11.830
02:45:00	0.220	12.680	14.690
03:00:00	0.460	24.250	20.650
03:15:00	0.550	82.920	87.310
03:30:00	0.220	47.970	50.390
03:45:00	0.140	34.710	37.640
04:00:00	0.110	26.680	30.750
04:15:00	0.090	21.320	25.940
04:30:00	0.080	17.530	22.480
04:45:00	0.070	14.770	19.840
05:00:00	0.060	12.680	17.750
05:15:00	0.060	11.080	16.070
05:30:00	0.050	9.810	14.700
05:45:00	0.050	8.790	13.560
06:00:00	0.040	7.960	12.620

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 30: Resultados con uso de jardines de lluvias

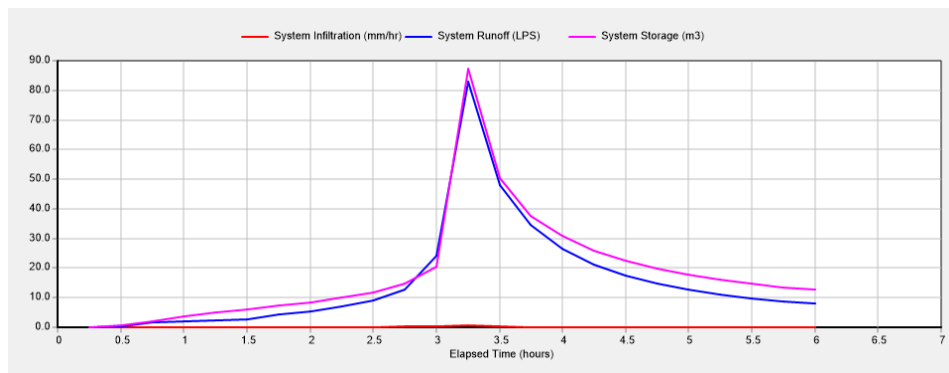
Hours	Infiltration	Runoff	Storage	continuity error (0.0355%)
(h)	(mm/hr)	(LPS)	(m3)	(LPS)
00:15:00	0.090	0.000	0.070	0.000
00:30:00	0.090	0.000	0.220	0.130
00:45:00	0.100	0.440	0.810	0.270
01:00:00	0.110	0.480	1.540	0.950
01:15:00	0.120	0.530	2.390	1.740
01:30:00	0.130	0.590	3.260	2.540
01:45:00	0.150	1.950	4.120	2.020
02:00:00	0.170	2.470	5.010	2.370
02:15:00	0.200	3.150	6.000	2.650
02:30:00	0.260	4.090	7.190	2.840
02:45:00	0.370	5.860	8.870	2.640
03:00:00	0.780	10.790	12.140	0.570
03:15:00	0.920	45.620	46.980	0.440
03:30:00	0.360	28.250	37.470	8.860
03:45:00	0.240	19.330	28.030	8.460
04:00:00	0.180	14.220	22.120	7.720
04:15:00	0.150	11.040	18.450	7.260
04:30:00	0.130	8.930	15.800	6.740
04:45:00	0.110	7.460	13.810	6.240
05:00:00	0.100	6.380	12.300	5.820
05:15:00	0.090	5.570	11.120	5.460

05:30:00	0.080	4.940	10.170	5.150
05:45:00	0.080	4.450	9.390	4.860
06:00:00	0.070	4.040	8.760	4.650

Fuente: Elaboración propia

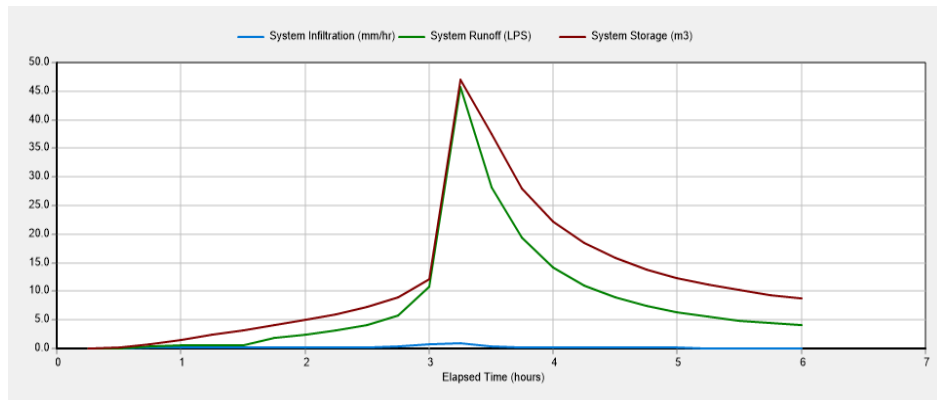
Como se puede apreciar en las tablas anteriores, al no considerar los sistemas de drenaje urbano sostenible se tiene en el tiempo más crítico de 3 horas con 15 minutos, una infiltración de 0.55 mm/h, presentando una escorrentía de 82.92 lps y un almacenamiento de 87.31 lps. Mientras que cuando se implementa los jardines de lluvias, adecuándolos a la sección de vía, en toda la urbanización, se incrementa la tasa de infiltración a 0.920 mm/h, es decir un 67.27% adicional, además la escorrentía se reduce a 45.62 lps, es decir 37.29 lps equivalente a un 44.98%, y también las necesidades de almacenamiento se reducen en 40.33 lps, es decir en un 46.19%. Para poder tener una idea más clara de esta reducción y mejora a nuestro diseño se presentan las siguientes figuras.

Figura N° 52: Infiltración – Escorrentía – Almacenamiento sin SUDS



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 53: Infiltración – Escorrentía – Almacenamiento con SUDS

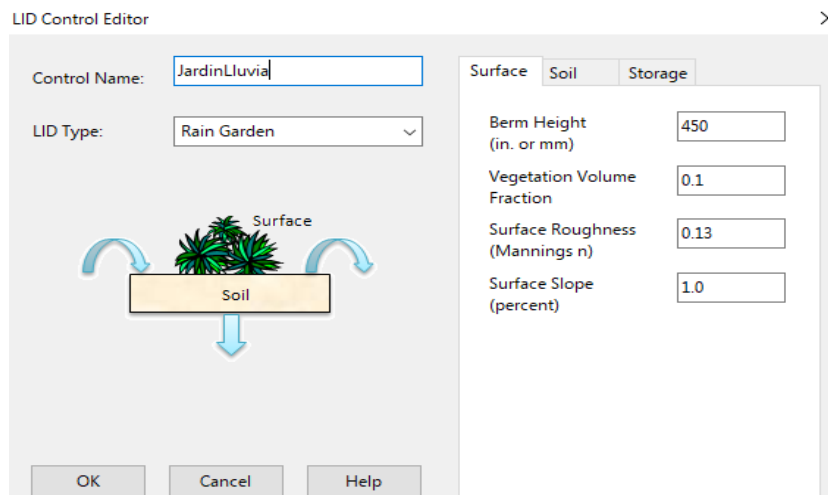


Fuente: Elaboración propia

Por lo que podemos indicar que luego de analizar el comportamiento de la escorrentía urbana frente al incremento de la filtración con drenaje urbano sostenible, esta permite una reducción haciendo más eficiente al sistema de drenaje.

Para la investigación se implementó en el modelo los jardines de lluvias que fueron modelados con las siguientes características:

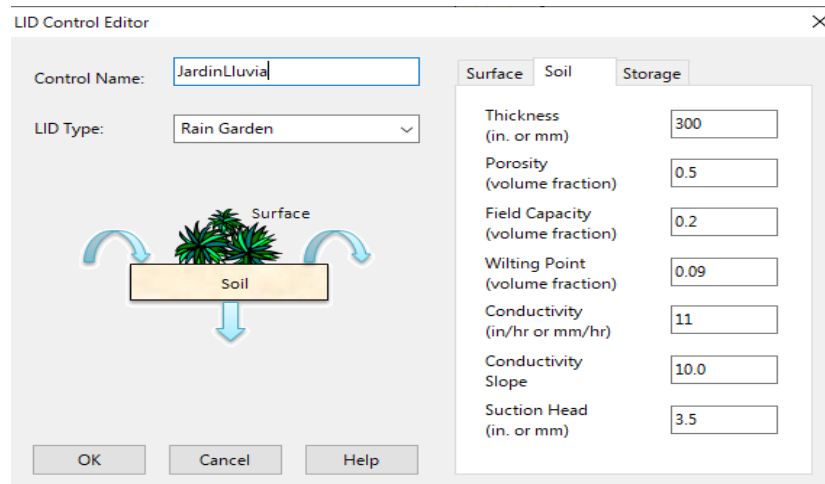
Figura N° 54: Diseño de superficies para jardines de lluvia en SWMM



Fuente: Elaboración propia

En este caso se considera una altura de berma de 0.45 m, una fracción del volumen de vegetación (volumen ocupado por los tallos y las hojas) de 0.10, se ha considerado un coeficiente de rugosidad de 0.13, y por último se consideró una pendiente de 1% en el modelado.

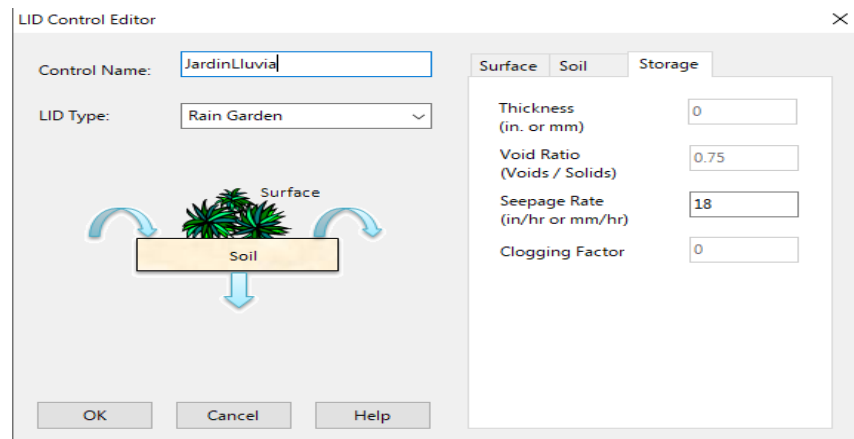
Figura N° 55: Diseño de suelos para jardín de lluvias en SWMM



Fuente: Elaboración propia

El espesor de almacenamiento de 0.30 m, una porosidad de 0.50 en términos de % de volumen de agua/ volumen de suelo, una capacidad de campo 0.20% de volumen de agua/ volumen de suelo, punto de marchitez permanente 0.09% de volumen de agua/ volumen de suelo, conductividad 11 mm/hr , pendiente de la conductividad 10% y una cabecera de succión de 3.5 mm.

Figura N° 56: Diseño de almacenamiento para jardín de lluvia en SWMM



Fuente: Elaboración propia

Se considero un espesor de 0 para el almacenamiento, un porcentaje de vacíos de 0.75 y un rango de filtración de 18 mm/h, no se considera un coeficiente de obstrucción.

4.4. Comportamiento de la escorrentía urbana y la mejora de control de fuentes con drenaje urbano sostenible

Para poder entender el comportamiento de la escorrentía urbana y como esta actúa sobre el control de fuentes, permitiendo incrementar la retención, reducir las escorrentías superficiales, para lo cual, vamos a evaluar cómo se comporta en un diseño convencional aplicando la modelación SWMM, y luego como esta se comporta cuando se incorporan como sistema de drenaje urbano con pavimento poroso, en la urbanización, en la que se ha considerado la secciones típicas, de acuerdo al plan de desarrollo urbano del municipio provincial de Concepción, que se pueden ver en la figura N°51, el pavimento constituye entonces un 53.34% del área del modelo en cada cuenca, y la totalidad de las vías. En el modelado se tiene un error de continuidad de 0.02% con los pavimentos porosos, un valor bastante aceptable y por debajo de los límites de calibración y ajuste para SWMM.

Tabla N° 31: Resultados con pavimento porosos

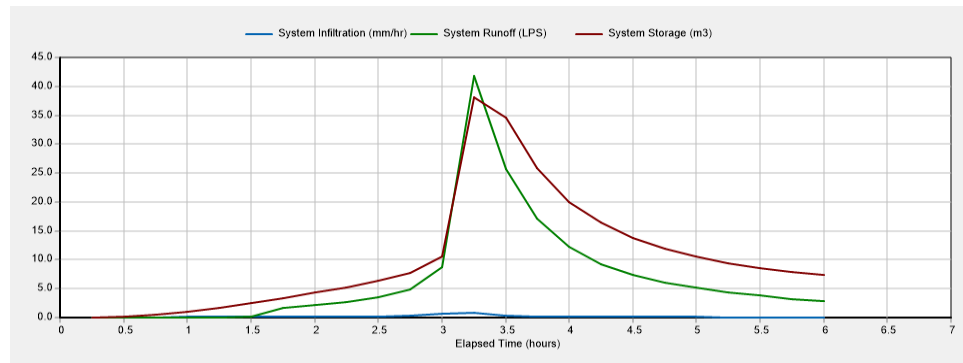
Hours	Infiltration	Runoff	Storage
(h)	(mm/hr)	(LPS)	(m3)
00:15:00	0.070	0.000	0.050
00:30:00	0.080	0.000	0.140
00:45:00	0.080	0.000	0.500
01:00:00	0.090	0.000	1.040
01:15:00	0.100	0.000	1.720
01:30:00	0.110	0.190	2.550
01:45:00	0.120	1.640	3.410
02:00:00	0.140	2.120	4.280
02:15:00	0.170	2.710	5.220
02:30:00	0.220	3.540	6.300
02:45:00	0.320	4.930	7.780
03:00:00	0.660	8.770	10.500
03:15:00	0.810	41.850	38.070
03:30:00	0.320	25.710	34.560
03:45:00	0.210	17.170	25.810
04:00:00	0.160	12.340	20.020
04:15:00	0.130	9.270	16.370
04:30:00	0.110	7.370	13.820
04:45:00	0.100	6.070	11.940
05:00:00	0.090	5.130	10.540
05:15:00	0.080	4.440	9.450
05:30:00	0.070	3.910	8.590
05:45:00	0.070	3.200	7.890
06:00:00	0.060	2.880	7.320

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en las tablas N° 29 y N° 30, al no considerar los sistemas de drenaje urbano sostenible se tiene en el tiempo más crítico de 3 horas con 15 minutos, una infiltración de 0.55 mm/h, presentando una escorrentía de 82.92 lps y un almacenamiento de 87.31 lps. Mientras que cuando se implementa el pavimento poroso, a la sección de vía, en toda la urbanización, se incrementa la tasa de infiltración a 0.81 mm/h, es decir un 47.27% adicional, además la escorrentía se reduce a 41.85 lps, es decir 41.07 lps equivalente a un 49.53%, y también las necesidades de almacenamiento se reducen en 49.24 lps, es decir en

un 56.397%. Como podemos señalar la reducción con pavimentos porosos, nos permite tener mejores resultados, un mejor control de escorrentías, y también mayor infiltración. Para poder tener una idea más clara de esta reducción y mejora a nuestro diseño se presentan las siguientes figuras.

Figura N° 57: Infiltración – Escorrentía – Almacenamiento con SUDS

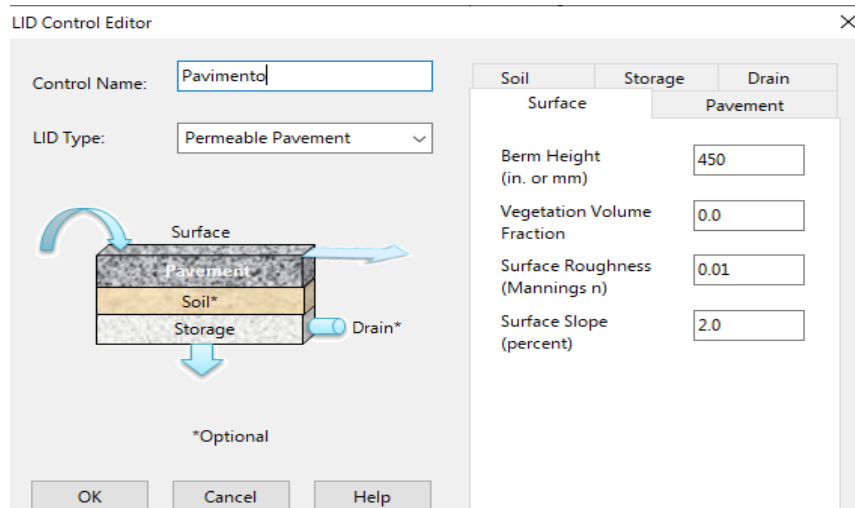


Fuente: Elaboración propia

Por lo que podemos indicar que luego de analizar el comportamiento de la escorrentía urbana frente la mejora del control de fuentes con drenaje urbano sostenible, esta permite una reducción mucho mayor que las zanjas de infiltración y que los jardines de lluvias, haciendo mucho más eficiente al sistema de drenaje. Por lo que al modelar las 3 alternativas para este sistema planteado en la urbanización podemos indicar que se logra cumplir los objetivos propuestos.

Para la investigación para el control de fuentes se modelo un pavimento poroso para el sistema de drenaje urbano sostenible con las siguientes características:

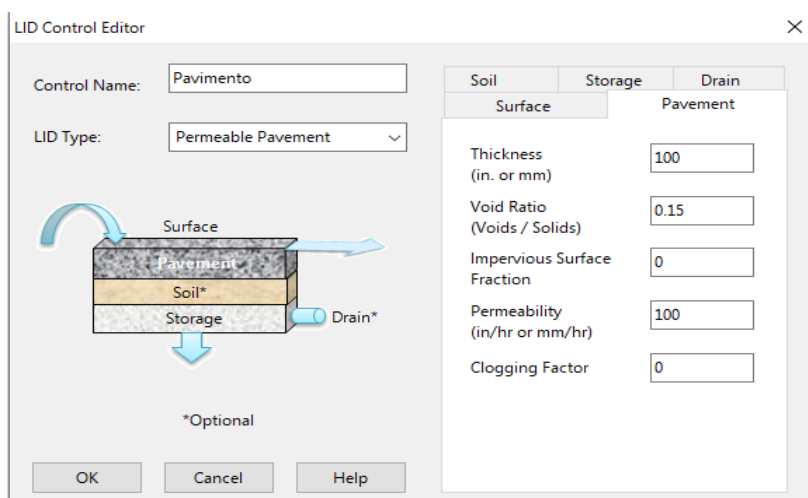
Figura N° 58: Diseño de superficies para pavimento poroso en SWMM



Fuente: Elaboración propia

En este caso se considera una altura de berma de 0.45 m, no se considera fracción del volumen de vegetación (volumen ocupado por los tallos y las hojas) por ser pavimento poroso, se ha considerado un coeficiente de rugosidad de 0.01 para las características y condiciones del pavimento poroso, y por último se consideró una pendiente de 2% en el modelado, según el bombeo necesario según reglamento y normativas vigentes, para un proyecto en la Sierra.

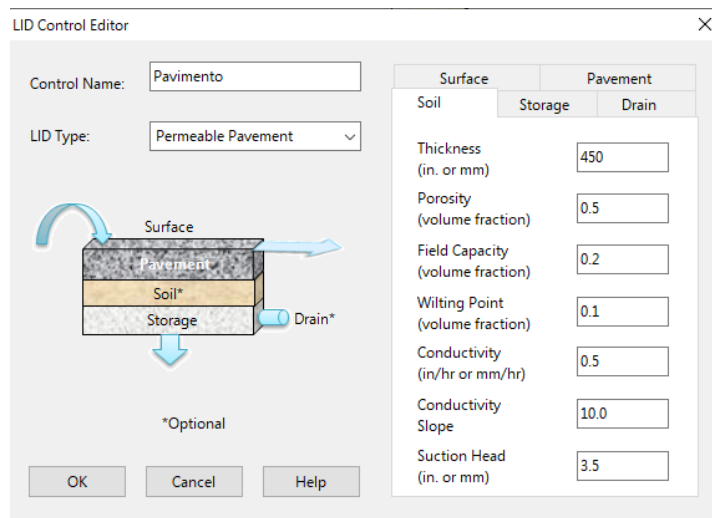
Figura N° 59: Diseño de pavimento poroso en SWMM



Fuente: Elaboración propia

El espesor de pavimento se ha considerado 0.10 m que es un valor utilizado normalmente para pavimentos de bajo tránsito y las condiciones para la urbanización, un porcentaje de vacío de 0.15% con una superficie impermeable modelado como 0%, por lo tanto, la permeabilidad es de 100% y un factor de obstrucción de 0.

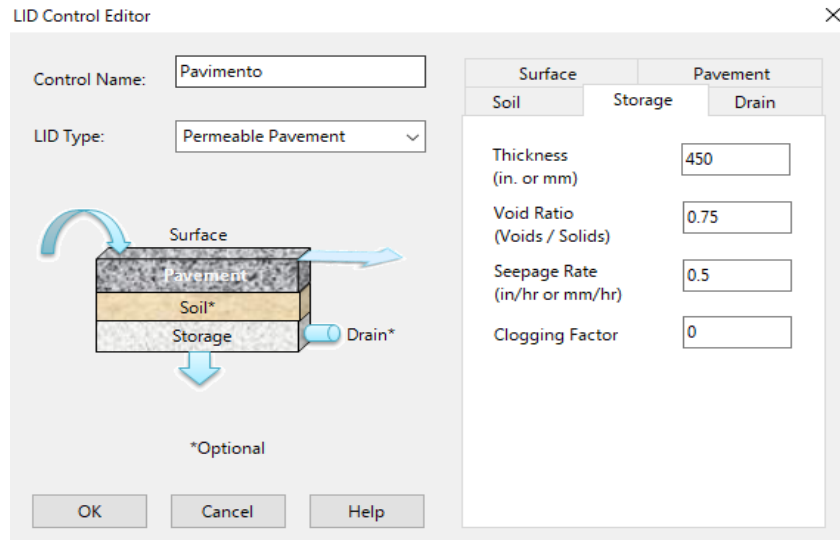
Figura N° 60: Diseño de suelos para pavimento poroso en SWMM



Fuente: Elaboración propia

Con relación al espesor se consideró 0.45 m, espesor típico para pavimentos porosos, el que tendrá una porosidad de 0.5% en términos de volumen, una capacidad de campo de 0.2% en los mismos términos, un punto de marchitez permanente de 0.1%, Conductividad de 0.5 mm/h, la pendiente de la conductividad de 10% y un cabezal de succión de 3.5 mm.

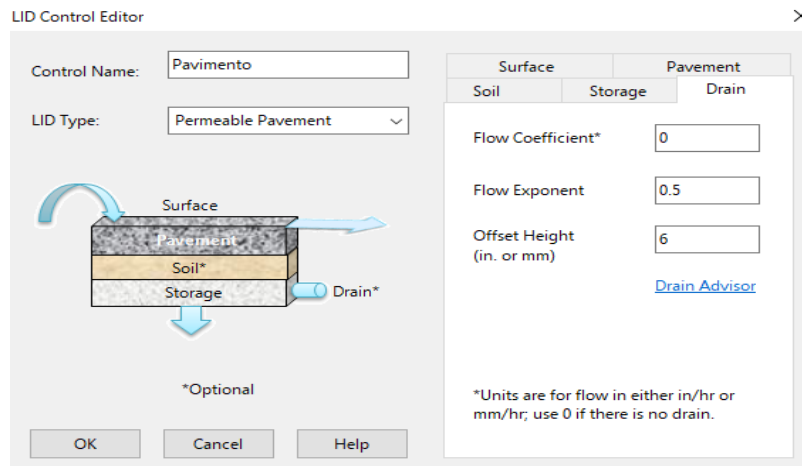
Figura N° 61: Diseño almacenamiento para pavimento poroso en SWMM



Fuente: Elaboración propia

Se ha considerado 0.45 como espesor de almacenamiento, porcentaje de vacíos de 0.75, un factor de filtración de 0.5 y un factor de obstrucción de 0. Parametros típicos de diseño de pavimentos porosos.

Figura N° 62: Diseño de drenaje para pavimento poroso en SWMM



Fuente: Elaboración propia

Se ha considerado 0 al coeficiente de flujo, un 0.5 de exponente de flujo y un ancho de compensación de 6 mm.

4.5. Prueba de hipótesis

Hipótesis general

H0: El comportamiento de la escorrentía urbana no se mitiga con el drenaje urbano sostenible siendo ineficiente en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023.

Ha: El comportamiento de la escorrentía urbana se mitiga con el drenaje urbano sostenible siendo eficiente en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023.

Tabla N° 32: Prueba de Chi cuadrado para hipótesis general

Pruebas de chi-cuadrado			
	Valor	df	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	192,000 ^a	104	,000
Razón de verosimilitud	80,772	104	,956
N de casos válidos	24		

a. 126 casillas (100,0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es ,04.

En la tabla N° 32 se muestra un valor de significancia de 0.000 es menor al de significancia, por ende, se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

Hipótesis específica

HO= Si el comportamiento de la escorrentía urbana se reduce con la retención entonces es eficiente el drenaje urbano sostenible en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023.

Ha= Si el comportamiento de la escorrentía urbana no se reduce con la retención entonces es ineficiente el drenaje urbano sostenible en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023.

Tabla N° 33: Prueba de Chi cuadrado para hipótesis específica

Pruebas de chi-cuadrado				
	Valor	df	Significación asintótica (bilateral)	Significación exacta (unilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	24,000 ^a	1	,054	
Corrección de continuidad ^b	5,490	1	,019	
Razón de verosimilitud	8,314	1	,004	
Prueba exacta de Fisher				,042
N de casos válidos	24			

a. 3 casillas (75,0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es ,04.
b. Sólo se ha calculado para una tabla 2x2

En la tabla N°33 se muestra un valor de significancia de 0.054 es mayor al de significancia 0.05, por ende, se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula.

HO= Si el comportamiento de la escorrentía urbana se reduce con la filtración entonces es eficiente el drenaje urbano sostenible en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023.

Ha= Si el comportamiento de la escorrentía urbana no se reduce con la retención entonces es ineficiente el drenaje urbano sostenible en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023.

Tabla N° 34: Prueba de Chi cuadrado para hipótesis específica

Pruebas de chi-cuadrado			
	Valor	df	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	384,000 ^a	352	,116
Razón de verosimilitud	132,092	352	1,000
N de casos válidos	24		

a. 391 casillas (100,0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es ,04.

En la tabla N^o 34 se muestra un valor de significancia de 0.116 es mayor al de significancia 0.05, por ende, se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula.

HO=Si el comportamiento de la escorrentía urbana reduce el control de fuentes entonces es eficiente el drenaje urbano sostenible en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023.

Ha= Si el comportamiento de la escorrentía urbana no se reduce con la retención entonces es ineficiente el drenaje urbano sostenible en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023.

Tabla N^o 35: Prueba de Chi cuadrado para hipótesis específica

Pruebas de chi-cuadrado			
	Valor	df	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	324,800 ^a	285	,052
Razón de verosimilitud	114,951	285	1,000
N de casos válidos	24		

a. 320 casillas (100,0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es ,04.

En la tabla N^o 35 se muestra un valor de significancia de 0.052 es mayor al de significancia 0.05, por ende, se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con respecto al comportamiento la escorrentía urbana se mitiga con el drenaje urbano sostenible siendo eficiente en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023, podemos señalar que efectivamente se ha demostrado que el drenaje urbano tiene una relación directa, con la escorrentía urbana, la que permite mitigar en gran medida estos valores de escorrentía generados, permitiendo obtener una solución mucho más económica y que también permita una mejor utilización de los recursos hídricos, como una solución sostenible, que se puede aplicar a la carrera de ingeniería civil, donde nuestros resultados reflejan que se genera un caudal de 152.0 lps, sin considerar los SUDS, mientras que con la utilización de este sistema sostenible, se logra reducir dicho caudal a 49.81 lps. Para ambos casos se ha considerado la normativa peruana, pero si se utiliza el método racional el diseño saldría con un caudal muy alto, por lo que un modelo SWMM, representamos mejor el comportamiento dinámico y real de la cuenca urbana, representando mejor los aspectos hidrológicos involucrados en el diseño, lo que permite optimizar el sistema, minimizar costos y reducir impactos, mediante soluciones alternativas, pero aún se tiene una limitante que es la adecuación de la normatividad peruana a la incorporación de estas propuestas, que si bien se mencionan como alternativa, no

se ha definido los parámetros de diseño respectivos, como ya se viene implementando en diversos países, siendo el cambio climático también una preocupación que guarda relación con estas propuestas. En el mismo sentido Hou et. Al. (2021), indican que existe una mejora del sistema de drenaje combinando estas prácticas de desarrollo de bajo impacto, permitiendo disminuir los diámetros d tuberías en toda la red de drenaje urbano, y los volúmenes de inundación se reducen en 32.26% hasta 53.68%, así mismo, Shao, et.al (2020). Concuerta con nuestros resultados indicando que utilizando SUDS se puede controlar la eficiencia de las lluvias y escorrentías urbanas, al igual que Shahzad, et.al (2022). Los que señalan que la intercepción de escorrentías, y el volumen de almacenamiento hidrológico, está limitado por los sistemas actuales, y si se modifican a sistemas sostenibles nos permitirá una mejor toma de decisiones. Con respecto a mejora de modelos como SWMM, Martínez (2021). Señala que se debe utilizar modelos acoplado 1D/2d para determinar las precipitaciones de escorrentía en cuencas urbanas, con modelos representativos, los que deben permitir manejo de escorrentías, precipitaciones y filtración.

En referencia al comportamiento de la escorrentía urbana que permite incrementar la retención del agua, podemos indicar que nuestros resultados determinaron que el modelo es eficiente con respecto al drenaje urbano sostenible en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023. Se ha podido demostrar que, cuando no se implementa un sistema de drenaje urbano sostenible, se tiene una escorrentía de 48.07 lps, en la cuenca aportante, mientras que, si se implementa las zanjas de infiltración, las que mejorar la retención se

reducen hasta 39.99 lps, y también se incrementando la infiltración. En un sistema convencional sin la utilización de SUDS se logra un valor de 0.68 mm/h mientras que, con los SUDS se incrementa a 0.99 mm/h, demostrando que, hay mayor retención y se reducen las escorrentías. Por lo tanto, tendremos mayor retención de recursos hídricos, provenientes de las aguas de lluvias, los que permitirán evitar las inundaciones, y mejorar el medio ambiente y paisajístico de las urbanizaciones. De manera similar Ahammed et.al. (2021). Concluye que se debe utilizar diseños urbanos sostenibles, para mitigar los impactos negativos respecto a la hidrología y se debe considerar las zanjas de infiltración y absorción para estos fines, lo que permitirá una mejor utilización del agua pluvial, por su parte López & Villavicencio (2021). Señalan que las cunetas verdes, reducen las inundaciones, retrasan los caudales máximos, es decir son eficientes, donde permiten captar y escurrir el agua.

Con relación al comportamiento de la escorrentía urbana se reduce mediante la filtración, logrando ser eficiente el drenaje urbano sostenible en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023. Se ha modelado el sistema de drenaje con la utilización de jardines de lluvias, en donde sin la utilización de los SUDS, según los tiempos de concentración más críticos se tiene una infiltración de 0.55 mm/h, con una escorrentía de 82.92 lps y un almacenamiento de 87.31 lps. Mientras que cuando se implementa los jardines de lluvias, se logra un incremento de la tasa de infiltración a 0.920 mm/h (67.27%), la escorrentía se reduce a 45.62 lps (44.98%), y también las necesidades de almacenamiento se reducen en 40.33 lps (46.19%). Por lo tanto, luego de analizar

el comportamiento frente al incremento de filtración con los jardines de lluvias, se aprecia una significativa reducción, haciendo más eficiente al sistema de drenaje. Concordamos con Valdivia (2023), que indica que, al implementar estructuras adecuadas, estas permiten mitigar las escorrentías superficiales, factor clave para un control de inundaciones, del mismo modo Techer et. al. (2023). Señala que los sistemas de biorretención dependen de la capacidad de infiltración de escorrentía y cumplen un papel fundamental para mejorar la eficiencia. En el mismo sentido Fu et.al. (2023). señala que las infraestructuras verdes y barreras permeables, sirven para control el potencial de infiltración y mejorar así la reducción de flujos terrestres. Del mismo modo Rojas. (2021), indica que en la utilización de los sistemas de drenaje urbano sostenible nos brinda una solución a las inundaciones que se genera por las aguas pluviales.

Con relación al comportamiento la escorrentía urbana y el control de fuentes al permitir menor escorrentía, es eficiente el drenaje urbano sostenible en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023. En nuestra investigación se modelo el sistema de drenaje urbano sostenible incluyendo pavimentos porosos o permeables, donde se obtuvo los siguientes resultados, al no considerar los sistemas de drenaje urbano sostenible se tiene, una infiltración de 0.55 mm/h, presentando una escorrentía de 82.92 lps y un almacenamiento de 87.31 lps. Y si se implementan estos sistemas sostenibles, como el pavimento poroso, se incrementa la tasa de infiltración a 0.81 mm/h (47.27%), la escorrentía se reduce a 41.85 lps (49.53%), y las necesidades de almacenamiento se reducen en 49.24 lps (56.397%). Por lo tanto, el diseño con

pavimentos porosos, nos permite tener mejores resultados, un mejor control de escorrentías, y también mayor infiltración. Es decir, tenemos una mejora del control de fuentes con drenaje urbano sostenible, la cual es mayor que las zanjas de infiltración y que los jardines de lluvias, haciendo mucho más eficiente al sistema de drenaje. Concordamos con Ballesteros (2020). Que señala que los sistemas actuales no son adecuados y genera deficiencias, pero utilizando sistemas sostenibles de drenaje pluvial se logra un adecuado manejo, control y gestión de las escorrentías de lluvias, y el diseño pavimento permeable se emplea además como medio de recreación pasiva y retención y filtración. De igual manera Córdova & García (2021). Señala que con los pavimentos permeables se reduce las escorrentías superficiales. Y en este mismo sentido Artica & De la Cruz (2023), señalan que los pavimentos permeables permiten mejorar el drenaje y que es un tipo de pavimento adecuado para el sistema urbano de drenaje sostenible.

CONCLUSIONES

1. Se analizó que la escorrentía urbana y se comprobó, que se puede optimizar mediante la utilización de sistemas de drenaje urbano sostenible en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023, lo que permite reducir las escorrentías, generar menor impacto, incrementar las infiltraciones y hacer un mejor uso de los recursos hídricos, además de mejorar el entorno y medio ambiente, y con respecto a la parte de diseño permite reducir los diámetros de tuberías, reduciendo los costos en los proyectos de drenaje pluvial tan necesarios actualmente, más aún por el crecimiento urbano.
2. Se evaluó el comportamiento de la escorrentía urbana y la retención en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023, y se comprobó que, con la aplicación de zanjas de infiltración, se logró incrementar el porcentaje de retención de agua en los suelos, reduciendo el riesgo de inundaciones, además de permitir un tratamiento paisajístico, en la urbanización.
3. Se evaluó el comportamiento de la escorrentía urbana y la filtración en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023, donde se pudo comprobar que con la utilización de jardines de lluvias, como parte de la sección de vía típica, propuesta en el plan de desarrollo urbano, se incrementó la infiltración del agua, de manera que se reducen los caudales de escorrentía superficial, se evita inundaciones, y se mantiene las áreas verdes, como parte importante, para la mitigación de los impactos propios del tránsito peatonal y vehicular que se incrementara en la urbanización,

4. Se evaluó el comportamiento de la escorrentía urbana y el control de fuentes en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023, en donde con la utilización de un pavimento poroso o pavimento permeable se reduce considerablemente la escorrentía superficial, se incrementa notoriamente el porcentaje de infiltración, y se puede controlar mejor la calidad de las aguas de lluvias para fines de reuso.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la implementación de los sistemas de drenaje urbanos sostenible en los diversos proyectos de drenaje pluvial que se requieran en la localidad, puesto que muchas de estas urbanizaciones, se construyeron sin una adecuada red de drenaje en muchos casos inexistentes, porque la normativa del drenaje urbano en el Perú, recién en la actualidad es de exigencia obligatoria para poder realizar una pavimentación, lo que no ocurría antes donde las urbanizaciones y ciudades crecían de manera desordenada. Por lo que se requiere reducir las escorrentías urbanas, y la mejor alternativa es adecuarla con estas alternativas sostenibles.
2. Se sugiere utilizar el modelo SWMM, puesto que se permite un modelado dinámico del comportamiento hidrológico y real de las tormentas, esto permitirá minimizar los costos de las inversiones en drenaje pluvial en todo tipo de urbes.
3. Así mismo se recomienda utilizar las áreas verdes de la zona para poder implementar otro tipo de SUDS, las que podrían generar atractivos turísticos y recuperación de especies, con alternativas como pozas de retención o parques inundables.
4. Se recomienda además implementar mecanismos que se integren, con los sistemas de drenaje urbano sostenible, para permitir el reúso de agua, debido a que se conserva la calidad de las aguas de lluvias con estas propuestas o requerirán tratamientos mínimos, para nuevamente ser utilizados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahammed, F., Rohita Sara, G., Paul Kai, H., & Yan, L. (2021). Optimum numbering and sizing of infiltration-based water sensitive urban design technologies in South Australia. *International Journal of Sustainable Engineering*, 14(1), 79–86. <https://doi.org/10.1080/19397038.2020.1733131>
- Aybar, C., Lavado-Casimiro, W., Huerta, A., Fernández Palomino, C., Vega-Jácome, F., Sabino Rojas, E., & Felipe-Obando, O. (2017). Uso del producto grillado pisco de precipitación en estudios, investigaciones y sistemas operacionales de monitoreo y pronóstico hidrometeorológico. Nota Técnica No 001 SENAMHI-DHI-2017. In Senamhi. <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/260>
- Ballesteros (2020). Sistema urbano de drenaje sostenible como alternativa al drenaje pluvial urbano del sector Miraflores – Castilla 2020. Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/73400>. Piura-Perú.
- López & Villavivencio (2021). Sistema drenaje urbano sostenible para evitar inundaciones de origen pluvial mejorando áreas verdes, cruce Av. Mateo Pumacahua – Av. Separador Industrial, Distrito Villa el Salvador. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <http://hdl.handle.net/10757/657404>.
- Rojas (2021). sistema de drenaje urbano sostenible entre la Av. Cajamarca y Jr. Yurimaguas, Cajamarca 20213. Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/30002>.
- Valdivia (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. Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/26888>.
- Barreto, C; Llacza, A. (2014). Validation of CMIP5 models by means of representing patterns of mesoscale systems on South America for the summer and winter (Vol. 1). https://doi.org/http://www.cima.fcen.uba.ar/cordex2/final/Poster_Barreto.pdf
- Bi, D., Dix, M., Marsland, S. J., O'Farrell, S., Rashid, H. A., Uotila, P., Hirst, A. C., Kowalczyk, E., Golebiewski, M., Sullivan, A., Yan, H., Hannah, N., Franklin, C., Sun, Z., Vohralik, P., Watterson, I., Zhou, X., Fiedler, R., Collier, M., ... Puri, K. (2013). The ACCESS coupled model: Description, control climate and evaluation. *Australian Meteorological and Oceanographic Journal*, 63(1), 41–64. <https://doi.org/10.22499/2.6301.004>
- Bruye`re,c; Done, j; Holland, G; Fredrick, S. (2014). Bias corrections of global models for regional climate simulations of high-impact weather. *Climate Dynamics*, 43(7–8), 1847–1856. <https://doi.org/10.1007/s00382-013-2011-6>
- Cahuana Andia, Agustín, & Yugar Morales, Weimar, (2009): Material De Apoyo Didáctico Para La Enseñanza Y Aprendizaje De La Asignatura De Hidrología CIV-233.Cochabamba – Bolivia.
- Chereque Moran, Wendor. (1989): Hidrología. Segunda Impresión. Lima – Peru.

Córdova & García (2021). Diseño de Pavimento Permeable como alternativa de drenaje pluvial en la Av. Circunvalación Km. 0+000 - Km. 1+500, Veintiséis de Octubre, Piura, Piura 2021. Universidad Cesar Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/87123>. Piura – Perú.

Artica & De La Cruz (2023). comparación del pavimento permeable con los pavimentos rígidos y flexibles para la mejora del drenaje el estacionamiento del aeropuerto de Jauja. Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/25283>

Dalrymple, T. (1960). Flood-Frequency Analyses. Manual of Hydrology Part 3. Flood-flow techniques. Usgpo, 1543-A, 80. <https://doi.org/doi.org/10.3133/wsp1543A>

Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M. A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A. C. M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A. J., ... Vitart, F. (2011).

Ellis, J.B.; Mitchell, G. “Urban diffuse pollution: key data information approaches for the Water Framework Directive”. *Water and Environment Journal*. Vol. 20(1). 2006. pp. 19-26.

Espinoza, J., Ronchail, J., Guyot, J., Cochonneau, G., Naziano, F., Lavado, W., De Olivera, E., Pombosa, R., & Vauchel, P. (2009). Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). *International Journal of Climatology*, 29(3), 317–319. <https://doi.org/10.1002/joc>

Fu, X., Liu, J., Wang, Z., Wang, D., Shao, W., Mei, C., Wang, J., & Sang, Y. (2023). Quantifying and assessing the infiltration potential of green infrastructure in urban areas using a layered hydrological model. *Journal of Hydrology*, 618, N.PAG. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128626>

Garreaud, R., Vuille, M., & Clement, A. C. (2003). The climate of the Altiplano: Observed current conditions and mechanisms of past changes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 194(1–3), 5–22. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(03\)00269-4](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(03)00269-4)

Garriga. La escorrentía urbana, gran reto del saneamiento. (2023). We Are Water. Recuperado el 7 de junio de 2023, de https://www.wearewater.org/es/la-escorrentia-urbana-gran-reto-del-saneamiento_337444

Goulden, S., Portman, M. E., Carmon, N., & Alon-Mozes, T. (2018). From conventional drainage to sustainable stormwater management: Beyond the technical challenges. *Journal of Environmental Management*, 219, 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.066>

Hosking, J. R. M., & Wallis, J. R. (1993). Some Statistics Useful in Regional Frequency Analys. IBM Research Division, Yorktown Heights, New York, 29(92), 271–281. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/92WR01980>

Hosking, J; Wallis, J. (1997). *Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-moments*. Cambridge University Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/CBO9780511529443>

- Hou, X., Qin, L., Xue, X., Xu, S., Yang, Y., Liu, X., & Li, M. (2021). A city-scale fully controlled system for stormwater management: Consideration of flooding, non-point source pollution and sewer overflow pollution. *Journal of Hydrology*, 603, N.PAG. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127155>
- Huff, F. A. (1967). Time Distribution Rainfall in Heavy Storms. 3(4), 1007–1019. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/WR003i004p01007> www.senamhi.gob.pe 18
- Jungclaus, J. H., Fischer, N., Haak, H., Lohmann, K., Marotzke, J., Matei, D., Mikolajewicz, U., Notz, D., & Von Storch, J. S. (2013). Characteristics of the ocean simulations in the Max Planck Institute Ocean Model (MPIOM) the ocean component of the MPI-Earth system model. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5(2), 422–446. <https://doi.org/10.1002/jame.20023>
- Lavado, C., Taylor, P., Sven, W., & Guyot, J. L. (2012). Basin-scale analysis of rainfall and runoff in Peru (1969 – 2004): Pacific, Titicaca and Amazonas drainages Basin-scale analysis of rainfall and runoff in Peru (1969 – 2004): Pacific, December 2014, 37–41. <https://doi.org/10.1080/02626667.2012.672985>
- Luo, M., Liu, T., Meng, F., Duan, Y., Frankl, A., Bao, A., & De Maeyer, P. (2018). Comparing bias correction methods used in downscaling precipitation and temperature from regional climate models: A case study from the Kaidu River Basin in Western China. *Water (Switzerland)*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/w10081046>
- Martínez, C., Vojinovic, Z., Price, R., & Sanchez, A. (2021). Modelling Infiltration Process, Overland Flow and Sewer System Interactions for Urban Flood Mitigation. *Water (20734441)*, 13(15), 2028. <https://doi.org/10.3390/w13152028>
Pedro LASA («SUDS S.L - Atlantis») «JORNADA ARQUITECTURA ECOLÓGICA 3». Cádiz. 06-03-2008.”.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2011). Manual de hidrología, hidráulica y drenaje.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). NORMA OS.060 (2006) Drenaje Pluvial Urbano.
- Muñoz-Díaz, D., & Rodrigo, F. S. (2004). Spatio-temporal patterns of seasonal rainfall in Spain (1912-2000) using cluster and principal component analysis: Comparison. *Annales Geophysicae*, 22(5), 1435–1448. <https://doi.org/10.5194/angeo-22-1435-2004>
- Ngongondo, C. S., Xu, C. Y., Tallaksen, L. M., Alemaw, B., & Chirwa, T. (2011). Regional frequency analysis of rainfall extremes in Southern Malawi using the index rainfall and L-moments approaches. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25(7), 939–955. <https://doi.org/10.1007/s00477-011-0480-x>
- Noto, L. V., & La Loggia, G. (2009). Use of L-moments approach for regional flood frequency analysis in Sicily, Italy. *Water Resources Management*, 23(11), 2207–2229. <https://doi.org/10.1007/s11269-008-9378-x>
- Rau, P., Bourrel, L., Labat, D., Melo, P., Dewitte, B., Frappart, F., Lavado, W., & Felipe, O. (2017). Regionalization of rainfall over the Peruvian Pacific slope and coast. *International Journal of Climatology*, 37(1), 143–158. <https://doi.org/10.1002/joc.4693>

Rodríguez, J., Rodríguez, J., Bayón, Castro, D., Calzada M., Canteras J., Ballester, F. (2017). Construcción de pavimentos permeables para el control en origen de la escorrentía urbana.

Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhi, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G., Huang, X.-Y., Wang, W., & Powers, J. G. (2008). A Description of the Advanced Research WRF Version 3. Technical Report, June, 113. <https://doi.org/10.5065/D6DZ069T>

Shahzad, H., Myers, B., Hewa, G., Johnson, T., Boland, J., & Mujtaba, H. (2022). Characterizing the Stormwater Runoff Quality and Evaluating the Performance of Curbside Infiltration Systems to Improve Stormwater Quality of an Urban Catchment. *Water (20734441)*, 14(1), 14. <https://doi.org/10.3390/w14010014>

Shao, W., Zhou, J., Liu, J., Xie, P., Yang, Z., & Li, W. (2020). Characteristics and effectiveness of water management methods for “sponge cities” in China. *Proceedings of ICE: Water Management*, 173(4), 163–171. <https://doi.org/10.1680/jwama.19.00016>

Taebi, A.; Droste, R.L. “Pollution loads in urban runoff and sanitary wastewater”. *Science of the Total Environment*. Vol. 327(1). 2004. pp. 175-184.

Técher, D., & Berthier, E. (2023). Supporting evidences for vegetation-enhanced stormwater infiltration in bioretention systems: a comprehensive review. *Environmental Science & Pollution Research*, 30(8), 19705–19724. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25333-w>

The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137(656), 553–597. <https://doi.org/10.1002/qj.828>

Vázquez (2013). Biorretención y reúso del agua de escorrentía urbana en climas áridos o semi-áridos: una revisión. <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/handle/123456789/15659>

Ven The Chow, *Hidráulica de Canales Abiertos*, (1982), Primera Edición México

Villón Béjar Máximo, “*Hidráulica de Canales*”, primera edición, Arequipa – Perú.

Yang, T., Shao, Q., Hao, Z. C., Chen, X., Zhang, Z., Xu, C. Y., & Sun, L. (2010). Regional frequency analysis and spatio-temporal pattern characterization of rainfall extremes in the Pearl River Basin, China. *Journal of Hydrology*, 380(3–4), 386–405. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.11.013>

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia

TÍTULO	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	DIMENSIONES / CATEGORÍAS	METODOLOGÍA
Escorrentía urbana y drenaje urbano sostenible en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023	<p>Problema general</p> <p>¿Como se comporta la escorrentía urbana con drenaje urbano sostenible en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023?</p> <p>Problemas específicos</p> <p>1. ¿Como se comporta la escorrentía urbana y la retención en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023?</p> <p>2. ¿Como se comporta la escorrentía urbana y la filtración en la urbanización</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>Ho: El comportamiento de la escorrentía urbana no se mitiga con el drenaje urbano sostenible siendo en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023.</p> <p>H1: El comportamiento de la escorrentía urbana se mitiga con el drenaje urbano sostenible siendo eficiente en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <p>H2: Si el comportamiento de la escorrentía urbana se reduce con la</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Analizar el comportamiento de la escorrentía urbana para optimizar el drenaje urbano sostenible en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>1. Evaluar el comportamiento de la escorrentía urbana y la retención en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023.</p> <p>2. Evaluar el comportamiento de la</p>	Escorrentía urbana	<p>Precipitaciones</p> <p>Curva IDF</p> <p>Escorrentía superficial</p> <p>Retención</p>	<p>Método: Científico</p> <p>TIPO:</p> <p>-Según finalidad: Básica</p> <p>-Según su alcance por objetivos: Descriptivo - Comparativo</p> <p>-Según su naturaleza: Cuantitativo</p> <p>Diseño: No Experimental</p> <p>Población: Urbanización Villa Concepción, ubicado en el Distrito de Concepción, Provincia de Concepción.</p>

<p>Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023?</p> <p>3. ¿Como se comporta la escorrentía urbana y el control de fuentes en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023?</p>	<p>retención entonces es eficiente el drenaje urbano sostenible en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023.</p> <p>H3: Si el comportamiento de la escorrentía urbana se reduce con la filtración entonces es eficiente el drenaje urbano sostenible en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023.</p> <p>H4: Si el comportamiento de la escorrentía urbana reduce el control de fuentes entonces es eficiente el drenaje urbano sostenible en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023.</p>	<p>escorrentía urbana y la filtración en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023.</p> <p>3. Evaluar el comportamiento de la escorrentía urbana y el control de fuentes en la urbanización Villa Concepción distrito de Concepción provincia de Concepción 2023</p>	<p>Drenaje urbano sostenible</p>	<p>Filtración</p> <p>Control de fuentes</p>	<p>Muestra: Urbanización Villa Concepción, ubicado en el Distrito de Concepción, Provincia de Concepción.</p> <p>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Revisión documentaria: Aplicación de SUDS
---	---	---	---	---	---

Anexo 02: Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems
Escorrentía urbana	El agua de escorrentía urbana (AEU) es el agua que fluye sobre superficies impermeables urbanizadas y que procede de la precipitación que ocurra por un evento de lluvia o nieve. Por lo general, se le considera un problema por su relación con fenómenos de inundación, erosión del suelo y contaminación de acuíferos. Ortiz et.al (2013). Biorretención y reúso del agua de escorrentía urbana en climas áridos o semi-áridos: una revisión	Agua generada por la precipitación, la cual fluye sobre las superficies impermeables en las ciudades, generando inundaciones, erosión y contaminación del agua	Precipitaciones	Intensidad de precipitaciones	La cantidad de precipitación (mm)
			Curva IDF	Magnitud de lluvias	Frecuencia
					Duración
					Intensidad
			Escorrentía superficial	Coeficiente de escorrentía	Coeficiente de rugosidad
					Caudal real
					Caudal teórico
Drenaje urbano sostenible	Son elementos superficiales, permeables, preferiblemente vegetados, integrantes de la estructura urbana-hidrológica-paisajística y previos al sistema de saneamiento. Están destinados a filtrar, retener, transportar, acumular, reutilizar e infiltrar al terreno el agua de lluvia, de forma que no degraden e incluso restauren la calidad del agua que gestionan. Pedro LASA («SUDS S.L - Atlantis») «JORNADA ARQUITECTURA ECOLÓGICA 3». Cádiz. 06-03-2008.	Sistema de drenaje que permite retener, acumular, reutilizar e infiltrar el agua de precipitaciones a los terrenos y recuperando la calidad del agua	Retención	Almacenamiento subsuperficial	% de almacenamiento
			Filtración	Biorretención	Mejoramiento de calidad de agua
					Control de caudales
					Incremento de vegetación
			Control de fuentes	Pavimento permeable	Infiltración
					Almacenamiento

Anexo 03: Panel Fotográfico

**Fotografía N°01
Estado Situacional**



Fuente: Equipo Técnico

**Fotografía N°02
Estado Situacional**



**Fotografía N°03
Jr. 3 de Marzo**



Fotografía N°04
Jr 3 de Marzo



Vivienda de Adobe no están alineadas

Fotografía N°05
Jr. 3 de Marzo



Existencia de canal de riego en ancho de la vía

Fotografía N°06
Jr. 3 de Marzo



Deterioro de vías por acumulación de agua y desborde de canal de riego

Fotografía N°07
Jr. 3 de Marzo



Falta de canalización, ponen en grave riesgo a los pobladores

Fotografía N°08
Jr. 3 de Marzo



Inexistencia de veredas

Fotografía N°09
Jr. Los Libertadores



Inadecuadas condiciones para el tránsito vehicular

Fotografía N°10
Jr. Los Libertadores



Falta de estacionamientos y veredas en vía

Fotografía N°11
Jr. Los Libertadores



Inadecuadas condiciones de la vía, inexistencia de veredas y rampas

Fotografía N°12
Jr. Los Libertadores



Vía con ahuellamientos y sin cunetas ni sardineles

Fotografía N°13
Jr. Los Libertadores



Inadecuadas condiciones de la vía, inexistencia de veredas y rampas

Fotografía N°14
Jr. Ambrosio Salazar



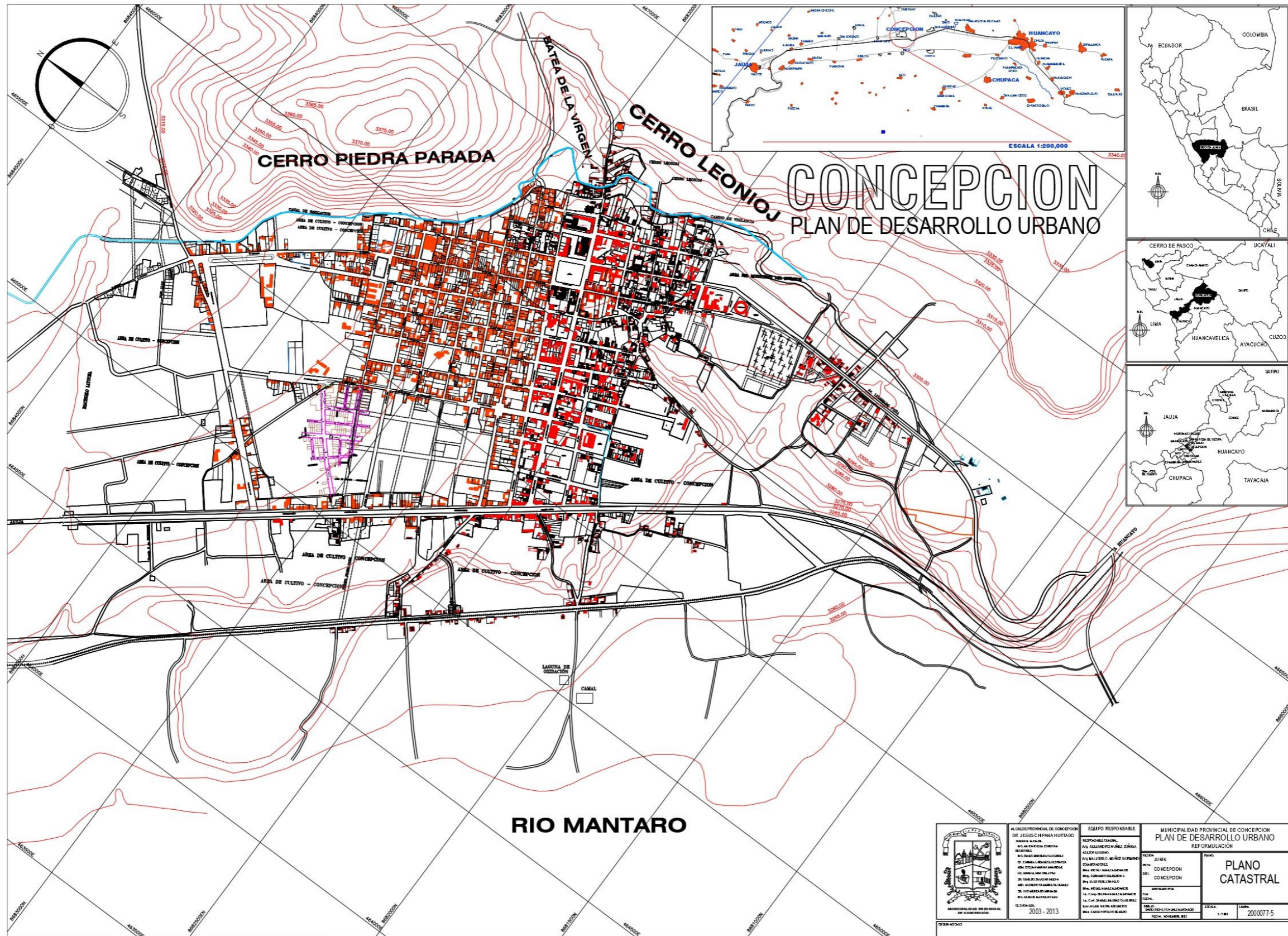
Inadecuadas condiciones de la vía, inexistencia de veredas y rampas

Fotografía N°15
Jr. Ambrosio Salazar



Vía Principal con huecos, sin veredas, sin cunetas, sin sardineles, ni badenes

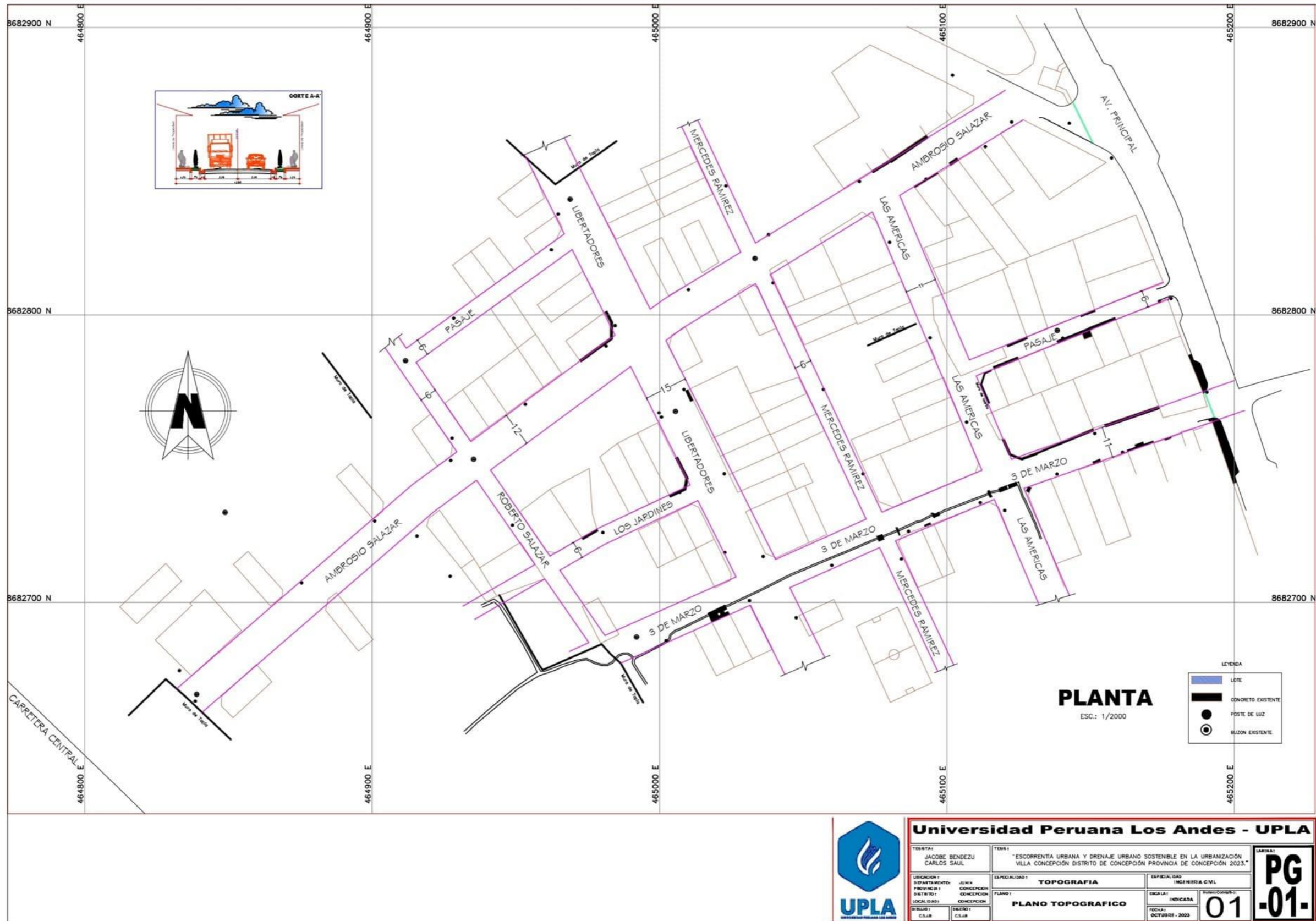
Anexo 04: Planos



CONCEPCION

PLAN DE DESARROLLO URBANO

 <p> MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CONCEPCION 2003 - 2013 </p>	ALCALDE PROVINCIAL DE CONCEPCION DR. JESUS CHIPANA HURTADO	EQUIPO RESPONSALE RESPONSABLE GENERAL: ING. ALBERTO MORALES RESPONSABLE TECNICO: ING. ALBERTO MORALES	MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CONCEPCION PLAN DE DESARROLLO URBANO REFORMULACION
	REGION JUNIN DEPT. CONCEPCION DISTR. CONCEPCION	PLAN PLANO CATASTRAL	ESCALA: 1:100 FECHA: 2003/07/5



PLANTA
ESC.: 1/2000

LEYENDA

	LOTE
	CONCRETO EXISTENTE
	POSTE DE LUZ
	BUJON EXISTENTE

Universidad Peruana Los Andes - UPLA			
TITULAR: JACOBE BENDEZU CARLOS SAUL	TEMA: "ESCORRENTIA URBANA Y DRENAJE URBANO SOSTENIBLE EN LA URBANIZACION VILLA CONCEPCION DISTRITO DE CONCEPCION PROVINCIA DE CONCEPCION 2023."	LAMINA: PG-01-01	
UBICACION: DISTRITO: PROVINCIA: LOCALIDAD: C.S.UB.	UBICACION: DISTRITO: PROVINCIA: LOCALIDAD: C.S.UB.	ESPECIALIDAD: TOPOGRAFIA	ESPECIALIDAD: INGENIERIA CIVIL
PLAN: PLANO TOPOGRAFICO		ESCALA: INDICADA	FECHA: OCTUBRE - 2023