	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	08-07-2021	B
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		I(187)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Darío Alexander Sánchez Álvarez. Erasmó Eduardo Gaona Ascanio.		
FACULTAD	Ingeniería		
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería Civil		
DIRECTOR	Esp. Agustín Armando Macgregor Torrado		
TÍTULO DE LA TESIS	Estudio de los sistemas de drenajes urbanos sostenibles en la zona andina colombiana		
TITULO EN INGLES	Study of sustainable urban drainage systems in the andean zone of Colombia		
RESUMEN			
El desarrollo de la monografía está enfocado en brindar una conceptualización de los sistemas urbanos de drenaje sostenible que mayormente se construyen en la zona andina colombiana, partiendo desde los conceptos básicos de diseño, posteriormente casos que se han aplicado y especificaciones técnicas que describen el proceso constructivo de los mismos. Adicionalmente, un análisis crítico planteando estos sistemas en lugares puntales de la ciudad de Ocaña, norte de Santander.			
RESUMEN EN INGLES			
The development of the monograph is focused on providing a conceptualization of the urban sustainable drainage systems that are mostly built in the Colombian andean area, starting from the basic concepts of design, subsequently applied cases and technical specifications describing the constructive process thereof. In addition, a critical analysis of these systems in struts places in the city of Ocaña, Norte de Santander.			
PALABRAS CLAVES	Sistemas de drenaje urbano sostenible, precipitación, escorrentía, especificación técnica		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Sustainable urban drainage systems, precipitation, runoff, technical specification		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 187	PLANOS:	ILUSTRACIONES: 118	CD-ROM:



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
 Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88
 atencionalciudadano@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

“Estudio de los sistemas de drenajes urbanos sostenibles en la zona andina colombiana”

Darío Alexander Sánchez Álvarez.

Erasmó Eduardo Gaona Ascanio.

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Ingeniería civil

Esp. Agustín Armando Macgregor Torrado

18 Marzo del 2021

Índice

Lista de Figuras	5
Lista de Tablas	11
Introducción	13
Capítulo 1. Generalidades de los sistemas de drenajes urbanos.	1
1.1 Tipos de Sistemas de Drenajes Urbanos Sostenibles	3
1.1.1 Sistemas de infiltración.....	4
1.1.1.1 Pavimentos permeables.....	4
1.1.1.2 Cubiertas Vegetales.....	6
1.1.1.3 Pozos y zanjas de infiltración.....	7
1.1.1.4 Depósitos de infiltración.....	8
1.1.1.5 Área de biorretención.....	9
1.1.1.6 Filtros de Arena.....	10
1.1.2 Sistemas de transporte.....	11
1.1.2.1 Drenes filtrantes.....	11
1.1.2.2 Franjas filtrantes.....	11
1.1.3 Sistemas de almacenaje y tratamiento pasivo.....	12
1.1.3.1 Depósitos de lluvia.....	12
1.1.3.2 Estanques de retención.....	13
1.1.3.3 Humedales artificiales.....	14
1.2 Variables de diseño en los sistemas urbanos de drenajes sostenibles.....	16
Capítulo 2. Sistemas de drenaje sostenibles en la zona andina colombiana.	18
2.1 Caso en el departamento de Antioquia.....	18
2.2 Caso en el departamento de Cundinamarca.....	21
2.3 Caso en el departamento del Valle del Cauca.....	25
2.4 Caso en el departamento de Norte de Santander.....	31
2.5 Caso en el departamento de Santander.....	38
2.6 Aplicabilidad a nivel nacional.....	50
Capítulo 3. Sistemas alternativos de drenaje de aguas lluvias que se han desarrollado internacionalmente.....	52
3.1. Caso de España.....	52
3.2. Caso de China.....	62
3.2.1. Alternativa de ciudad esponja.....	62
3.2.2. Alternativa de cubiertas ajardinadas.....	65
3.2.3. Alternativa de pavimento permeable.....	66
3.2.4. Alternativa de espacios verdes hundidos.....	67
3.2.5. Alternativa de jardín de agua.....	68

3.3. Caso de Perú	69
3.4. Caso de Ecuador.....	75
3.5. Caso de Argentina.....	83
Capítulo 4. Especificaciones técnicas de construcción de los sistemas de drenajes sostenibles en Colombia.....	98
4.1 Alcorques Inundables	98
4.1.1 Materiales y procedimientos constructivos utilizados en los Alcorques Inundables.....	98
4.1.1.1 Contenedor.....	98
4.1.1.2 Sustrato y capa filtrante.....	99
4.1.1.3 Sistema de Drenaje.....	100
4.2 Cunetas Verdes.....	100
4.2.1 Materiales y procedimientos constructivos utilizados en cunetas verdes.....	100
4.2.1.1 Capa Superficial.....	100
4.2.1.2 Zona de Infiltración.....	101
4.2.1.3 Zona de drenaje.....	101
4.3 Pavimentos Permeables.....	102
4.3.1 Materiales y procedimientos constructivos utilizados en Pavimentos Permeables.....	102
4.3.1.1 Superficie del Pavimento.....	102
4.3.1.1.1 Concreto hidráulico Permeable.....	102
4.3.1.1.2 La mezcla asfáltica permeable.....	103
4.3.1.1.3 Adoquines permeables.....	104
4.3.1.2 Capa de Nivelación.....	105
4.3.1.3 Sub-Base.....	105
4.3.1.4 Capa filtrante y Drenaje.....	106
4.3.1.5 Barras perimetrales.....	107
4.4 Tanques de almacenamiento.....	107
4.4.1 Materiales y procedimientos constructivos utilizados en tanques de almacenamiento.....	107
4.4.1.1 Materiales de fabricación.....	107
4.5 Zanjas de infiltración.....	108
4.5.1 Capa Superior.....	108
4.5.2 Reservorio.....	108
4.5.3 Sistema de drenaje.....	109
4.5.4 Suelo circundante.....	109
Capítulo 5. Análisis Crítico	110
5.1 Elaboración de curvas IDF del municipio de Ocaña.....	117
5.1.1 Ecuación de Intensidad	120

5.2 Propuesta General de la Institución educativa Normal Superior.....	125
5.2.1 Calculo estimado de caudales de las cuencas naturales de la Normal Superior.....	127
5.2.1.1 Coeficiente de impermeabilidad.....	128
5.2.1.2 Cálculo de la intensidad de precipitación.....	128
5.2.1.2.1 Periodo de retomo.....	128
5.2.1.2.2 Tiempo de concentración.....	129
5.2.1.3 Intensidad de precipitación.....	131
5.2.1.4 Áreas tributarias de drenaje de las cuencas.....	132
5.2.1.5 Caudal estimado de las cuencas naturales de la Institución normal superior.....	132
5.2.2 Cálculo estimado de caudales de las cubiertas de la Normal Superior.....	133
5.2.2.1 Coeficiente de impermeabilidad.....	133
5.2.2.2 Calculo de la intensidad de precipitación.....	133
5.2.2.2.1 Periodo de retomo.....	133
5.2.2.2.2 Tiempo de concentración.....	133
5.2.2.3 Intensidad de precipitación.....	133
5.2.2.4 Áreas tributarias de las cubiertas.....	134
5.2.2.5 Caudal estimado de las cubiertas de la Institución normal superior.....	135
5.3 Propuesta General en el Sector de Villa Carolina.....	136
5.3.1 Cálculo estimado de caudales de las cuencas naturales de la Normal Superior.....	137
5.3.1.1 Coeficiente de impermeabilidad.....	138
5.3.1.2 Cálculo de la intensidad de precipitación.....	139
5.3.1.2.1 Periodo de retomo.....	139
5.3.1.2.2 Tiempo de concentración.....	140
5.3.1.3 Intensidad de precipitación.....	142
5.3.1.4 Áreas tributarias de drenaje de las cuencas.....	142
5.2.1.5 Caudal estimado de las cuencas naturales de la urbanización Villa-Carolina.....	143
5.4 Guía para realizar la modelación hidráulica de una cubierta verde y pavimento permeable	145
5.4.1 Modelación de los SUDS (Tipo Cubierta verde).....	149
5.4.2 Modelación de los SUDS (Tipo Pavimento permeable).....	151
5.5 Ventajas y Desventajas de cada uno de los SUDS.....	153
5.6 Criterios de selección SUDS.....	163
Conclusiones	168
Referencias.....	170

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Escorrentía del agua en distintos escenarios</i>	3
Figura 2. <i>Sección típica de pavimentos permeables</i>	5
Figura 3. <i>Esquema del funcionamiento de una zanja de infiltración</i>	7
Figura 4. <i>Depósito de infiltración</i>	8
Figura 5 <i>Área de biorretención</i>	9
Figura 6 <i>Filtro de Arena</i>	10
Figura 7 <i>Franjas filtrantes</i>	12
Figura 8 <i>Depósitos de lluvias</i>	13
Figura 9 <i>Estanque de retención</i>	14
Figura 10 <i>Humedal de Retención</i>	15
Figura 11 <i>Formula del Régimen de Flujo</i>	17
Figura 12 <i>Pre diseño del “SUDS”</i>	20
Figura 13 <i>Caudales estimados implementando SUDS POZ - Norte</i>	22
Figura 14 <i>Intensidades máximas (mm/hr) asociadas a diferentes tiempos de retorno para aguaceros de 5 a 180 minutos de duración. Municipio Palmira 1970-2012</i>	27
Figura 15 <i>Curvas IDF Ciudad de Palmira</i>	28.
Figura 16 <i>Lluvias de diseño-Hietogramas Sintéticos calculados por el método de bloque alterno con las Curvas IDF Palmira ICA 1970-2012</i>	29
Figura 17 <i>Principales características de la ciudad de Cúcuta</i>	32
Figura 18 <i>Datos empleados para generar las curvas IDF de la ciudad de Cúcuta.</i>	32
Figura 19 <i>Curvas IDF para la Estación Camilo Daza de la Ciudad de Cúcuta</i>	33
Figura 20 <i>Intersección entre la Avenida 12E y Calle 2N; Imagen 1 Ambientación</i>	35
Figura 21 <i>Intersección entre la Avenida 12E y Calle 2N; Imagen 2 Ambientación</i>	36
Figura 22 <i>Intersección entre la Avenida 12E y Calle 2N; Imagen 3 Ambientación</i>	36

Figura 23 <i>Intersección entre la Avenida 12E y Calle 2N; Imagen 4 Ambientación</i>	37
Figura 24 <i>Ambientación perfil estructura de infiltración</i>	37
Figura 25 <i>Datos organizados por estaciones</i>	39
Figura 26 <i>Datos de la estación utilizada</i>	39
Figura 27 <i>Mapa de zonificación</i>	40
Figura 28 <i>AHP criterios</i>	41
Figura 29 <i>AHP mejoramiento de la calidad de agua</i>	41
Figura 30 <i>AHP Control de agua lluvia</i>	42
Figura 31 <i>AHP Costos</i>	42
Figura 32 <i>AHP Mantenimiento</i>	43
Figura 33 <i>AHP Amenidad</i>	43
Figura 34 <i>Resultados AHP</i>	44
Figura 35 <i>Cálculo diseño Alcorques inundables</i>	44
Figura 36 <i>Cálculo diseño Zanjas de infiltración</i>	45
Figura 37 <i>Cálculo diseño Pavimentos permeables (Parqueadero motos entrada al campus)</i>	45
Figura 38 <i>Cálculo diseño Pavimentos permeables (Parqueadero edificio Santander)</i>	46
Figura 39 <i>Cálculo diseño Pavimentos permeables (Parqueadero edificio Fray Angélico)</i>	46
Figura 40 <i>Cálculo diseño Tanque de almacenamiento (1)</i>	47
Figura 41 <i>Cálculo diseño Tanque de almacenamiento (2)</i>	47
Figura 42 <i>Apéndice E. Alcorque inundable</i>	48
Figura 43 <i>Apéndice F. Pavimento permeable</i>	48
Figura 44 <i>Apéndice G. Tanque de almacenamiento</i>	49
Figura 45 <i>Apéndice H. Zanja de infiltración</i>	49
Figura 46 <i>Dimensiones de la cuenca del parque inundable (por metro de altura)</i>	53

Figura 47 <i>Ubicación del parque inundable</i>	54
Figura 48 <i>Funcionamiento aliviadero</i>	54
Figura 49 <i>Plano en planta del parque de inundación</i>	55
Figura 50 <i>Ubicación de las cunetas vegetadas</i>	56
Figura 51 <i>Ubicación de los depósitos de infiltración</i>	57
Figura 52 <i>Ubicación de los jardines de lluvia y las cubiertas vegetadas</i>	58
Figura 53 <i>Sección en alzado del firme permeable</i>	58
Figura 54 <i>Ubicación de los pavimentos permeables</i>	59
Figura 55 <i>Lluvia de proyecto</i>	60
Figura 56 <i>Hietogramas de las lluvias de proyecto</i>	60
Figura 57 <i>Comparativa de inundaciones en el momento de mayor escorrentía (1h 15min)</i>	61
Figura 58 <i>Comparación entre construcción tradicional de ciudad y construcción de ciudad esponja</i>	63
Figura 59 <i>Esquema de la ciudad de esponja</i>	64
Figura 60 <i>Diagrama esquemático típico de una cubierta vegetal</i>	66
Figura 61 <i>Esquema típico de pavimento permeable</i>	67
Figura 62 <i>Esquema de un espacio verde hundido</i>	68
Figura 63 <i>Diagrama de estructura de la retención biológica</i>	69
Figura 64 <i>Precipitación para diferentes periodos de retorno</i>	71
Figura 65 <i>Curvas IDF para el proyecto</i>	71
Figura 66 <i>Ubicación de las pozas de retención contempladas en el proyecto</i>	72
Figura 67 <i>Barrios que conforman la subcuenca Caicedo</i>	76
Figura 68 <i>Curvas IDF del INAMHI VS EPMAPS para el periodo de retorno de 25 años</i> ... 77	77
Figura 69 <i>Sistema de drenaje urbano creado en SWMM 5.1</i>	78
Figura 70 <i>Porcentaje de área impermeable en cada una de las subcuencas</i>	78

Figura 71 <i>Resumen de datos de ingreso para LID Control de Green Roof</i>	80
Figura 72 <i>Resumen de datos de ingreso para LID Control de Green Roof</i>	81
Figura 73 <i>Resumen de datos de ingreso para LID Control de Green Roof</i>	81
Figura 74 <i>Subcuencas intervenidas con LID Controls</i>	82
Figura 75 <i>Estrategia para la modelación de dos subcuencas urbanas en SWMM 5.1</i>	85
Figura 76 <i>Clasificación pluviométrica de serie 1951-2018 para Santa Rosa, La Pampa</i>	86
Figura 77 <i>Precipitaciones anuales de Santa Rosa, La Pampa para la serie 1951-2018 y rangos de clasificación pluviométrica obtenida a partir de quintiles</i>	86
Figura 78 <i>Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (I.D.F.) para la ciudad de Santa Rosa, La Pampa</i>	87
Figura 79 <i>Tormentas de Diseño para tiempos de recurrencia de 2 (A), 5 (B), 10 (C), 25 (D), 50 (E) y 100 (F) años para la ciudad de Santa Rosa, La Pampa</i>	88
Figura 80 <i>Localización de subcuencas Centro (SC delimitado en color rojo) y Villa Elvina (SV delimitado en color amarillo) en la ciudad de Santa Rosa, La Pampa</i>	89
Figura 81 <i>Esquema del modelo SWMM 5.1 en manzanas. A) Calles como conductos. B) Calles como subcuencas y conductos</i>	90
Figura 82 <i>Esquema del modelo SWMM 5.1 en las salidas del Sistema. Se representan calles como conductos (A) y calles como subcuencas y conductos (B)</i>	91
Figura 83 <i>Cantidad de objetos de la estructura del modelo utilizado para cada subcuenca estudiada</i>	92
Figura 84 <i>Esquema de procedimiento para análisis de sensibilidad, calibración y modelación en SWMM de las áreas de estudio</i>	92
Figura 85 <i>Escenarios planteados para la modelación hidrológica</i>	93

Figura 86 Mapa de escenarios con (A) edificios existentes, (B) espacios verdes y (C) en construcción localizados en el área de interés, Santa Rosa, La Pampa. (D), (E), (F) y (G) representan la combinación de los anteriores.....	93
Figura 87 Modelo conceptual de balance hídrico para la ciudad de Santa Rosa, La Pampa.	94
Figura 88 Curvas de período de retorno (A) y de probabilidad de excedencia porcentual (B) de precipitaciones diarias para la serie 1951-2018 para Santa Rosa, La Pampa.....	95
Figura 89 Balance hídrico para la subcuenca SC.....	96
Figura 90 Composición recomendada para el suelo.....	99
Figura 91 Granulometría concreto hidráulico poroso ACPM C 33.....	103
Figura 92 Granulometría mezcla asfáltica poroso.....	104
Figura 93 Gradación del material de la capa de nivelación.....	105
Figura 94 Gradación del material de la sub-base.....	106
Figura 95 Gradación del material de la capa filtrante.....	106
Figura 96 Desviación estándar y media de los Registros Pluviométricos Estación Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña – UFPSO.....	119
Figura 97 Valores concluidos para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas	120
Figura 98 Aplicación de regresión potencial	122
Figura 99 Curvas IDF realizadas para el municipio de Ocaña.....	124
Figura 100 Localización de la institución educativa normal superior.....	125
Figura 101 Áreas aferentes de la institución educativa normal superior	126
Figura 102 Método Racional.	127
Figura 103 Coeficientes de impermeabilidad laderas con vegetación	128
Figura 104 Características del área de drenaje	129

Figura 105 <i>Calculo de longitudes y pendientes de las cuencas naturales de la institución Normal Superior</i>	130
Figura 106 <i>Coefficientes de impermeabilidad Cubiertas</i>	133
Figura 107 <i>Localización de Áreas Aferentes y Limites Sanitarios sector Villa Carolina</i>	137
Figura 108 <i>Método Racional.</i>	138
Figura 109 <i>Coefficientes de impermeabilidad de laderas con vegetación</i>	138
Figura 110 <i>Características del área de drenaje canales abiertos</i>	139
Figura 111 <i>longitudes de flujo (m) y pendientes promedio del terreno</i>	141
Figura 112 <i>Pavimento permeable sugerido</i>	144
Figura 113 <i>Interfaz del software EPA-SWMM</i>	146
Figura 114 <i>Parámetros de la sub-cuenca</i>	148
Figura 115 <i>Asignación de LID</i>	150
Figura 116 <i>Asignación de LID Cubierta Verde</i>	150
Figura 117 <i>Asignación de LID</i>	152
Figura 118 <i>Asignación de Pavimento Permeable</i>	152

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Comparación entre los casos de SUDS a nivel nacional e internacional.....</i>	111
Tabla 2 <i>Registros Pluviométricos Estación Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña – UFPSO.....</i>	118
Tabla 3 <i>Cálculo de las láminas para distintas frecuencias.....</i>	119
Tabla 4 <i>Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias.....</i>	121
Tabla 5 <i>Intensidad de la lluvia (mm/hr) según el periodo de retorno.....</i>	121
Tabla 6 <i>Resumen de aplicación de regresión potencial.....</i>	122
Tabla 7 <i>Frecuencia (T años).....</i>	123
Tabla 8 <i>Calculo de tiempo de concentración de la institución Normal Superior.....</i>	131
Tabla 9 <i>Calculo de intensidad de las cuencas naturales de la institución Normal Superior.....</i>	131
Tabla 10 <i>Calculo de las Áreas de las Cuencas.....</i>	132
Tabla 11 <i>Caudal de las cuencas naturales de la Institución normal superior.....</i>	132
Tabla 12 <i>Caudal de las Áreas Tributarias de cubierta</i>	134
Tabla 13 <i>Caudal de las cubiertas de la Institución Normal Superior</i>	135
Tabla 14 <i>Calculo de tiempo de concentración</i>	141
Tabla 15 <i>Calculo de intensidad.....</i>	142
Tabla 16 <i>Calculo de intensidad</i>	142
Tabla 17 <i>Calculo de caudal</i>	143
Tabla 18 <i>Superficies permeables.....</i>	153
Tabla 19 <i>Pozo de infiltración</i>	154
Tabla 20 <i>Zanjas de Infiltración</i>	155
Tabla 21 <i>Depósitos de infiltración</i>	156

Tabla 22 <i>Cubiertas verdes</i>	157
Tabla 23 <i>Cunetas verdes</i>	158
Tabla 24 <i>Franjas filtrantes</i>	159
Tabla 25 <i>Depósitos de detención</i>	160
Tabla 26 <i>Estanque de retención</i>	161
Tabla 27 <i>Humedales artificiales</i>	162
Tabla 28 <i>Características del sitio</i>	163
Tabla 29 <i>Características del uso de suelo</i>	166

Introducción

El crecimiento urbanístico conlleva a un cambio drástico en el comportamiento hidrológico del agua escorrentía, modificando de manera abrupta las vías de drenaje y a su vez la destinación final de las aguas lluvias a los cuerpos receptores como ríos y quebradas, perjudicando el desagüe de estas, propiciando posibles inundaciones en zonas residenciales que no contemplan este aspecto. (Manuel,1994)

Esto se evidencia en la mayor parte de los municipios de Colombia que pertenecen a la zona andina, en el que el relieve montañoso logra definir en las partes más bajas el cauce del agua escorrentía, debido a la inadecuada planificación urbanística, provoca en estas zonas la erosión de cuerpos montañosos que en épocas de altas precipitaciones hacen que los cuerpos de agua recobren su cauce natural, lo que conlleva a inundaciones que cobran vidas humanas y materiales y limitaciones en el acceso de la movilidad.

Ante esta situación es de vital importancia realizar estudios hidrológicos e hidráulicos que permitan, focalizar de manera precisa las redes de evacuación de aguas lluvias en las zonas potencialmente urbanizables dentro de los POT y PBOT de los municipios andinos del país, con el objeto de identificar las zonas inundables donde se implementen sistemas urbanos de drenajes sostenibles, puesto que su implementación es una medida práctica desde la perspectiva constructiva que permite disminuir notablemente los caudales de inundación especialmente en las zonas con proyección urbanística.

Por ende, la implementación de los SUDS, debe darse en cada uno de los proyectos urbanísticos, desde la proyección de las viviendas y vías de acceso, con el fin de reutilizar el agua esorrentía por medio de cubiertas verdes y tanques de almacenamiento, de igual manera para reducirlos caudales de esorrentía de las diferentes vías de acceso por medio de cunetas verdes, zanjas de infiltración, cunetas verdes, o pavimentos permeables a nivel nacional e internacional.

Por este motivo, se plantea el desarrollo de una monografía que permita recopilar sobre los sistemas de drenajes urbanos que sé construyendo en la región andina de Colombia, ejecutando un comparativo que actualmente se están construyendo a nivel mundial, brindando un documento académico en el que se logre identificar el sistema urbano de drenaje sostenible a aplicar ante determinada problemática de drenajes de aguas lluvias en la zona andina del país.

Capítulo 1. Generalidades de los sistemas de drenajes urbanos.

En la actualidad el principal recurso natural que cuenta el ser humano es el agua, debido a esto su aprovechamiento es fundamental para la supervivencia, según información dada por las Naciones Unidas, a mitad del siglo XXI, 7000 millones de personas en 60 países tendrán escasez de agua, aunque algunos poseen una gran riqueza hídrica la carencia de tecnologías de tratamientos hacen que el recurso sea nocivo para la salud y afectará seriamente los países que se encuentran a la transición de desarrollo (Codola, 2015).

Ante esta situación los países del primer mundo como los Estados Unidos de América, han optado por la construcción de plantas depuradoras que logran reducir el grado de contaminación del agua escurriéndola vertida en los pavimentos por medio de tratamientos biológicos siendo un sistema que involucra altos costos de mantenimiento y operación con un alto grado de efectividad, pero que requiere constante monitoreo. (Codola, 2015)

Sumado a esto en el año 2050 se estima que más del 50% de la población del mundo residirá en la ciudad, lo que conlleva, a que el recurso hídrico obtendrá una mayor demanda a la actual, ante ello la construcción de sistemas de drenajes urbanos sostenibles (SUDS) es una iniciativa que incluye infraestructura que permite captar las aguas pluviales con el objetivo de, retenerla, filtrarla, infiltrarla, transportarla y almacenarla de manera que pudiese eliminar o reducir al máximo la carga contaminante de forma natural. (Codola, 2015)

Por otro lado, los SUDS se han complementado con los sistemas tradicionales de recolección de aguas lluvias, permitiendo reducir en gran proporción el grado de saturación, siendo así una respuesta hidrológica a las zonas urbanizadas con mayores depreciaciones topográficas mitigando el grado de inundaciones y derrumbes. (Castro, et al, 2005).

Con el fin de obtener una visión amplia de la importancia que acarrea implementar este tipo de SUDS, se debe empezar por entender el ciclo del agua, según Castro (2008) siendo este un proceso simple, pues la gran mayoría del agua generada por la precipitación es captada por las capas vegetales antes de que esta llegue al terreno, la demás es absorbida por el suelo para así posteriormente generar la escorrentía que termina en lagos, ríos y humedales. Siendo el proceso de evaporación y la evapotranspiración de las capas vegetales fundamentales para terminar el ciclo.

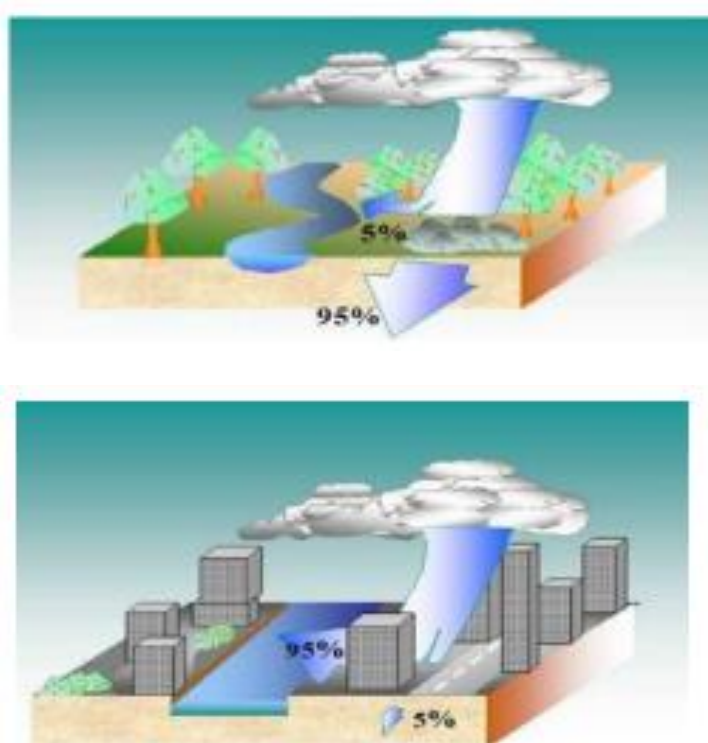
El ciclo del agua en el ámbito de las ciudades varía, ya que el agua en su trayectoria antes de llegar a la superficie purifica el aire recogiendo partículas contaminantes sumados a los sólidos que se encuentran en los pavimentos impermeables. (Perales, & Domenech 2008).

De igual manera, hay que recalcar que la zona urbana carece de vegetación, teniendo una mayor parte impermeable representada por cubiertas y pavimentos, lo que implica que la capacidad de infiltración sea escasa, realizándose una disposición del agua escorrentía contaminada a los cuerpos de agua. (Castro, et al, 2008).

Ante ello, se puede observar que en estas zonas vegetales se plantea un porcentaje de escorrentía aproximadamente del 5 % y un 95 % es vertido en fuentes a cauces naturales. En cambio, en las ciudades el valor de la infiltración es prácticamente despreciables, generando una escorrentía contaminada del 95 % que va a contaminar los afluentes hídricos cercanos en caso de no contar con sistemas de tratamientos de aguas residuales. (Castro, 2008) En la Figura 1, se ilustra el ciclo del agua en ambos escenarios de una manera didáctica.

Figura 1

Escorrentía del agua en distintos escenarios



Nota. La figura superior destaca un ambiente vegetal y la inferior un escenario urbano. (Castro, et al, 2008)

1.1 Tipos de Sistemas de Drenajes Urbanos Sostenibles.

Según Fuentes (2015), se puede establecer una clasificación estructural de los SUDS partiendo de su funcionalidad, teniendo en cuenta en primer orden los, sistemas de transporte pasivo, sistemas de infiltración y los sistemas de transporte convencional, los cuales presentan las siguientes funciones dependiendo del tipo de sistema:

1.1.1 Sistemas de infiltración.

Se caracterizan por recolectar de forma directa el agua esorrentía permitiendo una adecuada infiltración al terreno, para así culminar el ciclo del agua con la debida infiltración al terreno. (Fuentes, 2015). Dentro de estos sistemas se encuentran:

1.1.1.1 Pavimentos permeables. Según Abellan (2015), se establecen que son pavimentos modulares o continuos, que dejan infiltrar el agua en su interior y de esta manera infiltrarse al terreno o ser retenida en capas de materiales filtrantes como grava para así ser evacuada o reutilizada, entre los pavimentos que mayor uso se tienen se encuentran los Césped, Césped reforzado, Bloques impermeables con juntas permeables, Gravas, Pavimentos continuos porosos (asfalto, hormigón, resinas, etc.), Pavimento de bloques impermeables con ranuras sin relleno alguno o pavimento de bloques porosos, Bloques y baldosas porosas y Pavimento de bloques impermeables con huecos rellenos de césped o grava.

Según William (2008), se establece que la estructura de pavimento es prácticamente la misma en cualquier material en que se vaya a construir partiendo de la siguiente manera:

- Capa de Superficie: Se establece que es el tipo de rodadura que se va a implementar.
- Base de Grava: Es la capa de soporte de la estructura de la capa de rodadura.
- Sub-Base: Es la franja ubicada debajo de la Base de Grava, debe obtener un alto grado de compactación en el proceso constructivo.
- Drenes Franceses: Son tubos de PVC, que oscilan entre un diámetro de 8” a 4”, ubicándose en la base de grava para la recolección y transporte del agua infiltrada.

Se puede establecer que la duración de estos pavimentos se encuentra en función de la proporción de vacíos que se interconectan entre la estructura. Después de varias investigaciones se llega a la conclusión de que estos no poseen importante desgaste, a pesar de estar expuestos a la erosión, filtraciones de aires y la escorrentía. Teniendo un comportamiento similar al de un pavimento convencional. (William, 2008).

A continuación, se observa en la figura 2, una sección típica de este tipo de pavimentos.

Figura 2

Sección típica de pavimentos permeables



Nota. En la figura se observa las capas que conforman la sección típica de un pavimento permeable. (William, 2008)

1.1.1.2 Cubiertas Vegetales. Según Abellán (2015), las cubiertas vegetales se caracterizan por retener e interceptar aguas pluviales, disminuyendo la cantidad de agua escurriente. Se establece que es un sistema de varias capas que son colocadas sobre los techos de los edificios propiciando el aumento de las capas vegetales, otras de sus principales funciones es el aislamiento térmico, lo cual es preponderante para los cambios abruptos de temperatura que se dan debido al calentamiento global. Este tipo de cubiertas poseen la siguiente clasificación:

- Extensivas: Poseen una delgada capa del suelo fertilizado, caracterizándose por la poca retención de agua.
- Intensivas: Se caracteriza por tener una capa de suelo gruesa, con exigencias de riego, alto grado de retención de agua propiciando la fertilidad entre las plantas sembradas.
- Intensiva Simple: Una de las principales variantes es la variación del espesor de la capa fertilizante, logrando establecerse que es una combinación entre las capas vegetales extensivas e intensivas, adecuándose a la siembra de distinto tipo de plantas.

Para su construcción se debe tener en consideración los siguientes elementos:

- Barrera de raíces: Su función principal es impedir que las raíces lleguen a dañar la cubierta, por ello se recubre con una membrana impermeable o una franja de polietileno.
- Capa de Drenaje: Controla el agua escurriente que se acumula en los tejados, está compuesto principalmente por diferentes materiales como material volcánico, arenas, gravas de pequeñas o sistemas modulares de menor peso.

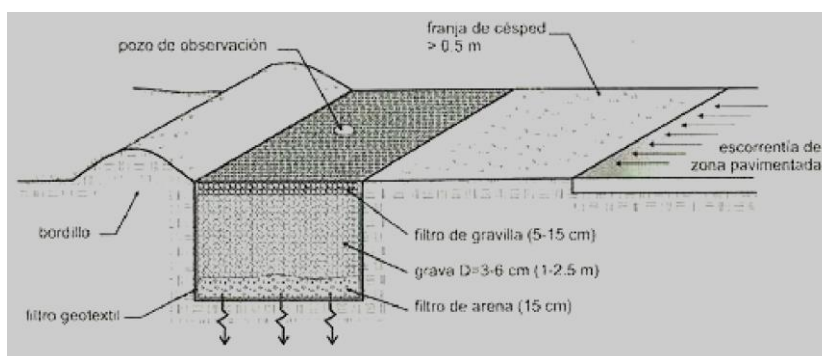
- Medio de Crecimiento: Es el lugar en el que se presenta una estructura porosa dotada de una forma química con propiedades de retención de agua y nutrientes que favorecen el surgimiento de vegetación.
- Capa de Vegetación: Se refiere al tipo de plantas que se van a sembrar, lo cual radica en la climatología de la zona, usualmente se realiza su siembra por medio de esquejes, semillas o colonización.

1.1.1.3 Pozos y zanjas de infiltración. Según Abellan (2015), uno de los sistemas que mayormente se utilizan para el almacenamiento del agua escorrentía procedente de azoteas y tejados son los pozos, aliviando la carga suministrada a la red de alcantarillado, una de sus principales limitantes es que no puede ser en terrenos poco permeables y debe estar encima de nivel freático si lo hay para lograr ex filtraciones al suelo, su profundidad oscila entre 1 m- 3 m.

Las zanjas de filtración son otra de los principales sistemas utilizados para controlar la cantidad y calidad, del agua escorrentía principalmente en conjuntos residenciales, se caracterizan por ser menos profundas y estrechas, en la Figura 3. Se puede observar el proceso de funcionamiento de esta. (Abellan, 2015)

Figura 3

Esquema del funcionamiento de una zanja de infiltración



Nota. En la figura se observa el funcionamiento de una zanja de infiltración. (Abellan, 2015)

1.1.1.4 Depósitos de infiltración. Según Perales y Domenech (2008) se puede establecer que son embalses o variaciones de inclinación del terreno de poca profundidad cuyo objetivo es infiltrar y almacenar de manera constante la escorrentía que se genera por las superficies contiguas, de manera de que esta agua se infiltre en el suelo, eliminando gran parte de la contaminación de metales pesados por medio del proceso de filtración, adsorción y transformaciones de origen biológico. Por lo general tienen bases anchas, con una inclinación suave de los taludes y una forma irregular, con una extensión vegetal en toda su área, cabe destacar que los desagües de las artes más bajas deben ser capaces de desaguar con el fin de que el sistema funcione de manera correcta. En la Figura 4 se observa este tipo de sistema.

Figura 4

Depósito de infiltración



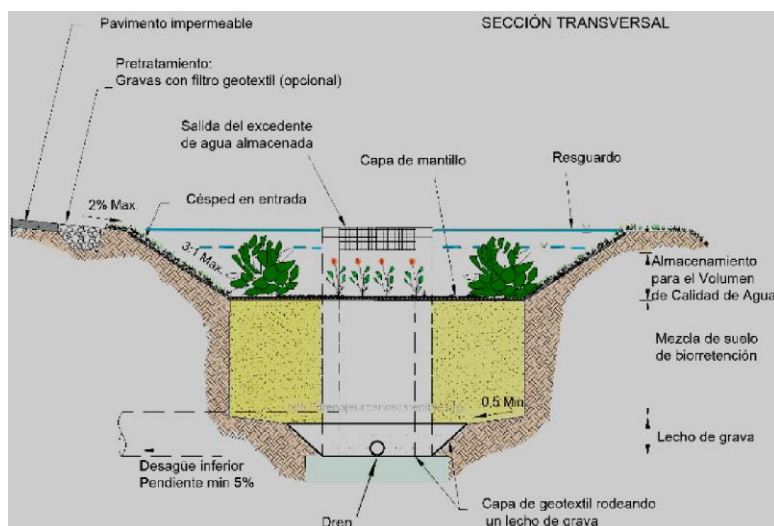
Nota. En la figura se observa un Depósito de Infiltración en la ciudad de Madrid, España (Perales, & Domenech 2008).

1.1.1.5 Área de biorretención. Este sistema es muy utilizado en las zonas urbanas, ya que depura la contaminación del agua superficial y permite disponer agua de mayor calidad a las redes de alcantarillado, su principal característica es que deben realizarse en zonas que presenten inclinaciones para que este pueda llegar a un filtro orgánico o un dren colector de gravilla o arena, la contaminación se reduce por medio de la presencia de capas vegetal, la presencia de un desagüe de emergencia es la principal característica que permite la perdurabilidad del sistema en el tiempo. (Abellan, 2015).

Técnicamente, los requisitos de diseño exigen que el área de diseño se encuentre entre 0,2 y 1 hectárea, como mínimo un área de 18 m², con una pendiente del terreno que no se encuentre por encima del 6 % y una mínima distancia del nivel freático de 0.6 m. En la Figura 5 se observa a detalle este sistema (Abellan, 2015).

Figura 5

Área de biorretención



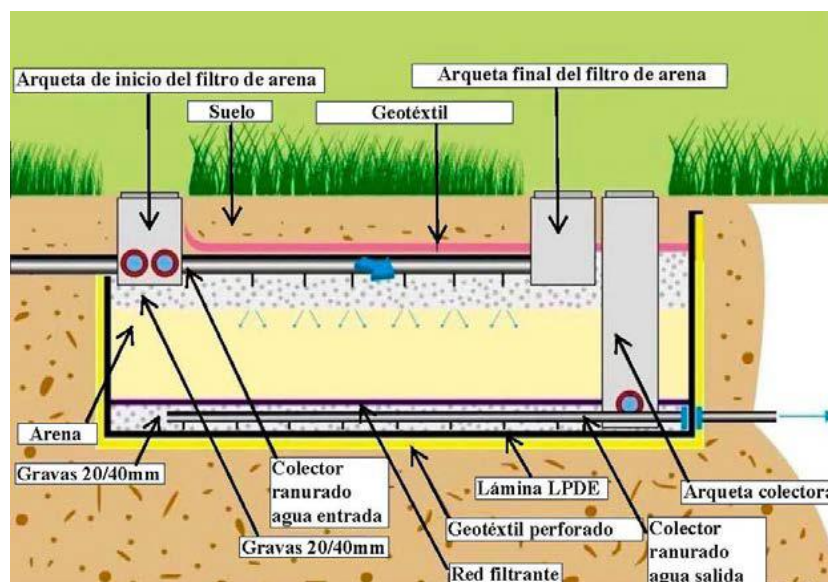
Nota. En la Figura se observa un Depósito de Infiltración en la ciudad de Madrid, España (Abellan, 2015)

1.1.1.6 Filtros de Arena. Este tipo de sistemas resulta ventajoso en las zonas urbanizables, ya que su funcionamiento se basa en la retención, filtración y sedimentación. Su funcionamiento consiste en el almacenamiento del agua superficial en las distintas capas de arena mejorando la calidad de esta y a su vez realizar la debida disposición final ya sea por la filtración al subsuelo o por las redes de alcantarillado. (Abellan,2015)

Dentro de las características técnicas de instalación se tiene que estos se deben ejecutar en zonas menores de 4 hectáreas, pendientes inferiores del 6 %, y diferencias dentro la entrada y salida del sistema de 0.6 m con el fin de soportar una carga hidráulica de $1,5 \text{ m}^3$. En la Figura 6 se muestra el funcionamiento de esta estructura. (Abellan, 2015)

Figura 6

Filtro de Arena



Nota. En la Figura se observan las partes de un filtro de arena (Abellan, 2015)

1.1.2 Sistemas de transporte.

La función principal de esta clase de sistemas es transportar el agua superficial hacia la fuente de canalización natural más cercana o los sistemas de alcantarillados pluviales, con el fin de evitar inundaciones o socavaciones del terreno.

1.1.2.1 Drenes filtrantes. Según Perales (2008), se definen como zanjas que tienen poca profundidad, las cuales poseen un geotextil, con grava o gravilla como material filtrante, con el objeto de filtrar el agua escorrentía, mejorando la laminación de la escorrentía. Al momento de utilizar este tipo de sistemas se debe acondicionar un dren que tenga una gran área y que la velocidad del agua sea lenta para que alcance a filtrarse por el geotextil.

1.1.2.2 Franjas filtrantes. Su uso suele ser frecuente en las cercanías de las vías terrestres caracterizándose por ser anchas capas de terreno recubiertas de vegetación y escasa pendiente, en cercanías de una superficie impermeables (vías en concreto o asfalto), siendo una manera efectiva de contribuir a la sedimentación de los sólidos que arrastra el agua escorrentía y a su vez mejorar el proceso de infiltración. (Abellan, 2015)

Este tipo de sistema exige pendientes suaves y entre mayor ancho y densa vegetación mejora las condiciones filtrantes y a su vez un aumento en el grado de depuración, en la Figura 7, se observa franjas filtrantes. (Abellan, 2015)

Figura 7

Franjas filtrantes



Nota. En la imagen de muestras franjas filtrantes laterales a las vías urbanas y vías de acceso a ciudades (Abellan, 2015).

1.1.3 Sistemas de almacenaje y tratamiento pasivo

Estos sistemas tienen ventaja el almacenamiento de agua escorrentía superficial para su posterior empleo.

1.1.3.1 Depósitos de lluvia. Uno de los principales usos es el almacenamiento de agua escorrentía de los tejados hacia los tanques de almacenamiento por medio de bajantes de tuberías de aguas lluvias, para luego alimentar las redes internas de la vivienda especialmente para usos de cisternas de baños y aguas de riego, disminuyendo el gasto de la red de agua potable. Cabe resaltar que este sistema se utiliza en zonas donde se presentan grandes sequías, en la Figura 8 se observan depósitos de aguas lluvias. (Codola, 2015)

Figura 8*Depósitos de lluvias*

Nota. En la imagen se muestra el sistema de depósitos de lluvias por medio de canaletas (Codola,2015)

1.1.3.2 Estanques de retención. Se definen como lagunas artificiales, con profundidades que oscilan entre 1,2 y 2 m, se caracterizan por tener agua permanente, su principal aspecto es la depuración de contaminantes por medio de biodegradación y sedimentación. Otro de los factores claves es la retención de largos periodos de escurrimientos, con un aproximado de 2 a 3 semanas. Dentro de las características técnicas se debe tener una disponibilidad de 10 hectáreas, una pendiente longitudinal del 15 % y diferencias de cotas de terreno entre 1,2 y 1,8 metros. (Ramos, et al, 2013)

Cabe destacar que dentro de los SUDS en los que se tienen contemplados estanques de retención puede ser usado para el almacenamiento de agua lluvia que posteriormente se emplea para la producción de energía eléctrica por medio de convertidores de energía. En la Figura 9 se observa un estanque de retención.

Figura 9*Estanque de retención*

Nota. En la imagen se muestra un estanque de retención (Ramos, et al, 2013)

1.1.3.3 Humedales artificiales. Según (Abella, 2015), este sistema tiene como principal característica presentar una abundante vegetación y poseer una baja profundidad, lo cual, repercute a que se dé un adecuado control del volumen del agua escorrentía, por ello, dentro de los parámetros técnicos debe presentarse áreas de drenaje en todo su entorno de 10 hectáreas, diferencias de cotas entre 0.9 m y 1.5 m, pendientes longitudinales que oscilen entre el 8 % distribuidas en cuatro fases:

- Zonas de aguas profundas: Estas presentan una profundidad entre 0.5 m y 1.8 m, presentándose abundante vegetación sumergida y flotante.
- Zonas Baja de vegetación: Esta profundidad oscila entre 6 cm y 0.5 m con vegetación presente.
- Zona Alta de vegetación: Esta zona presenta una gran inclinación comenzando a partir de los 6 cm hasta la profundidad del estanque, en esta se encuentra grandes variedades

de especies vegetales cabe destacar que esta debe tener una extensión en mayor proporción que la Zona baja de vegetación.

- Zona inundable: Está capacitada para sobrellevar reboses encima de la cota normal del estanque cuando se presenten episodios de alta escorrentía.

En la Figura 10, se muestra ejemplos de esta clase de humedales, ubicado en la ciudad de Madrid, España, siendo uno de los mayores humedales artificiales de Europa, teniendo una extensión mayor a 11 hectáreas, con gran capacidad de almacenamiento e infiltración de las aguas escorrentías.

Figura 10

Humedal de Retención



Nota. En la imagen se muestra un Humedal de Retención, ubicado en Madrid (Abella, 2015)

1.2 Variables de diseño en los sistemas urbanos de drenajes sostenibles.

Al momento de diseñar y escoger el tipo de sistemas de drenajes urbanos, se tienen en cuenta variables de partida que son esenciales en la etapa de diseño y de esta manera lograr su correcto funcionamiento, dentro de estas se encuentran:

- Área Tributaria. Se establece que es el área que drena como tal un SUDS, por lo general esta se presenta en hectáreas. (Villon, 2007)
- Precipitación: Es el resultado del proceso de condensación del agua atmosférica que cae a la superficie de la tierra, entre estas se encuentra lloviznas y lluvias las cuales son medidas por varios instrumentos meteorológicos. (Villon, 2007)
- Intensidad: Es la cantidad de agua que cae a la superficie en un determinado tiempo su unidad de medida es mm/hora. (Villon, 2007)
- Caudal: En los SUDS se dice que es la cantidad de agua expresada en volumen (m^3) que es capaz de evacuar o infiltrar en una determinada unidad de tiempo (s).
- Pendiente: Es la inclinación del terreno, que permite que el agua superficial llegue a un determinado punto para su posterior evacuación o infiltración al subsuelo. (Villon, 2007)
- Coeficiente de escorrentía: Está dada por la capacidad de infiltración que presentan cada una de las superficies, la vegetación es el mejor medio de infiltración que presenta el subsuelo, siendo esta factible en el proceso de manejo de aguas escorrentías. (Villon, 2007)
- Velocidad. Este factor se mide en (m/s) y es preponderante, ya que a partir de la velocidad con que se evacue o infiltre las aguas pluviales depende el daño o impacto que acarrea en el medio, depende principalmente de las pendientes del

terreno, por esto, para el diseño de los Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenibles se sugiere que estas sean suaves para procurar una adecuada disposición facilitando el proceso de infiltración. (Villon, 2007)

- Régimen de Flujo. El régimen de flujo según Villon (2007) es un aspecto que permite medir el comportamiento del agua, por esto para el diseño de los SUDS, se recomienda que este se encuentre en un régimen subcrítico, debido a las pendientes tan suaves que se manejan. Cabe aclarar que este se define como la gravedad, se calcula por medio del número de Froude, que a su vez clasifica el flujo en subcrítico, crítico, y supercrítico, relacionando las fuerzas de la inercia de velocidad en relación con las fuerzas gravitatorias, de acuerdo a la siguiente expresión. Y se interpreta como se observa en la Figura 11. (Villon, 2007)

Figura 11

Fórmula del Régimen de Flujo

$$F = \frac{V}{\sqrt{g\left(\frac{A}{T}\right)}}$$

Nota. En la imagen se muestra el régimen de flujo es un número adimensional.

Su interpretación de la siguiente manera:

-Flujo Subcrítico si $F < 1$, se caracteriza porque el flujo tiene baja velocidad, teniendo un comportamiento tranquilo. (Villon, 2007)

- Flujo Crítico si $F = 1$, en este estado las fuerzas de inercia y gravedad están en equilibrio. (Villon, 2007)

- Flujo Supercrítico si $F > 1$, el comportamiento del flujo posee una gran velocidad, caracterizándose por ser rápido o torrencioso. (Villon, 2007)

Capítulo 2. Sistemas de drenaje sostenibles en la zona andina colombiana.

Los sistemas de drenaje sostenibles han sido una gran alternativa para que se lleve a cabo la vivencia de las personas en ciertas zonas de un determinado territorio, por ello, a continuación, se presentarán algunos casos de sistemas de drenaje sostenibles en la zona andina colombiana, la cual es una de las zonas más pobladas del país, conformada por los departamentos de Tolima, Santander, Norte de Santander, Risaralda, Quindío, Huila, Boyacá, Antioquia, Cundinamarca, Nariño y Cauca. El paisaje de esta zona se compone de valles, mesetas y un sistema fluvial que contiene los ríos Magdalena y Cauca.

2.1 Caso en el departamento de Antioquia.

De manera que el primer caso que se presenta, se ubica en Mojana, municipio de Nechí, situado en el departamento de Antioquia, donde se realizó un prediseño de sistema urbano de drenaje sostenible que pudiera controlar y regular el anegamiento en esta zona, por ello, se estableció una cartilla didáctica que promoviera la ejecución de estos drenajes para prevenir las inundaciones e igualmente reutilizar el recurso hídrico. Razón por la cual en este proyecto planteado por Muñoz y Acuña (2015) eligieron para Nechí un Sistema de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS) que ayude a optimar el desarrollo paisajístico y urbano, manejando los recursos hídricos, de manera que haya una filtración, retención, transporte, almacenamiento y reutilización del agua lluvia. (Muñoz & Acuña, 2015).

Por ello, el objetivo principal de implementar este sistema en el municipio de Nechí tuvo que ver con el restablecimiento del ciclo hidrológico, para así mitigar los cambios de agua que hay en el sector. Lo esencial de estos SUDS es que pueden potenciar la captación del agua lluvia a través de la filtración lo cual retiene el agua desde su lugar inicial. Sin embargo, en este municipio el análisis que se realizó concluyó que el sistema de drenaje urbano de superficies permeables y porosas no es viable. No obstante, las zanjas filtrantes y el sistema de pozos sí ayudan a atenuar las inundaciones del municipio, ya que “tiene como ventana el almacenamiento de cantidades considerables de m³ de agua lo cual generaría una reducción y canalización de agua de escorrentía considerables” (Muñoz & Acuña, 2015, p. 50).

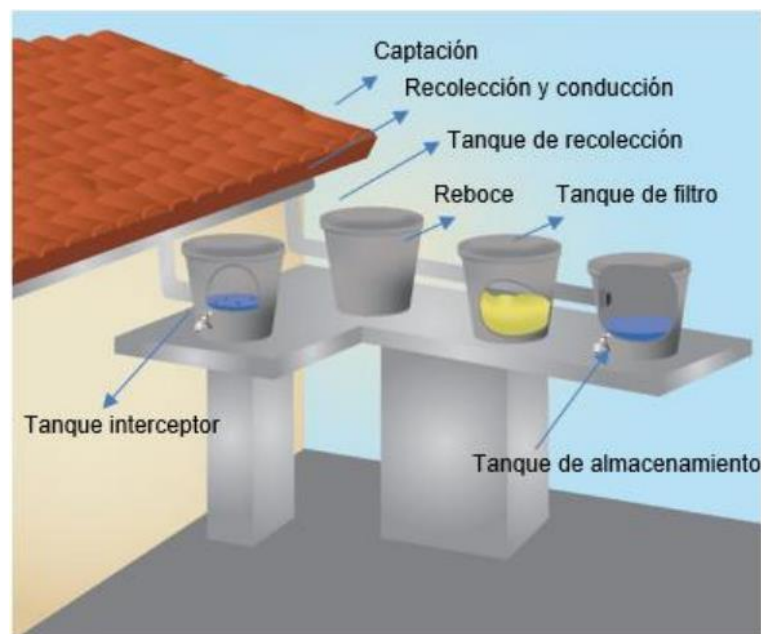
De manera, que según Muñoz y Acuña (2015) el diseño conceptual del sistema de prevención de anegamiento con la acumulación de las aguas pluviales implementado en las residencias de este punto, se basó en la recaudación de las aguas pluviales en los techos de las casas, para luego almacenarla en tanques y seguidamente tratarla en un filtro de arena, es así que se realiza una captación, recolección y conducción por medio de una canaleta que lleva el agua al tanque de almacenamiento a través del tubo PVC, los cuales actúan como bajantes. El agua llega al tanque interceptor inicial que se ubica debajo del bajante, esta agua puede ser reutilizada, para luego hacer la conexión al tanque con el tubo PVC y desviar el agua al punto de salida. (Muñoz & Acuña, 2015).

Es esencial también tener en cuenta que el tanque de recolección debe cumplir con parámetros como la impermeabilidad, lo hermético y accesible. Por otro lado, el tanque filtro es el tanque con arena fina para la debida filtración para al fin llegar al tanque de

almacenamiento donde llegará el agua filtrada, de manera que este sería el diseño final que se propuso en este estudio, el cual se muestra a continuación:

Figura 12

Prediseño del "SUDS".



Nota. La imagen muestra el prediseño que los autores de la investigación realizaron. (Muñoz, 2015)

Por tanto, para llevar a cabo en esta comunidad el sistema de drenaje urbano sostenible, se realizó una cartilla informativa donde se da a conocer a los ciudadanos del municipio de Nechí las características constructivas y beneficios del sistema. Por ello, el diseño que se expuso fue factible, porque no afecta el centro urbano y los tanques de almacenamiento se ubican en todo el ámbito urbano. Esto permite que la población optimice su calidad de vida y lógicamente la problemática de las inundaciones, además de dar un uso y

apreciación del recurso hídrico, mencionar asimismo que es una solución que no resulta ser tan costosa.

2.2 Caso en el departamento de Cundinamarca.

El segundo caso que se presenta, se ubica en Bogotá especialmente en las instalaciones de la Pontificia Universidad Javeriana, donde construyeron un sistema para la obtención y recolección de aguas pluviales de las estructuras cercanas, la cancha sintética de fútbol y las zonas verdes, para luego aprovechar esa agua. Este sistema se compuso de dos desarenadores que remueven partículas sólidas de mayor tamaño para luego conducirla a un sistema de humedal encargado de dar un tratamiento permanente al agua con un pequeño gasto de energía utilizando plantas y un tanque regulador. (Tarazona, et. al, 2020).

En esta misma ciudad, se presentan diversos casos de estudio, por lo que uno de ellos lo presenta Rodríguez (2011) el cual en su tesis hace un examen bibliográfico de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles, (SUDS) aludiendo al caso del proyecto pactado entre el consorcio Borde Norte y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, donde se busca el desarrollo del Plan de Ordenamiento Zonal del Norte (POZ - Norte) inicialmente se tenían sistemas de drenaje convencionales que se complementaron con los SUDS.

Al analizar el caso POZ - Norte con relación a los SUDS se buscó establecer los volúmenes de agua pluvial y mitigar a través de la ejecución de los SUDS, contribuyendo a aminorar los cambios de los coeficientes de agua lluvia de la cuenca del POZ - Norte. Los cálculos que realiza el Consorcio Borde Norte para aplicar los SUDS, tuvieron en cuenta las

zonas de drenaje y el cálculo de caudales, donde se hizo una separación de las zonas de afectación para el drenaje, instaurando unos colectores por las vías principales para drenar el agua pluvial. (Rodríguez, 2011).

Por tanto, la implementación de los SUDS ayudará a que haya una reducción de los valores de caudales, realizando la debida estructuración entre los componentes de los SUDS, de manera que a continuación se presenta la estimación de los caudales implementando los SUDS.

Figura 13

Caudales estimados implementando SUDS POZ - Norte.

Nombre	Características		SCS			Caudal con SUDS (L/s)
	Sub-cuenca	Área (Ha)	CN	Caudal (m ³ /s)	Caudal Tr = 5 años (l/s)	
0	TIBABITA 3	13.0	72	0.07	74	74
1	TIBABITA 3	33.4	70	0.17	169	169
2	TIBABITA 1	87.3	70	0.44	442	442
3	AGUAS CALIENTES 3	16.8	70	0.08	85	85
4	AGUAS CALIENTES 1	64.1	70	0.32	324	324
5	PATINO 3	40.2	70	0.20	204	204
6	PATINO 1	137.3	70	0.69	695	695
7	SAN JUAN 1	61.4	70	0.31	310	310
8	NOVITA 3	13.4	70	0.07	68	68
9	SAN JUAN 1	548.4	70	2.77	2774	2774
10	NOVITA 3	28.7	70	0.15	145	145
11	NOVITA 2	17.1	70	0.09	86	86
12	NOVITA 3	11.5	70	0.06	58	58
13	LA FLORESTA 1	124.6	70	0.63	630	630
14	Guaymaral	367.6	90	10.05	10052	2831
15	Guaymaral 3	294.4	90	8.05	8051	2267
16	Guaymaral 3	523.6	70	2.65	2649	2649
17	Guaymaral 3	24.5	90	0.67	669	188
18	Guaymaral 3	23.2	90	0.63	633	178
19	Guaymaral 3	49.0	90	1.34	1339	377
20	Guaymaral 3	14.4	90	0.39	395	111
21	Guaymaral 3	25.9	90	0.71	709	200
22	Guaymaral 3	21.7	90	0.59	594	167
23	Guaymaral 3	32.6	90	0.89	890	251
24	Guaymaral 3	36.8	90	1.01	1006	283
25	Guaymaral 3	25.4	90	0.69	693	195
26	Guaymaral 3	12.7	85	0.17	169	97
27	Guaymaral 3	24.0	85	0.32	319	185
28	Guaymaral 3	20.3	70	0.06	56	56
29	Guaymaral 3	171.0	70	0.47	473	473
30	Guaymaral 3	18.8	90	0.37	371	145
31	Guaymaral 3	6.9	90	0.14	136	53
32	Guaymaral 3	5.4	90	0.11	106	41
33	Guaymaral 3	30.0	90	0.59	593	231
34	Guaymaral 3	6.8	90	0.13	134	52
35	Guaymaral 3	10.0	90	0.20	198	77
36	Guaymaral 3	32.3	90	0.64	638	249
37	Guaymaral 3	11.6	90	0.23	228	89

38	Guaymaral 3	26.5	90	0.52	523	204
39	Guaymaral 3	10.5	90	0.21	208	81
41	Guaymaral 3	20.1	70	0.06	56	56
42	Guaymaral 3	20.5	70	0.06	57	57
43	Guaymaral 3	24.1	85	0.32	321	185
44	Guaymaral 3	25.0	85	0.33	334	193
45	Guaymaral 3	37.7	85	0.50	502	290
46	Guaymaral 3	32.3	85	0.43	430	249
47	Guaymaral 3	20.9	90	0.41	413	161
48	Guaymaral 3	14.8	90	0.29	291	114
49		17.9	90	0.35	353	137
50	Guaymaral 3	13.6	90	0.27	268	104
51	Guaymaral 3	13.8	90	0.27	273	106
52	Guaymaral 3	23.3	90	0.46	461	180
53	Guaymaral 3	9.3	90	0.18	183	71
54	Guaymaral 3	6.8	90	0.14	135	53
55	Guaymaral 3	11.6	90	0.23	230	89
56	Guaymaral 3	12.8	90	0.25	252	98
59	Guaymaral 3	2.9	70	0.01	8	8
60	Guaymaral 2	3.9	70	0.01	11	11
61	Guaymaral 2	6.8	70	0.02	19	19
62	Guaymaral 2	5.6	70	0.02	15	15
63	Guaymaral 2	2.2	70	0.01	6	6
64	Guaymaral 2	7.8	90	0.15	155	60
65	Guaymaral 2	7.4	90	0.15	147	57
66	Guaymaral 3	4.6	90	0.09	91	36
67	Guaymaral 2	4.9	70	0.01	14	14
68	Guaymaral 2	4.1	70	0.01	11	11
69	Guaymaral 2	24.8	90	0.49	490	191
70	Guaymaral 2	14.3	90	0.28	282	110
71	Guaymaral 2	5.5	90	0.11	109	43
72	Guaymaral 2	10.2	90	0.20	202	79
73	Guaymaral 2	13.5	90	0.27	266	104
74	Guaymaral 3	10.8	90	0.21	214	83
75	Guaymaral 3	10.1	90	0.20	200	78
76	Guaymaral 3	24.3	90	0.48	480	187
77	Guaymaral 2	14.3	90	0.28	282	110
78	Guaymaral 2	18.0	90	0.36	355	139
80	Guaymaral	27.6	90	0.55	546	213
81	LA FLORESTA 2	24.5	90	0.48	483	188
82	Guaymaral	31.4	90	0.62	621	242
83	LAS PILAS 2	27.3	90	0.54	539	210
84	Guaymaral 2	20.8	90	0.41	412	160
85	LAS PILAS 2	17.4	90	0.34	345	134
86	SAN JUAN 3	27.0	90	0.53	533	208
87	SAN JUAN 3	15.9	90	0.31	315	123
88	SAN JUAN 3	17.0	90	0.34	336	131
89	SAN JUAN 3	8.2	90	0.16	161	63
90	PATINO 3	16.4	90	0.32	324	126
91	PATINO 3	20.7	90	0.41	409	159
92	PATINO 3	16.4	90	0.32	323	126

93	PATINO 3	13.4	90	0.26	265	103
94	PATINO 3	16.4	90	0.32	324	126
95	PATINO 3	8.7	90	0.17	172	67
96	AGUAS CALIENTES 3	9.4	90	0.19	186	72
97	AGUAS CALIENTES 3	12.8	90	0.25	253	99
98	AGUAS CALIENTES 3	8.3	90	0.16	165	64
99	AGUAS CALIENTES 3	10.6	90	0.21	208	81
100	AGUAS CALIENTES 3	20.4	90	0.40	404	157
101	AGUAS CALIENTES 3	14.5	90	0.29	285	111
102	TIBABITA 2	13.5	90	0.27	266	104
103	TIBABITA 2	24.9	90	0.49	493	192
104	TIBABITA 2	19.5	90	0.39	385	150
105	TIBABITA 2	10.9	90	0.22	215	84
107	TIBABITA 2	8.3	90	0.16	165	64
108	TIBABITA 2	7.8	90	0.15	155	60
109	TIBABITA 2	17.4	90	0.34	344	134
110	TIBABITA 2	8.0	90	0.16	158	62
111	TIBABITA 2	7.6	90	0.15	151	59
112	TIBABITA 2	26.2	90	0.52	517	202
113	TIBABITA 2	10.0	90	0.20	198	77
114	TIBABITA 2	10.7	90	0.21	210	82
115	TIBABITA 2	7.7	90	0.15	151	59
116	TIBABITA 2	7.2	90	0.14	142	55
117	LA FLORESTA 2	32.0	90	0.63	632	246
118	SAN JUAN 1	28.7	70	0.08	79	79
119	LAS PILAS 2	29.4	70	0.08	81	81
120	Guaymaral	47.9	90	0.95	947	369
121	Guaymaral	41.8	90	0.83	825	322
122	Guaymaral	32.0	90	0.63	631	246
123	Guaymaral 3	14.2	90	0.28	281	109
124	Guaymaral 3	6.3	90	0.13	125	49

Nota: Las imágenes muestran tablas donde figuran los caudales estimados implementando SUDS POZ - Norte. (Rodríguez, 2011)

Entonces, Rodríguez (2011) propone los sistemas que se pueden ejecutar en el POZ - Norte, como los cuerpos de agua artificiales, zonas para infiltración directa, cunetas filtrantes con vegetación y zanjas de retención con vegetación o bio-retenedores. Finalmente, se concluye que los SUDS deben ser coherentes con el sistema integrado ciudad - naturaleza y que estos son una buena alternativa para los problemas con la gestión de aguas pluviales.

2.3 Caso en el departamento del Valle del Cauca.

El tercer caso se presenta en la ciudad de Palmira, departamento del Valle del Cauca, donde se llevó a cabo la investigación de Martínez (2013) la cual buscó implementar una opción no convencional para la regulación y control de las aguas, basada en los SUDS, haciendo una revisión del estado de estos sistemas en la ciudad, a fin de mitigar el problema del control y gestión de los caudales de agua lluvia y modelando el comportamiento hidráulico de este sistema.

El centro urbano de Palmira está cruzando de oriente a occidente por grandes zanjas y acequias y por el río Palmira. El sistema de drenaje urbano de esta ciudad se constituye de colectores principales y tuberías secundarias que tienen la función de un sistema de alcantarillado combinado. Se encuentran en este territorio cuatro cuencas topográficas, como lo son la de Zanjón Zamorano, Zanjón Mirriñao, el río Palmira, Salado sur, Zanjón La María, y el canal sesquicentenario. (Martínez, 2013).

El desarrollo vial de este territorio y el empleo de las zonas de protección de los drenajes han hecho que se analice, proyectando obras y ampliaciones para el periodo de retorno de las lluvias, asimismo, algunos lugares de la ciudad presentan problemas de inundación debido al exceso de escorrentías que no logran evacuar en el sistema de alcantarillado, ocasionando consigo problemas sociales, económicos y ambientales. Igualmente, hay una gran demanda en cuanto al sistema de drenaje que existe a causa de los y proyectos urbanísticos y de construcción. (Martínez, 2013).

Las estrategias y metas que tienen los SUDS es manejar las aguas pluviales, donde se dé una protección de las áreas naturales, vegetación y suelos, se minimicen las alteraciones sobre las tendencias de drenaje natural, se promueva las discontinuidades entre las áreas impermeables, se minimice la compactación del suelo, haya un direccionamiento del escurrimiento de áreas impermeables hacia áreas permeables, atenuar los eventos de inundaciones y un mejoramiento en la calidad del recurso hídrico y de los ríos. (Martínez, 2013).

La modelación hidráulica que se llevó a cabo en esta investigación para el SUDS, se realizó con SWMM 5.0 de la EPA de los EE. UU., el Stormwater Management Model (modelo de gestión de aguas pluviales) ayuda a la simulación de las precipitaciones, permitiendo simular la cantidad y calidad del agua evacuada. Su labor se basa en una serie de cuencas donde cae el agua pluvial generando la escorrentía, analizando su recorrido por un sistema de canales, tuberías, dispositivos de almacenamiento tratamiento, elementos reguladores y bombas. (Martínez, 2013).

Para esta modelación que se ejecutó, se tuvo en cuenta la Curvas de Intensidad - Duración-Frecuencia (IDF) a fin de evaluar la intensidad de tormentas intensas de diferentes duraciones y para distintos tiempos de recurrencia. En el caso de Palmira se presentaron los siguientes datos:

Figura 14

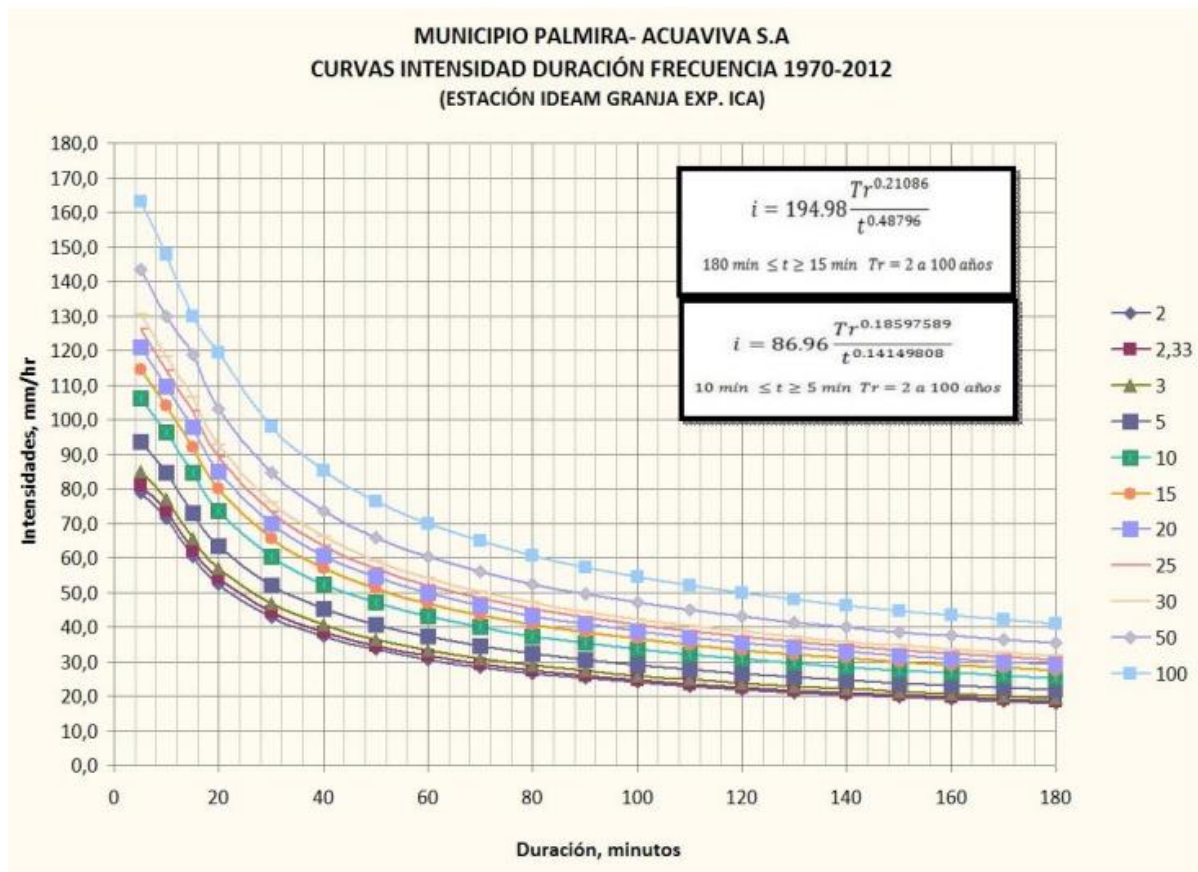
Intensidades máximas (mm/hr) asociadas a diferentes tiempos de retorno para aguaceros de 5 a 180 minutos de duración. Municipio Palmira 1970-2012

Duración minutos	Tiempo de retorno, años													
	2	2,33	3	5	10	15	20	25	30	50	100	200	500	1000
5	77,67	81,83	88,22	99,87	114,57	122,86	128,66	133,13	136,78	146,91	160,58	174,20	192,18	205,77
10	70,74	74,47	80,19	90,65	103,83	111,27	116,47	120,48	123,75	132,84	145,10	157,32	173,44	185,63
15	63,81	67,11	72,16	81,43	93,10	99,68	104,29	107,84	110,73	118,77	129,63	140,44	154,71	165,49
20	56,88	59,75	64,13	72,21	82,36	88,09	92,10	95,19	97,70	104,70	114,15	123,56	135,97	145,35
30	49,33	52,16	56,49	64,46	74,47	80,13	84,08	87,13	89,61	96,52	105,84	115,12	127,37	136,63
40	43,38	46,12	50,31	58,03	67,73	73,21	77,04	79,99	82,39	89,08	98,11	107,10	118,96	127,93
50	39,16	41,81	45,87	53,35	62,74	68,05	71,76	74,61	76,94	83,42	92,17	100,88	112,37	121,06
60	34,97	37,42	41,15	48,03	56,67	61,54	64,96	67,59	69,73	75,69	83,74	91,75	102,32	110,31
70	31,24	33,43	36,77	42,94	50,69	55,07	58,13	60,49	62,41	67,75	74,96	82,15	91,63	98,79
80	28,23	30,24	33,30	38,96	46,06	50,06	52,87	55,03	56,76	61,68	68,29	74,87	83,56	90,12
90	25,83	27,67	30,48	35,66	42,17	45,84	48,42	50,36	52,01	56,49	62,56	68,59	76,55	82,57
100	23,74	25,44	28,03	32,79	38,79	42,17	44,54	46,36	47,84	51,98	57,55	63,11	70,44	75,98
110	22,06	23,64	26,06	30,51	36,11	39,26	41,47	43,18	44,56	48,42	53,63	58,82	65,66	70,84
120	20,56	22,03	24,29	28,44	33,65	36,59	38,65	40,24	41,53	45,13	49,99	54,82	61,20	66,02
130	19,20	20,58	22,69	26,56	31,44	34,19	36,11	37,59	38,79	42,16	46,69	51,21	57,17	61,68
140	17,97	19,29	21,22	24,84	29,38	31,95	33,74	35,13	36,29	39,39	43,62	47,83	53,39	57,59
150	16,84	18,04	19,88	23,26	27,50	29,90	31,58	32,87	33,92	36,85	40,81	44,74	49,94	53,87
160	15,86	16,99	18,72	21,89	25,88	28,14	29,71	30,93	31,92	34,67	38,39	42,09	46,97	50,67
170	14,99	16,05	17,67	20,67	24,43	26,55	28,04	29,19	30,12	32,71	36,21	39,70	44,30	47,78
180	14,21	15,22	16,77	19,62	23,19	25,22	26,63	27,72	28,61	31,08	34,41	37,73	42,11	45,42

Nota. La imagen muestra una tabla donde se presentan los tiempos de retorno de lluvias en Palmira. (Martínez (2013) de ACUAVIVA S.A E.S. P - Departamento de Planeación Técnica, julio de 2013)

Figura 15

Curvas IDF Ciudad de Palmira.



Nota. La imagen muestra las Curvas IDF Ciudad de Palmira. (Martínez (2013) de ACUAVIVA S.A. E.S. P. - Departamento de Planeación Técnica, julio de 2013.)

Después de calcular las curvas IDF se utilizó el método del Bloque Alternó para obtener hietogramas sintéticos de las lluvias de diseño en Palmira, arrojando los siguientes datos:

Figura 16

Lluvias de diseño-Hietogramas Sintéticos calculados por el método de bloque alterno con las Curvas IDF Palmira ICA 1970-2012.

Duración minutos	Tiempo de retorno, años													
	2	2,33	3	5	10	15	20	25	30	50	100	200	500	1000
5	0,48	0,42	0,35	0,67	0,8	0,9	1,27	0,97	0,98	1,09	1,2	1,32	1,47	1,60
10	0,82	0,72	0,80	1,16	1,4	1,5	1,60	1,73	1,72	1,90	2,1	2,30	2,58	2,78
15	1,11	0,94	1,32	1,54	1,8	2,0	2,14	2,17	2,33	2,50	2,8	3,06	3,41	3,69
20	1,48	1,58	1,75	2,07	2,5	2,7	2,86	2,98	3,08	3,35	3,7	4,09	4,58	4,95
30	3,01	3,14	3,34	3,71	4,4	4,8	5,16	5,42	5,61	6,17	6,9	7,68	8,68	9,43
40	4,16	4,37	4,69	5,77	7,1	7,9	8,44	8,85	9,19	9,90	10,8	11,70	12,89	13,79
50	5,32	5,59	6,01	6,79	7,9	8,7	9,32	9,76	10,12	11,13	12,5	13,84	15,62	16,97
60	6,47	6,82	7,35	8,32	9,8	10,7	11,34	11,84	12,24	13,36	14,9	16,37	18,36	19,87
70	5,71	6,16	6,87	8,16	9,5	10,2	10,72	11,09	11,40	12,24	13,4	14,52	16,01	17,15
80	4,26	4,67	5,30	6,46	7,8	8,3	8,69	8,99	9,23	10,13	11,4	12,67	14,34	15,60
90	3,71	4,10	4,68	5,25	6,0	6,4	6,7	6,88	7,06	7,55	8,2	8,89	9,77	10,43
100	2,34	2,58	2,93	3,57	4,2	4,4	4,63	4,77	4,89	5,21	5,6	6,08	6,65	7,08
110	1,19	1,32	1,50	1,85	2,3	2,5	2,67	2,80	2,87	3,20	3,6	3,99	4,51	4,91
120	0,88	1,19	1,06	1,29	1,6	1,7	1,80	1,90	1,96	2,14	2,4	2,65	2,98	3,24
130	0,68	0,89	1,00	0,94	1,1	1,2	0,94	1,32	1,37	1,49	1,7	1,80	2,02	2,17
140	0,33	0,53	0,58	0,41	0,4	0,5	0,49	0,53	0,62	0,56	0,6	0,71	0,81	0,88
150	0,19	0,21	0,24	0,30	0,4	0,4	0,44	0,45	0,49	0,56	0,6	0,65	0,71	0,74
160	0,18	0,18	0,22	0,22	0,3	0,3	0,28	0,31	0,32	0,33	0,3	0,39	0,40	0,44
170	0,17	0,17	0,19	0,19	0,2	0,2	0,22	0,20	0,22	0,22	0,2	0,25	0,27	0,30
180	0,16	0,09	0,15	0,19	0,2	0,2	0,22	0,22	0,14	0,21	0,2	0,24	0,26	0,26

Nota: La imagen muestra una tabla que contiene las lluvias de diseño-Hietogramas Sintéticos. (Martínez (2013) de ACUAVIVA S.A. E.S.P. - Departamento de Planeación Técnica, julio de 2013.)

De manera, que Martínez (2013) en su tesis, escoge un caso de estudio en esta ciudad, tomando el proyecto de la Urbanización Plaza Campestre, ubicado en la cuenca de drenaje del río Palmira, donde la primera etapa está construida, la segunda en desarrollo y otra zona destinada al comercio, por lo que se lleva a cabo en este lugar la alternativa de drenaje con base en la metodología SUDS para implementarla en la etapa dos del proyecto. El diseño inicial “determinó el inicio del colector denominado PC-8 a la altura de la calle 42 con

carrera 19, justificado por las áreas de expansión que se adelantaban en ese sector de la ciudad entre los años 1970 y 1971.” (Martínez, 2013, p. 67).

Con el tiempo al colector se le agregaron nuevas áreas, su trayectoria se compone de tubería de hormigón y para el 2013 la tubería tenía capacidad de transportar aproximadamente 156 L/s. Por tanto, la alternativa aplicada se basó en Técnicas Alternativas para Aguas Lluvias en Sectores Urbanos, por consiguiente, se escogió un estanque de detención, el cual es una obra de almacenamiento que capta el flujo superficial y lo almacena por un tiempo para después hacer la descarga aguas abajo, disminuyendo así los caudales. (Martínez, 2013)

El proceso que tuvo la metodología que se aplicó se basó inicialmente en delimitar las zonas tributarias, circular el coeficiente de escurrimiento, el tiempo de concentración, la definición de la lluvia y los caudales de diseño, así como el caudal máximo de descarga, el conducto de salida y el volumen principal. Luego se definieron las cuencas, los nudos, las tuberías y el depósito de detención. Los resultados arrojaron que a través de la modelación del tanque de detención se encuentra un comportamiento del sistema que ayuda a prevenir los problemas de anegamiento para un tiempo de 25 años. El informe que se obtuvo en el programa SWMM muestra que se cumplieron los parámetros de diseño. (Martínez, 2013).

2.4 Caso en el departamento de Norte de Santander.

El cuarto caso se presenta en la ciudad de Cúcuta, departamento de Norte de Santander, donde se llevó a cabo una propuesta de diseño de un sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) para reducir los niveles de inundación en la intersección entre la avenida 12E y la calle 2N, realizada por Bautista y Sanguino (2020) a fin de mejorar la transitabilidad de la zona, los estancamientos de aguas lluvias y darle una mejor disposición al agua. Mencionar igualmente que la ciudad de Cúcuta no cuenta con un alcantarillado de tipo pluvial. Esta intersección que ya se ha mencionado se ubica en el barrio Quinta Oriental, colindando con la Universidad Francisco de Paula Santander.

En época de lluvias, esta zona sufre inundaciones que dificultan el tránsito de este lugar como la entrada a dicha universidad, por ello, los SUDS son una buena alternativa de solución a esta problemática, así como el desarrollo urbanístico, paisajístico y ambiental. Para llevar a cabo este diseño en una primera etapa se recopiló la información de la zona de estudio, se hizo una revisión de la misma y una matriz de evaluación. Luego se realizaron los cálculos y dimensiones de los SUDS seleccionados para luego hacer un informe de memorias de cálculo y presentar los planos constructivos, para finalmente determinar las cantidades de la obra y análisis de costos. (Bautista & Sanguino, 2020).

De manera que se propone que la universidad debe diseñar un sistema de alcantarillado para manejo de aguas pluviales. En la recolección de la información se hizo un análisis topográfico y se estudiaron los factores geotécnicos, climáticos e hidrológicos y las curvas de Intensidad - Frecuencia - Duración de las lluvias presentadas a continuación:

Figura 17

Principales características de la ciudad de Cúcuta.

PRINCIPALES PARAMETROS METEREOLÓGICOS, CÚCUTA												
Medios	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Precipitación	45,90	34,20	49,20	91,30	75,00	34,80	29,60	32,70	54,60	111,90	110,30	62,40
T.max.med	29,20	30,10	30,80	29,90	30,20	29,70	29,20	30,90	30,90	30,40	29,80	29,20
Temperatura	26,40	26,70	27,20	27,30	28,00	28,10	28,10	28,70	28,80	28,00	27,10	26,50
T.min.med	23,60	23,20	23,50	25,30	26,50	26,60	26,50	27,40	26,80	26,00	24,70	23,20
Brillo solar	202,00	167,00	153,00	145,00	180,00	179,00	203,00	217,00	201,00	197,00	189,00	193,00
Evaporación	152,80	148,00	159,30	157,70	188,60	213,30	41,40	252,00	219,70	180,00	140,00	137,80

Nota. La imagen muestra la tabla de los principales parámetros meteorológicos de la ciudad.

(Bautista & Sanguino, 2020, fuente: IDEAM)

Figura 18

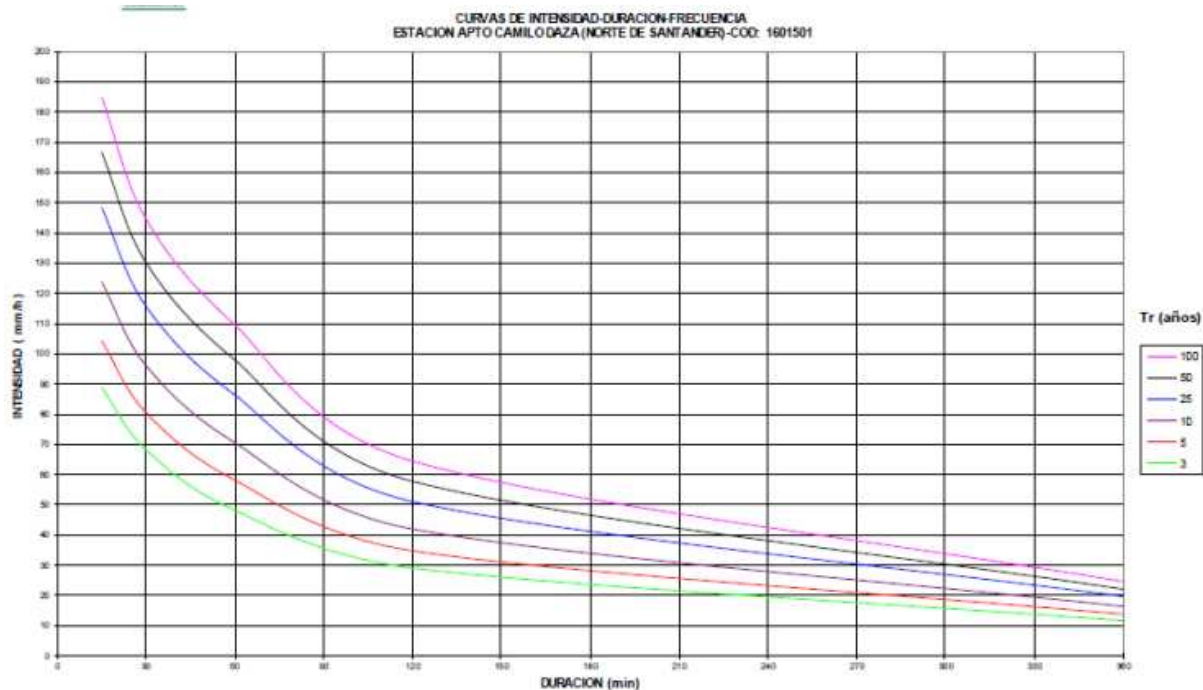
Datos empleados para generar las curvas IDF de la ciudad de Cúcuta.

IDEAM	Relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF)					
DURACIÓN Minutos	Estación : 1601501 (Aeropuerto Camilo Daza) Número de años analizados : 29					
	PERIODO DE RETORNO, años					
	3	5	10	25	50	100
15	88.6	104.1	123.6	148.2	166.5	184.7
30	68.0	80.3	95.9	115.5	130.0	144.4
60	48.0	58.0	70.4	86.2	97.8	109.4
120	28.9	34.6	41.8	50.9	57.6	64.3
360	11.5	13.6	16.2	19.5	21.9	24.4

Nota. La imagen muestra la tabla de los datos utilizados para generar las curvas IDF de la ciudad. (Bautista & Sanguino, 2020, fuente: IDEAM (2014))

Figura 19

Curvas IDF para la Estación Camilo Daza de la Ciudad de Cúcuta.



Nota. La imagen muestra las curvas IDF de la ciudad. (Bautista & Sanguino, 2020, fuente: IDEAM)

Por tanto, después de realizar los respectivos análisis y estudiar las particularidades físicas de la zona de emplazamiento para la elección de SUDS, así como tener en cuenta el uso del suelo en el lugar de instalación, se estudió la calidad del agua y el rendimiento en el control de la cantidad, asimismo los factores ambientales y sociales que favorecieran la escogencia de la mejor técnica, de manera que los más recomendables fueron los del grupo de retención, infiltración y control en fuente. El grupo de SUDS de retención se compone de las técnicas de; estanque de retención y almacenamiento subsuperficial. La infiltración se compone de técnicas como los estanques de infiltración, las zanjas de infiltración y los pozos

de infiltración. Por último, el grupo de control en fuente se compone de técnicas como el green roof, recolección de agua de precipitación y pavimento permeable. (Bautista & Sanguino, 2020).

Bautista y Sanguino (2020) mencionan que estos grupos de SUDS son más recomendables para abordar la problemática expuesta, “debido a que esto es lo que se está buscando como objetivo para la intersección entre la Avenida 12E con Calle 2N” (p. 84), porque la topografía del sector y el diseño de las vías se estancan por las aguas lluvias obstaculizando el libre tránsito. Igualmente, estas técnicas en la zona son económicas, duraderas y aportan a la ciudad.

Del mismo modo, este caso de estudio para seleccionar el tipo de SUDS, uso el software SuperDecisions implementando un proceso de jerarquía analítica, teniendo en cuenta aspectos técnicos, económicos, ambientales y las amenazas que se puedan presentar, por ello, las alternativas tenidas en cuenta por el programa fueron: cunetas verdes, cuenca seca de drenaje extendido, depósitos enterrados o detención, estanques o pozos de infiltración, pavimentos permeables, zanjas de infiltración y zonas o áreas de biorretención. (Bautista & Sanguino, 2020).

Por consiguiente, el diseño del Sistema Urbano para la Avenida 12E con calle 2N fueron los pozos de infiltración, teniendo en cuenta los análisis realizados, es así que se diseñó un sistema de recolección y transporte de aguas pluviales hacia la Universidad a causa de su gran caudal además de tener un espacio para el área de infiltración. Se realizó un análisis hidrográfico para obtener la intensidad, luego un análisis entre los intervalos de

tiempo mirando los cambios en los caudales para así poder diseñar la captación, transporte y capacidad del sistema mientras se filtra el agua. (Bautista & Sanguino, 2020).

Para el diseño de los tanques de infiltración se escogió el coeficiente de infiltración del suelo y para la recolección del agua lluvia se propuso rejillas laterales en la intersección. Luego se diseñó un canal de transporte hacia las tuberías cumpliendo con ciertos parámetros hidráulicos. Se hizo un diseño de pozos de inspección donde se tuvo en cuenta la norma técnica de recolección de aguas residuales y lluvias de EMCALI. Se ejecuta de igual forma un diseño de desarenadores, donde se buscó ocupar poco espacio y retener de buena manera los sedimentos. Finalmente, Bautista y Sanguino (2020) presentan una ambientación de lo que sería el diseño en la intersección:

Figura 20

Intersección entre la Avenida 12E y Calle 2N; Imagen 1 ambientación.



Nota. La imagen muestra la ambientación que se realizó en la intersección del diseño del SUDS. (Bautista & Sanguino, 2020)

Figura 21

Intersección entre la Avenida 12E y Calle 2N; Imagen 2 Ambientación.



Nota. La imagen muestra la ambientación que se realizó en la intersección del diseño del SUDS. (Bautista & Sanguino, 2020)

Figura 22

Intersección entre la Avenida 12E y Calle 2N; Imagen 3 Ambientación.



Nota. La imagen muestra la ambientación que se realizó en la intersección del diseño del SUDS. (Bautista & Sanguino, 2020)

Figura 23

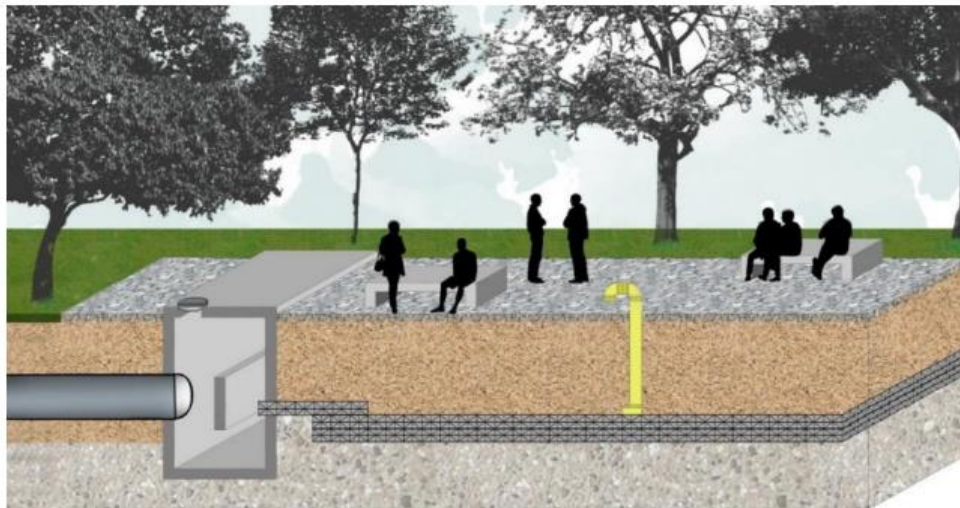
Intersección entre la Avenida 12E y Calle 2N; Imagen 4 Ambientación.



Nota. La imagen muestra la ambientación que se realizó en la intersección del diseño del SUDS. (Bautista & Sanguino, 2020)

Figura 24

Ambientación perfil estructura de infiltración.



Nota. La imagen muestra la ambientación que se ejecutó de la estructura de infiltración. (Bautista & Sanguino, 2020).

2.5 Caso en el departamento de Santander.

El quinto caso se ubica en Floridablanca, departamento de Santander, donde se realizó el diseño de un tren de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para la Universidad Santo Tomás, (USTA) Campus Floridablanca, llevado a cabo por Gutiérrez y Ariza (2020) donde se presenta que a causa de la ausencia de capacidad hidráulica de la estructura para drenar los caudales de agua lluvia, ocurre un aumento de estos caudales obligando a las personas de dicha institución a evacuar, pues las entradas y salidas de los edificios se empozan. Por tanto, este diseño busca plantearse como una opción de regulación y control de las aguas en el campus de dicha universidad.

Es así, que se procedió a una identificación de las zonas críticas que requieren de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) seleccionando los más adecuados que se ajusten a las necesidades de la zona. La metodología que se utilizó para la selección del tipo de SUDS tuvo que ver con tener en cuenta criterios como el mejoramiento de la calidad del recurso hídrico, el control de volúmenes pluviales, la amenidad, el sostenimiento y finalmente los costos. Para esta selección se empleó un Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) siendo esta una técnica estructurada para analizar y organizar las decisiones basadas en cálculos matemáticos. (Gutiérrez & Ariza, 2020).

En la etapa de diseño del tren del Sistema Urbanos de Drenaje Sostenible, se hizo el diseño de los alcorques inundables, las zanjas de infiltración, los pavimentos permeables y los tanques de almacenamiento, teniendo en cuenta los datos hidrológicos que se mostrarán a continuación:

Figura 25

Datos organizados por estaciones.

LA FLORA		PIEDECUUESTA LA GRANJA	
fecha	mm/h	fecha	mm/h
1/01/2009	20,7	1/01/2009	16,2
1/02/2009	1128,8	1/02/2009	30,8
1/03/2009	93,4	1/03/2009	47,0
1/04/2009	149,6	1/04/2009	57,3
1/05/2009	111,1	1/05/2009	46,4
1/06/2009	54,2	1/06/2009	55,2
1/07/2009	105,6	1/07/2009	46,0
1/08/2009	79,7	1/08/2009	35,2
1/09/2009	152,7	1/09/2009	72,8
1/10/2009	22,8	1/10/2009	6,7
1/11/2009	212,1	1/11/2009	71,3
1/12/2009	135,2	1/12/2009	66,0
1/01/2010	17,4	1/01/2010	28,7
1/02/2010	17,2	1/02/2010	2,3
1/03/2010	59,7	1/03/2010	25,0
1/04/2010	48,5	1/04/2010	5,2
1/05/2010	80,7	1/05/2010	42,6
1/06/2010	292,3	1/06/2010	95,0
1/07/2010	126,8	1/07/2010	53,5
1/08/2010	113,0	1/08/2010	35,4

Nota. La imagen muestra la tabla de los datos que brindo la IDEAM para llevar a cabo el proyecto. (Gutiérrez & Ariza, 2020).

Figura 26

Datos de la estación utilizada.

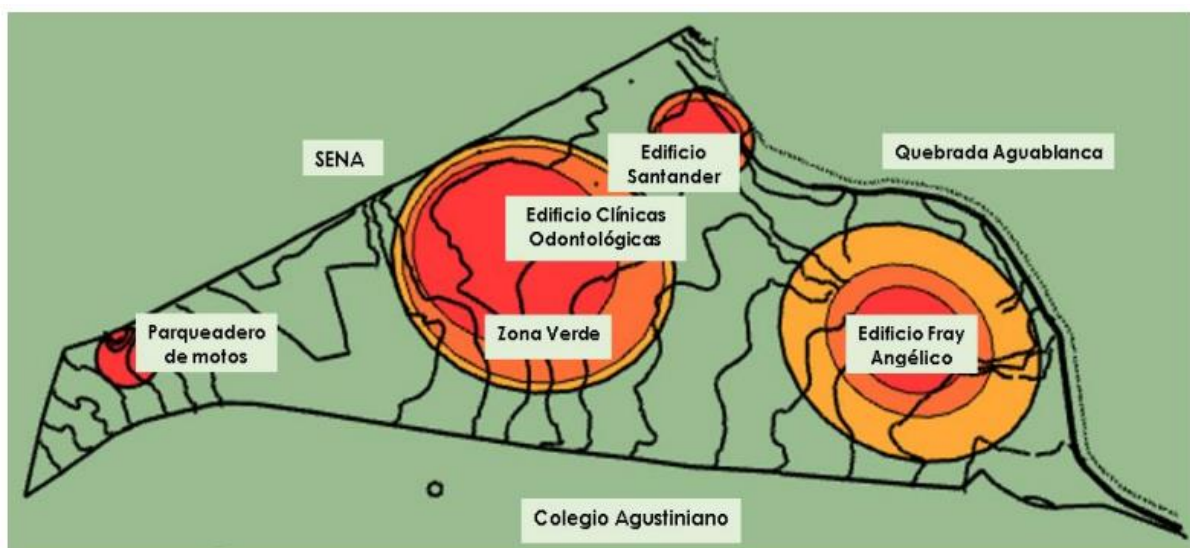
La Flora	
mes	precipitacion (mm)/h
1/01/2019	6,5
1/02/2019	124,6
1/03/2019	71,8
1/04/2019	114,0
1/05/2019	155,3
1/06/2019	80,5
1/07/2019	27,1
1/08/2019	113,2
1/09/2019	148,5
1/10/2019	79,4
1/11/2019	121,3
1/12/2019	69,8

Nota. La imagen muestra la tabla con la información de las lluvias de la estación escogida. (Gutiérrez & Ariza, 2020).

La identificación de las zonas críticas se realizó a través de un plano básico de la universidad en el software SketchUp, donde los colores cálidos como el rojo son las zonas más afectadas, las anaranjadas están afectadas medianamente y las de color amarillo tienen una menor afectación, por tanto, el plano se muestra de la siguiente forma:

Figura 27

Mapa de zonificación.



Nota. La imagen muestra las zonas más afectadas por lluvias en el campus de la USTA.

(Gutiérrez & Ariza, 2020).

Teniendo en cuenta lo anterior, Gutiérrez y Ariza, (2020) realizan una definición de las alternativas más pertinentes de SUDS con mejor grado de sostenibilidad, con la selección AHP arrojando los siguientes resultados:

Figura 28

AHP criterios.

		A	B	C	D	E
	CRITERIOS	Mejoramiento de la calidad de agua	Control de volumen de agua lluvia	Amenidad	Mantenimiento	Costo
1	Mejoramiento de la calidad de agua	1	3	5	3	1
2	Control de volumen de agua lluvia	0.33	1	3	2	1
3	Amenidad	0.20	0.33	1	1	1
4	Mantenimiento	0.33	0.50	1.00	1	1
5	Costo	1	1	1	1	1
	SUMA	2.87	5.83	11.00	8.00	5.00

Nota. La imagen muestra la tabla de los criterios tenidos en cuenta para la selección de los SUDS. (Gutiérrez & Ariza, 2020).

Figura 29

AHP mejoramiento de la calidad de agua.

		A	B	C	D	E	F	G
	Mejoramiento de la calidad de agua	Pavimentos permeables	Tanques de almacenamiento	Zanja de infiltración	Alcorques inundables	Cuenca seca de drenaje	Cunetas verdes	Zonas de Bio-retención
1	Pavimentos permeables	1	1	1	1	5	3	3
2	Tanques de almacenamiento	1	1	1	1	1	1	1
3	Zanja de infiltración	1	1	1	1	3	2	3
4	Alcorques inundables	1.00	1	1.00	1	5	3	3
5	Cuenca seca de drenaje	0.20	1.00	0.33	0.20	1	2	1
6	Cunetas verdes	0.33	1	0.5	0.33	0.50	1	4
7	Zonas de Bio-retención	0.33	1	0.33	0.33	1	0.25	1
	SUMA	4.87	7.00	5.17	4.87	16.50	12.25	16

Nota. La imagen muestra la tabla del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) del criterio de mejoramiento de la calidad de agua. (Gutiérrez & Ariza, 2020).

Figura 30

AHP Control de agua lluvia

	A	B	C	D	E	F	G
Control de volumen de agua lluvia	Pavimentos permeables	Tanques de almacenamiento	Zanja de infiltración	Alcorques inundables	Cuenca seca de drenaje	Cunetas verdes	Zonas de Bio-retención
1	Pavimentos permeables	1	2	3	2	2	2
2	Tanques de almacenamiento	1	3	3	2	2	3
3	Zanja de infiltración	0.5	1	7	5	5	5
4	Alcorques inundables	0.33	0.14	1	1	1	1
5	Cuenca seca de drenaje	0.50	0.20	1.00	1	1	1
6	Cunetas verdes	0.50	0.2	1.00	1.00	1	1
7	Zonas de Bio-retención	0.50	0.20	1.00	1	1	1
	SUMA	4.33	6.74	17.00	13.00	13	14

Nota. La imagen muestra la tabla del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) del criterio de control de agua lluvia. (Gutiérrez & Ariza, 2020).

Figura 31

AHP Costos

	A	B	C	D	E	F	G
Costo	Pavimentos permeables	Tanques de almacenamiento	Zanja de infiltración	Alcorques inundables	Cuenca seca de drenaje	Cunetas verdes	Zonas de Bio-retención
1	Pavimentos permeables	4	5	5	5	7	5
2	Tanques de almacenamiento	1	1	1	1	5	1
3	Zanja de infiltración	0.2	1	1	1	5	1
4	Alcorques inundables	0.20	1.00	1	1	5	1
5	Cuenca seca de drenaje	0.20	1.00	1.00	1	5	1
6	Cunetas verdes	0.14	0.2	0.20	0.20	1	1
7	Zonas de Bio-retención	0.20	1.00	1.00	1	1	1
	SUMA	2.94	10.20	10.20	10.20	29	11

Nota. La imagen muestra la tabla del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) del criterio de control de costos. (Gutiérrez & Ariza, 2020).

Figura 32

AHP Mantenimiento.

	A	B	C	D	E	F	G	
Mantenimiento	Pavimentos permeables	Tanques de almacenamiento	Zanja de infiltración	Alcorques inundables	Cuenca seca de drenaje	Cunetas verdes	Zonas de Bio-retención	
1	Pavimentos permeables	1	5	1	2	2	3	1
2	Tanques de almacenamiento	1	1	1	1	1	1	1
3	Zanja de infiltración	1	1	1	3	3	3	1
4	Alcorques inundables	0.50	1	0.33	1	1	3	1
5	Cuenca seca de drenaje	0.50	1.00	0.33	1.00	1	1	1
6	Cunetas verdes	0.33	1	0.33333333	0.33	1.00	1	1
7	Zonas de Bio-retención	1.00	1	1.00	1.00	1	1	1
	SUMA	5.33	11.00	5.00	9.33	10.00	13	7

Nota. La imagen muestra la tabla del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) del criterio de control de mantenimiento. (Gutiérrez & Ariza, 2020).

Figura 33

AHP Amenidad.

	A	B	C	D	E	F	G
Amenidad	Pavimentos permeables	Tanques de almacenamiento	Zanja de infiltración	Alcorques inundables	Cuenca seca de drenaje	Cunetas verdes	Zonas de Bio-retención
1	Pavimentos permeables	1	1	1	1	1	1
2	Tanques de almacenamiento	1	1	1	1	1	1
3	Zanja de infiltración	1	1	1	1	1	1
4	Alcorques inundables	1.00	1	1.00	1	3	3
5	Cuenca seca de drenaje	1.00	1.00	1.00	0.33	1	1
6	Cunetas verdes	1.00	1	1	0.33	1.00	1
7	Zonas de Bio-retención	1.00	1	1.00	0.33	1	1
	SUMA	7.00	7.00	7.00	5.00	9.00	9

Nota. La imagen muestra la tabla del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) del criterio de control de amenidad. (Gutiérrez & Ariza, 2020).

Figura 34*Resultados AHP*

	Pavimentos permeables	Tanques de almacenamiento	Zanja de infiltración	Alcorques inundables	Cuenca seca de drenaje	Cunetas verdes	Zonas de Bio-retención
Mejoramiento de la calidad de agua	1	4	3	2	6	5	7
Control de volumen de agua lluvia	3	2	1	7	4	5	6
Costos	1	2	3	4	5	7	6
Mantenimiento	1	3	2	4	6	7	5
Amenidad	2	4	3	1	5	6	7

Nota. La imagen muestra la tabla los resultados del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) de todos los criterios. (Gutiérrez & Ariza, 2020).

Por tanto, con base en la información anterior, Gutiérrez y Ariza, (2020) llevaron a cabo el diseño del tren de Sistema de Drenaje Urbano Sostenible, siguiendo la metodología que propusieron en su tesis, dando los siguientes cálculos y diseños:

Figura 35*Cálculo diseño Alcorques inundables.*

Alcorques inundables	
Datos	
As	2.5
Asm	2.5
Ds (diámetro de la tubería perforada)	0.1
dm	0.6
nm	0.4
dc	0.4
ng	0.3
Af	2.5
d	0.15
Vpt	0
f	63
dcg (capa de drenaje sobre la tubería)	0.15
das	0.15

V=	1.275
Vinf	0.1125
Vf=	1.1625
ven=	0.375

$As \leq 2 * Asm$	5
-------------------	---

Nota. La imagen muestra la tabla de los cálculos y diseño de los alcorques inundables.

(Gutiérrez & Ariza, 2020).

Figura 36

Cálculo diseño Zanjas de infiltración

Zanjas de infiltración			
Datos			
hp	4	Vc	14.3
Ad	6.5	D1	15.12
C (coeficiente de escorrentia)	0.55	D2ci	0.2295
Td	48	D2nf	6.624
f	63	Asmin	35.75
ng	40	Wmin	0.15
FSb	0.5		
dci	9		
dL	0.15		
d minci	0.17		
dnf	13.8		
Vc	14.3		
d mincnf	3.2		
d	1		

Nota. La imagen muestra la tabla de los cálculos y diseño de las zanjas de infiltración.

(Gutiérrez & Ariza, 2020).

Figura 37

Cálculo diseño Pavimentos permeables (Parqueadero motos entrada al campus)

PAVIMENTO PERMEABLE (parq. Motos entrada)				
Datos				
		Cotas	Distancia	Pendiente
hp=	4	859	29.9	0.10
Ci=	0.55	862		
Ai=	540	Diferencia de cota	3	
As=	189	Vc	415.80	
Sf=	0.10	Rim=	1.57	
ncr=	40	Rt=	2.92	
dcr=	0.15	Lbd=	1.10	
dl=	0.0254	V=	526.18	

Nota. La imagen muestra la tabla de los cálculos y diseño de los Pavimentos permeables

(Parqueadero motos entrada al campus). (Gutiérrez & Ariza, 2020).

Figura 38

Cálculo diseño Pavimentos permeables (Parqueadero edificio Santander)

PAVIMENTO PERMEABLE (parq. Edificio Santander)				
Datos		Cotas	Distancia	Pendiente
hp=	4	863	65.3	0.02
Ci=	0.55	864		
Ai=	810	Diferencia de cota	1	
As=	627	Vc	1379.40	
Sf=	0.02	Rim=	0.71	
ncr=	40	Rt=	0.21	
dcr=	0.15	Lbd=	7.18	
dl=	0.0254	V=	1745.57	

Nota. La imagen muestra la tabla de los cálculos y diseño de los Pavimentos permeables (Parqueadero edificio Santander) (Gutiérrez & Ariza, 2020).

Figura 39

Cálculo diseño Pavimentos permeables (Parqueadero edificio Fray Angélico)

PAVIMENTO PERMEABLE (parq. Edificio Fray Angelico)				
Datos		Cotas	Distancia	Pendiente
hp=	4	868	53.2	0.06
Ci=	0.55	871		
Ai=	1800	Diferencia de cota	3	
As=	1566	Vc	3445.2	
Sf=	0.06	Rim=	0.632184	
ncr=	40	Rt=	0.094464	
dcr=	0.15	Lbd=	1.950667	
dl=	0.0254	V=	4359.744	

Nota. La imagen muestra la tabla de los cálculos y diseño de los Pavimentos permeables (Parqueadero edificio Fray Angélico) (Gutiérrez & Ariza, 2020).

Figura 40

Cálculo diseño Tanque de almacenamiento (1)

Estación La Flora								
Fecha	Presipitación (mm)	Escorrentia (m ³)	Demanda (m ³)	Vr	Vr-1	Q ex	Vrmax	V
1/01/2019	6.5	0.39	9.5	1.8	13.74	2.83	410.85	1.8
1/02/2019	124.6	7.54	9.5	1.8	23.60	19.84	11193.38	1.8
1/03/2019	71.8	4.35	9.5	1.8	38.25	31.3	6375.39	1.8
1/04/2019	114.0	6.90	9.5	1.8	16.18	11.78	10226.51	1.8
1/05/2019	155.3	9.39	9.5	1.8	13.37	11.46	13991.73	1.8
1/06/2019	80.5	4.87	9.5	1.8	20.73	14.3	7169.79	1.8
1/07/2019	27.1	1.64	9.5	1.8	15.61	5.95	2292.54	1.8
1/08/2019	113.2	6.85	9.5	1.8	6.60	2.15	10155.30	1.8
1/09/2019	148.5	8.98	9.5	0.45	0.97	0	13376.36	0.45
1/10/2019	79.4	4.80	9.5	1.8	24.73	18.23	7066.62	1.8
1/11/2019	121.3	7.34	9.5	1.8	36.52	32.56	10895.74	1.8
1/12/2019	69.8	4.22	9.5	1.8	33.68	26.6	6192.88	1.8

Nota. La imagen muestra la tabla de los cálculos y diseño del Tanque de almacenamiento (1) (Gutiérrez & Ariza, 2020).

Figura 41

Cálculo diseño Tanque de almacenamiento (2)

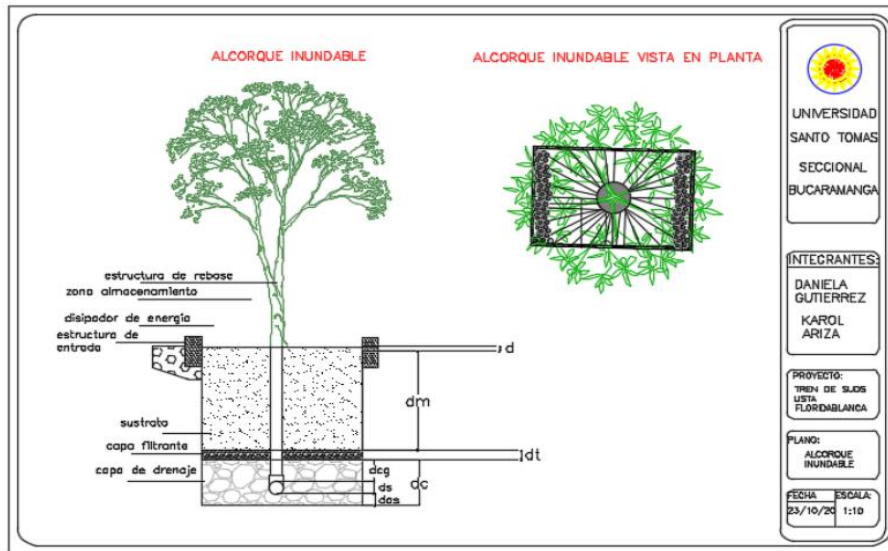
Tanque de almacenamiento	
Datos	
P=	0.002
Ad=	110
C=	0.55
Ecol=	0.83
Pa=	2

Nota. La imagen muestra la tabla de los cálculos y diseño del Tanque de almacenamiento (2) (Gutiérrez & Ariza, 2020).

A continuación, se presentan los planos de las cuatro alternativas del Sistema Urbano de Drenaje Sostenible para el campus Floridablanca de la Universidad Santo Tomás:

Figura 42

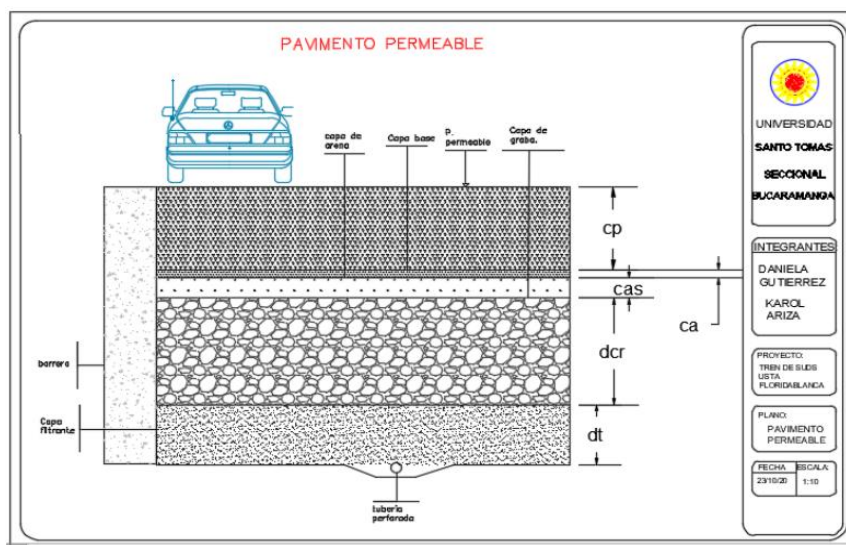
Apéndice E. Alcorque inundable



Nota. La imagen muestra el plano de la alternativa de alcorque inundable. (Gutiérrez & Ariza, 2020).

Figura 43

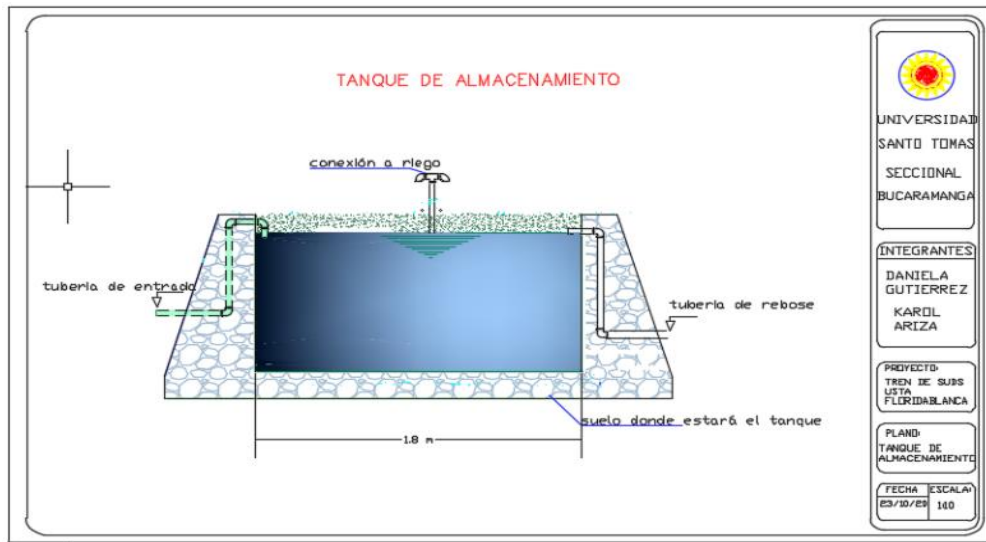
Apéndice F. Pavimento permeable.



Nota. La imagen muestra el plano de la alternativa del pavimento permeable. (Gutiérrez & Ariza, 2020).

Figura 44

Apéndice G. Tanque de almacenamiento



Nota. La imagen muestra el plano de la alternativa del tanque de almacenamiento. (Gutiérrez & Ariza, 2020).

Figura 45

Apéndice H. Zanja de infiltración.



Nota. La imagen muestra el plano de la alternativa de la zanja de infiltración. (Gutiérrez & Ariza, 2020).

De manera que este caso de estudio concluye que el diseño y dimensionamiento del tren de Sistema Urbano de Drenaje Sostenible para la universidad en el campus de Floridablanca está estimado para lograr un almacenamiento de 1.8 m³ de agua lluvia para así cubrir la demanda de cada mes y que los excesos vayan a la quebrada Aguablanca. Es así que se obtuvo el volumen total en la zona de establecimiento en un intervalo de una hora, por lo que el volumen de agua lluvia será conducido por medio de las estructuras de SUDS a fin de evitar el anegamiento. (Gutiérrez & Ariza, 2020).

2.6 Aplicabilidad a nivel nacional

Colombia se ha caracterizado por ser un territorio que posee un relieve montañoso, por ende, el manejo de aguas lluvias es uno de los principales aspectos a controlar, con el fin de evitar socavaciones e inundaciones en el terreno, especialmente en las zonas con potencial urbanizable, donde la necesidad de un buen diseño hidráulico es vital con el fin de preservar la estabilidad y condiciones de permeabilidad de los suelos de fundación de las edificaciones evitando de esta manera posibles infiltraciones en el terreno que pudiese originar asentamiento diferenciales a futuro.

Por ende, se recomienda la implementación de SUDS en los sitios donde se presente grandes depresiones del terreno y no cuente con un alcantarillado pluvial o combinado que pudiese evacuar en su totalidad el agua esorrentía, dichas observaciones deben tenerse en cuenta principalmente por todas las entidades territoriales de cada municipio en expedir las licencias de construcción, donde el diseño hidráulico, sanitario e implementación de los SUDS, sea de obligatorio cumplimiento.

Cabe resaltar que estos SUDS se han implementado en la pavimentación de vías urbanas, siendo estos, una alternativa factible que logra mejorar notablemente los caudales de inundación que mayormente se presentan ante la ausencia de alcantarillados pluviales, los más utilizados son las zanjas filtrantes, alcorque inundable y pavimentos permeables.

Capítulo 3. Sistemas alternativos de drenaje de aguas lluvias que se han desarrollado internacionalmente.

El mundo como se conoce hoy en día no es el mismo de hace cien años o más, porque se está en constante cambio, razón por la cual el planeta tierra enfrenta diversas problemáticas, y una de ellas viene a ser el cambio climático, donde es de menester que la humanidad cambie el estilo de vida que lleva actualmente.

Por ello, en distintas partes del mundo se han implementado alternativas en pro del cuidado de los recursos naturales, en especial del recurso hídrico, empleando sistemas alternativos de drenaje de aguas lluvias, que contribuyan a su almacenamiento para posteriores usos como a una adecuada disposición final a las fuentes hídricas reduciendo problemas de inundación en zonas urbanas, a continuación, se hace un compilado de las aplicaciones que se les han dado a estos sistemas a nivel internacional.

3.1. Caso de España

En España, en la ciudad de Alicante, se realizó un proyecto de técnicas de drenaje urbano sostenible, donde se propone un ejemplo de aplicación de una de estas técnicas demostrando su efectividad. Esto se llevó a cabo en la cuenca que forman el PAU I y II, área del barrio San Blas más cerca a la Gran Vía, los barrios, San Agustín, Los Ángeles y Rabasa. Esta área padece de problemas de anegamiento cuando ocurren lluvias de gran intensidad, y esto se debe a que el área es amplia y está urbanizada, por lo que gran parte de la superficie es impermeable. Por ello, la Gran Vía se comporta como un río cuando ocurren las tormentas y por último la superficie de esta cuenca tiene una elevada pendiente, lo cual disminuye a

medida que se acerca donde se juntan los caudales, ocasionando así la ralentización del agua. (Trapote & Fernández, 2016)

Por tanto, en vista de esta situación los SUDS que el proyecto utiliza tienen que ver en un primer momento con el parque inundable, con 7 metros de profundidad máxima, para que este sea un gran depósito cuando ocurran las precipitaciones, disminuyendo las inundaciones del PAU I, esto se llevó a cabo instalando 3 aliviaderos en la red de drenaje, que al definir un caudal se desvía el resto del agua al recinto donde se recibe las aguas las urbanizaciones aledañas, cerca de la cota superior. (Trapote & Fernández, 2016)

Figura 46

Dimensiones de la cuenca del parque inundable (por metro de altura)

Altura (m)	Dmenor (m)	Dmayor (m)	Superficie (m ²)	Volumen parcial (cada metro de altura) (m ³)	Volumen total (m ³)
0	104	127	10373,5389	-	0
1	126	164	16229,4676	13301,5033	13301,5033
2	142	190	21190,0424	18709,755	32011,25834
3	158	210	26059,5111	23624,7768	55636,0351
4	170	225	30041,4797	28050,4954	83686,5305
5	180	240	33929,2007	31985,3402	115671,8707

Nota. La imagen muestra la tabla de las dimensiones de la cuenca. (Trapote & Fernández, 2016)

Figura 47

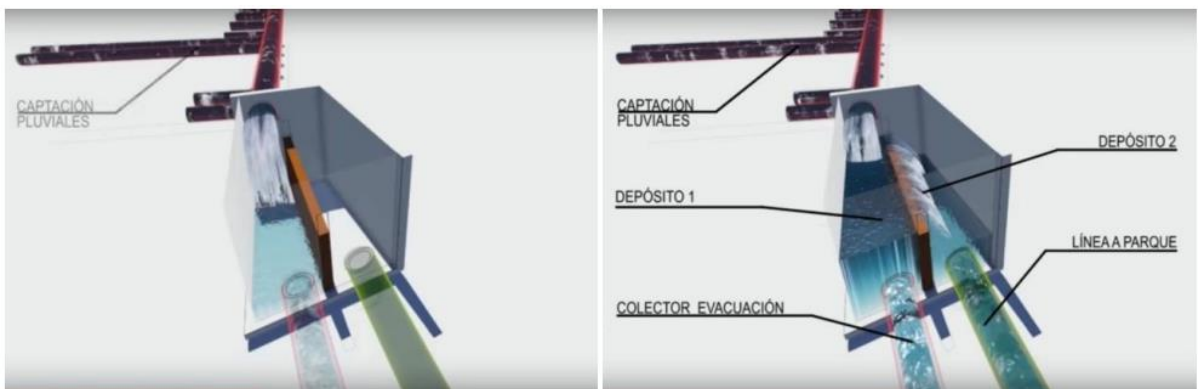
Ubicación del parque inundable.



Nota. La imagen muestra la ubicación donde se realizó el parque inundable. (Trapote & Fernández, 2016)

Figura 48

Funcionamiento aliviadero.



Nota. La imagen muestra el funcionamiento del aliviadero. (Trapote & Fernández, 2016)

Figura 49

Plano en planta del parque de inundación.



Nota. La imagen muestra el Plano en planta del parque de inundación. (Trapote & Fernández, 2016)

El proceso de vaciado del parque se llevará a cabo a través de la infiltración del agua al subsuelo y luego por evapotranspiración. Asimismo, el parque debe cumplir con escoger un tipo de especies que sean capaces de soportar las condiciones, sirviendo para la inundación temporal y que luego no requieran de agua y que tengan un mantenimiento mínimo, de manera que utilizaron tapizantes estoloníferas como la *Lippia nodiflora* o el *Cynodon dactylon*. Igualmente, plantas que resisten al anegamiento como el romero, el baladre y la lavanda. Para evitar la erosión del terreno se colocó una capa de escollera de 5 metros de espesor a la salida de las conducciones a fin de reducir la velocidad del caudal y se plantó caña por su resistencia y flexibilidad. (Trapote & Fernández, 2016)

En un segundo momento, el proyecto emplea las cunetas vegetadas en las avenidas, estas cunetas tuvieron forma trapezoidal y un metro de profundidad, a fin de permitir el

almacenamiento, transporte e infiltración. La función que tuvieron estas cunetas en la zona identificada fue la de infiltrar gran cantidad de caudal para evitar la entrada a la red de drenaje, entre tanto, el canal circulaba paralelamente a la Avenida de la Universidad, en la altura de la calle Avellaneda, por ello, se proyectó una cuneta vegetada a fin de reducir la velocidad del flujo. (Trapote & Fernández, 2016).

Figura 50

Ubicación de las cunetas vegetadas.



Nota. La imagen muestra la ubicación de las cunetas vegetadas. (Trapote & Fernández, 2016)

En un tercer momento, el proyecto hace uso de los depósitos de infiltración, los cuales se hicieron en las glorietas y unas áreas que todavía están sin urbanización, destinadas para el uso público, los cuales infiltrarán al subsuelo una parte del agua lluvia que llegue a los sistemas. La superficie de los depósitos tuvo una superficie permeable y debajo una capa de material con gran conductividad hidráulica que facilitan la infiltración de la escorrentía. La totalidad del área de los depósitos fue de 6,9 hectáreas. (Trapote & Fernández, 2016)

Figura 51

Ubicación de los depósitos de infiltración.



Nota. La imagen muestra la ubicación de los depósitos de infiltración. (Trapote & Fernández, 2016)

En un cuarto momento, el proyecto utiliza jardines de lluvia y cubiertas vegetadas, en el área entre la avenida Deportista Isabel Fernández y la avenida Cardenal Francisco, a fin de laminar el caudal que se genera, debido a que la zona no está urbanizada, causando una gran escorrentía por escasa vegetación y su alta pendiente. Las cubiertas vegetadas se instalaron en las zonas comerciales del lugar, las cuales fueron de tipo extensiva. (Trapote & Fernández, 2016)

Figura 52

Ubicación de los jardines de lluvia y las cubiertas vegetadas.



Nota. La imagen muestra la ubicación de los jardines de lluvia y las cubiertas vegetadas.

(Trapote & Fernández, 2016)

Finalmente, en un quinto momento, se hace uso de los pavimentos permeables las cuales se proyectaron en algunas zonas de aparcamiento a fin de infiltrar al subsuelo la lluvia y la escorrentía transportada por las superficies impermeables. Se proyectó el hormigón para la explanada de una categoría de tráfico pesado T42 y de categoría E1, dimensionando una capa de 18 centímetros de espesor de hormigón permeable sobre una capa de 20 centímetros de zahorra artificial. El área total de las zonas de aparcamiento fue de 1,73 ha. (Trapote & Fernández, 2016)

Figura 53

Sección en alzado del firme permeable.



Nota. La imagen muestra la sección en alzado del firme permeable. (Trapote & Fernández, 2016)

Figura 54

Ubicación de los pavimentos permeables



Nota. La imagen muestra la ubicación de los pavimentos permeables. (Trapote & Fernández, 2016)

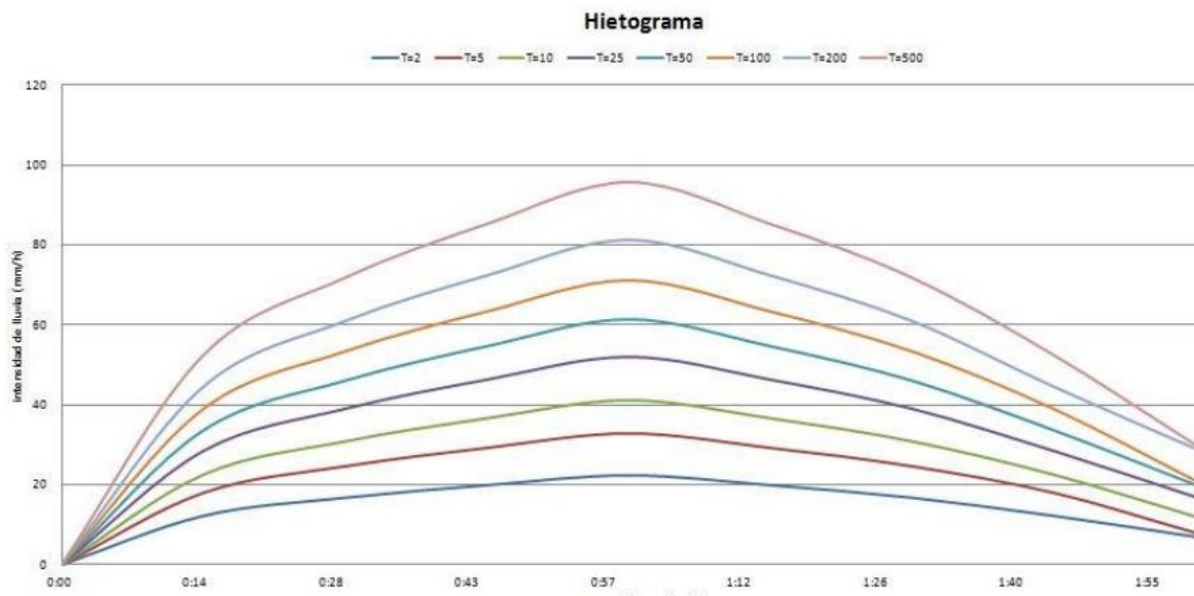
La metodología que llevó a cabo en el proyecto tuvo que ver inicialmente con el cálculo de lluvias, realizando un estudio hidrológico de cuencas urbanas, donde se presentó que las dimensiones de las cuencas eran menores que las que corresponde a los ríos, lo que hizo que la escala se redujera. Por tanto, la lluvia del proyecto se obtuvo partiendo de las curvas IDF obteniendo la siguiente información:

Figura 55*Lluvia de proyecto*

Tiempo (H:Min)	$\frac{D}{24}$	$\frac{P_d}{P_{24}}$	P (T=2) (mm)	P (T=5) mm	P (T=10) mm	P (T=25) mm	P (T=50) mm	P (T=100) mm	P (T=200) mm	P (T=500) mm
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:15	0,01	0,251	12	18	22	29	34	39	44	52
0:30	0,02	0,344	17	25	31	39	46	53	61	72
0:45	0,03	0,408	20	29	36	46	55	63	72	85
1:00	0,04	0,458	22	33	41	52	61	71	81	96

Nota. La imagen muestra la tabla con la información de la lluvia del proyecto.

(Trapote & Fernández, 2016).

Figura 56*Hietogramas de las lluvias de proyecto*

Nota. La imagen muestra el Hietograma de las lluvias de proyecto. (Trapote & Fernández, 2016)

Al realizar los cálculos de cómo funciona la red de drenaje al implementar los SUDS, expuestos anteriormente, se analiza que con el sistema que se tiene ocurren inundaciones con tiempos de recurrencia de 5 años o mayor, pero al implementar los SUDS no ocurren las

inundaciones con un tiempo de recurrencia de 50 años o mayor, de manera que se muestra que los SUDS son efectivos. Pues se ejecutaron simulaciones con el sistema anterior y con el implementado con las técnicas. Se realizó la siguiente comparación:

Figura 57

Comparativa de inundaciones en el momento de mayor escorrentía (1 h 15 min)

Periodo de retorno (años)	Red de drenaje actual (m ³)	Red de drenaje con SUDS (m ³)	Diferencia (m ³)	Escorrentía almacenada en el parque inundable (m ³)
2	0	0	0	7600
5	1594,18	0	1594,18	14700
10	5943,57	0	5943,57	20800
25	11116,51	0	11116,51	29100
50	14881,76	2836,81	12044,95	35900
100	19591,9	5839,63	13752,27	42500
200	24845,57	10580,23	14265,34	50500
500	34980,02	16774,51	18205,51	74700

Nota. La imagen muestra la tabla Comparativa de inundaciones en el momento de mayor agua lluvia. (1 h 15 min). (Trapote & Fernández, 2016)

El proyecto concluye que los SUDS son efectivos para reducir los caudales y evitar inundaciones, asimismo, analizan que el primer sistema más efectivo es el parque inundable, ya que puede eliminar más caudales de la red de drenaje. El sistema que se ubica en el segundo lugar de efectividad son los depósitos de infiltración, debido a que se pueden colocar en varios lugares e infiltrar gran cantidad de agua. El sistema que se ubica de tercero es el pavimento permeable porque, aunque infiltran agua al terreno no son tan efectivos como los

demás y son exigentes en su estructura. Y el sistema con menos efectividad son las cubiertas vegetadas y los jardines de lluvia. (Trapote & Fernández, 2016)

3.2. Caso de China.

En China, como en otras partes del planeta, también ocurren distintos fenómenos climáticos, en este lugar, por ejemplo, debido al desarrollo de su economía, se está presentando la aceleración de la urbanización, contaminación ambiental y escasez del agua a causa de su contaminación, razón por la cual se ha ido implementando diversas técnicas relacionadas con los sistemas de drenaje sostenible a fin de reducir el anegamiento, contaminación y embellecer las ciudades. Por ello, Xue (2020) realiza un proyecto donde propone la construcción de las ciudades esponja o también llamadas ciudad elástica al agua, ayudando a las problemáticas ya mencionadas. El proyecto utilizó una metodología de análisis bibliográfico.

3.2.1. Alternativa de ciudad esponja

Esta ciudad esponja propone que se desarrolle “sistema de agua de lluvia que absorba, almacene, filtre y purifique el agua cuando llueve, y liberarla y cuando sea necesario para lograr la libre circulación del agua de lluvia en la ciudad.” (Xue, 2020, p. 3) Estas ciudades se caracterizan por ser un proyecto de gestión integral de la seguridad del control del anegamiento y sistemático, donde se garanticen los recursos hídricos, se conserve el agua, la gestión ambiental y se restaure la ecología del agua. De manera que al compararla con una ciudad tradicional se encuentran las siguientes diferencias:

Figura 58

Comparación entre construcción tradicional de ciudad y construcción de ciudad esponja.

Ciudad tradicional	Ciudad esponja
Transformar la naturaleza	Conformarse a la naturaleza
Construcción extensa	Desarrollo de bajo impacto
Uso de la tierra	El hombre y la naturaleza viven en armonía
Aumento de la escorrentía superficial	Escorrentía superficial constante
Cambiar la ecología original	Protege la ecología original

Nota. La imagen muestra una tabla donde se hace una comparación. (Xue, 2020).

La construcción de la ciudad esponja debe regirse por reglas como la prioridad ecológica, además de hacer una combinación de medidas artificiales y procesos naturales a fin de incrementar la acumulación, penetración y purificación del agua pluvial en las zonas urbanizadas, garantizando la seguridad del drenaje urbano, las inundaciones y el uso de este recurso hídrico. (Xue, 2020)

Tener presente de igual forma los 5 niveles “de control de contaminación de origen, descarga de agua de lluvia, recolección y utilización de agua de lluvia, prevención y control de anegamiento y control de inundaciones urbanas para todas las lluvias en el período recurrente.” (Xue, 2020, p. 11). Esta ciudad se presenta de la siguiente forma:

Figura 59*Esquema de la ciudad de esponja*

Nota. La imagen muestra el esquema de la ciudad esponja. (Xue, 2020).

Por tanto, al analizar la situación que vive China, Xue (2020) manifiesta que el sistema tradicional de drenaje de aguas lluvias de este país se basa en una construcción urbana de la Unión Soviética, por lo que los estándares son bajos y están atrasados, pues el agua lluvia es un agua residual más. Ante ello, el gobierno plantea como posibilidad la construcción de ciudades esponja en todo su territorio, dando los primeros pasos a implementar en distintas provincias del país.

Por ende, en medio de la urbanización a la que se enfrenta China y las problemáticas ambientales, se ha buscado fortalecer el desarrollo sostenible, donde haya un fortalecimiento en la planificación del espacio urbano, colocando por delante la conservación del

medioambiente y sus recursos, dando como resultado una buena relación entre la naturaleza y ser humano, lo cual se puede lograr a través de la ciudad esponja. Por otro lado, cuando una ciudad se construye de forma tradicional, la implementación de la ciudad esponja se realiza a través de métodos de restauración de las zonas degradadas, de manera que haya una reconstrucción de condiciones naturales, aminorando el impacto ambiental y minimizando las superficies impermeables. (Xue, 2020)

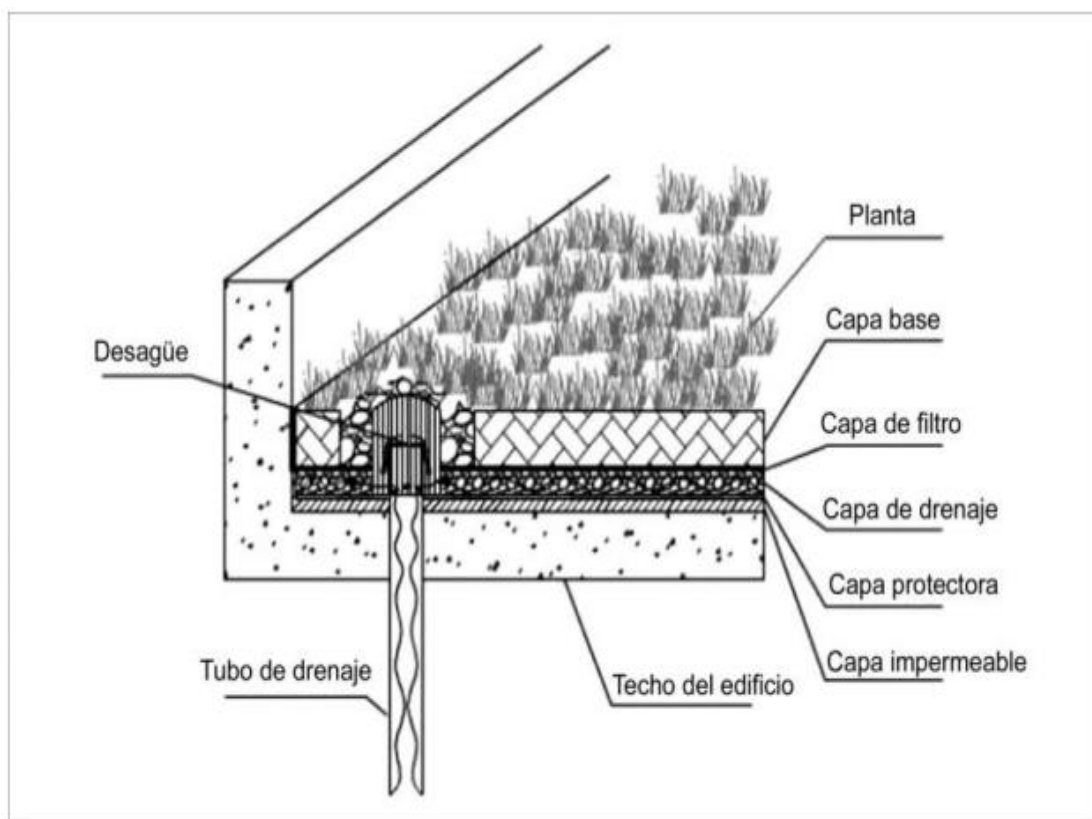
3.2.2. Alternativa de cubiertas ajardinadas.

Es así, que en China se han implementado diversas tecnologías para los sistemas de drenaje sostenible, como las cubiertas ajardinadas, en la cual se instalan jardines en las cubiertas de los edificios, ya que son económicas, alivianan el calor, reduce la escorrentía, la contaminación del aire y embellece el paisaje. Es importante tener presente a la hora de utilizarlos que se debe tener en cuenta la impermeabilización y el mayor peso de la cubierta. Estos jardines tienen una capa de vegetación que ayudan a absorber los nutrientes del suelo y el agua lluvia, siendo parte del ideal de la ciudad esponja planteado. (Xue, 2020)

Asimismo, dan un espacio de preservación del agua pluvial y el crecimiento al sistema de raíces, evitando la pérdida de nutrientes, a fin de impedir el bloqueo de las tuberías de drenaje se coloca una capa de drenaje debajo de la capa de sustrato, igualmente la capa protectora e impermeable se usan como base inferior de la cubierta vegetal y pueden ubicarse en el techo de la estructura teniendo en cuenta el cálculo del peso.

Figura 60

Diagrama esquemático típico de una cubierta vegetal



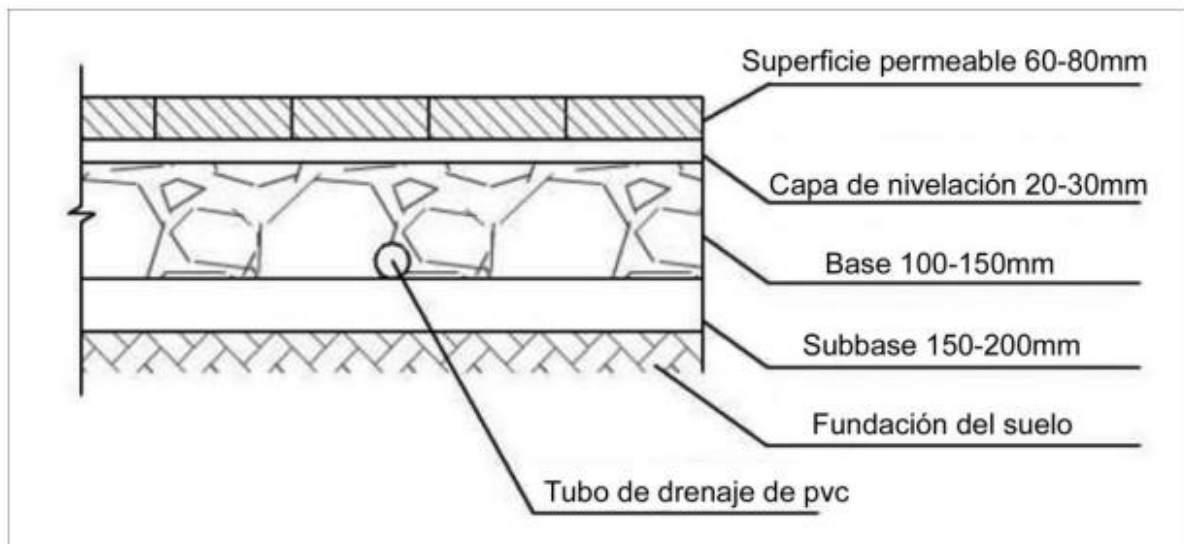
Nota. La imagen muestra el esquema de una cubierta vegetal. (Xue, 2020).

3.2.3. Alternativa de pavimento permeable.

Otra de las técnicas que se han implementado en China, ha sido el pavimento permeable, el cual se utiliza en las vías donde no circulen autos, el cual puede ser pavimento de cemento permeable, pavimento de ladrillo permeable y el de hormigón asfáltico. Para emplearlo se debe tener en cuenta las especificaciones de este pavimento de acuerdo a los distintos materiales permeables, igualmente, tomar las medidas necesarias a fin de evitar desastres geológicos y la contaminación. (Xue, 2020)

Figura 61

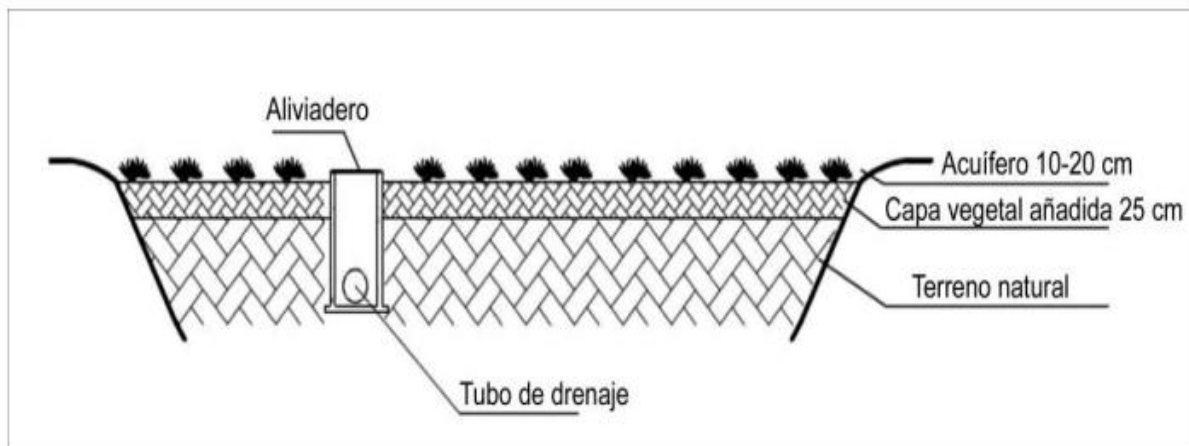
Esquema típico de pavimento permeable



Nota. La imagen muestra el esquema del pavimento permeable. (Xue, 2020).

3.2.4. Alternativa de espacios verdes hundidos.

De la misma manera, se ha implementado también los espacios verdes hundidos, los cuales se colocan topográficamente más bajas que el suelo, los cuales reciben y almacenan agua lluvia a fin de reducir la escorrentía. Suelen tener poca profundidad o mucha para alojar grandes cantidades de agua. Estos espacios se usan para purificar y almacenar la tierra verde del agua pluvial, incluyendo las instalaciones de retención biológica, los estanques de infiltración, húmedos, humedales de agua pluvial, entre otros. Los espacios se emplean en edificios, plazas y parques. (Xue, 2020)

Figura 62*Esquema de un espacio verde hundido*

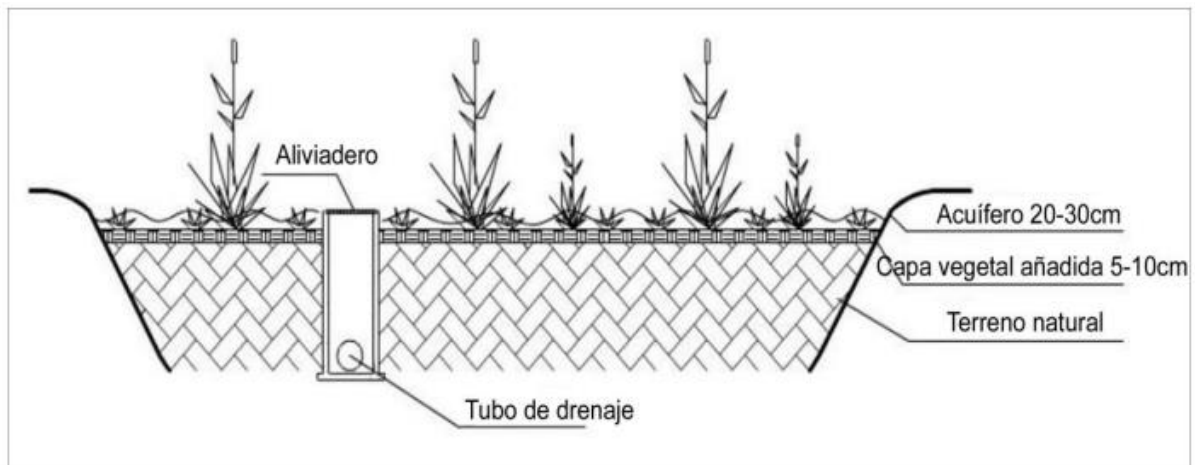
Nota. La imagen muestra el esquema de un espacio verde hundido. (Xue, 2020).

3.2.5. Alternativa de jardín de agua.

Finalmente, otra de las técnicas que utiliza este país son el jardín de agua pluvial, los cuales son espacios verdes excavados que se usan para absorber y recoger las aguas lluvias, la cual es purificada con plantas y la estructura del suelo, ya que se filtra en el suelo, y complementa el agua subterránea, a fin de reducir el riesgo de inundación. Igualmente, a esta técnica también se le llama área de retención biológica. Resaltar, que este jardín se diferencia de la técnica anterior del espacio verde hundido, en aspectos como la perspectiva de la vegetación, la estructura y el almacenamiento del agua. (Xue, 2020)

Figura 63

Diagrama de estructura de la retención biológica.



Nota. La imagen muestra el diagrama de estructura de la retención biológica. (Xue, 2020).

Por tanto, se concluye que para evitar que ocurra el anegamiento de una zona en China, se han propuesto e implementado alternativas de sistemas de drenaje sostenible, como lo son las ciudades esponjas, las cuales usan distintos sistemas como pavimentos permeables, recolección de agua lluvia subterránea y estructuras de almacenamiento, para así evitar los riesgos de inundación a los que están expuestas varias ciudades de este país, teniendo en cuenta el tamaño de las mismas, que no ocurra un desperdicio de los recursos y que las técnicas sean económicas. (Xue, 2020)

3.3. Caso de Perú

En Perú, el manejo de Sistemas de Drenaje Sostenible es escaso, sin embargo, se realizó en la localidad de Alto Libertad, la evaluación de aguas pluviales, aplicando técnicas de drenaje urbano sostenible. Esta localidad en sus periodos de gran intensidad de precipitaciones sufre inundaciones que ocasionan el colapso de tuberías de desagüe, ya que el

agua pluvial es evacuada por allí, causando el tope de la capacidad de la tubería, desbordándose a las vías, generando malos olores, focos infecciosos y deterioro de las vías. Razón por la cual es de menester la gestión de aguas lluvias en la ciudad de Arequipa, específicamente en Cerro Colorado donde se ubica la urbanización de Alto Libertad, compuesta por la zona de la vía Evitamiento, el cementerio Nueva Esperanza y la avenida Perú. (Lima & Quispe, 2018).

El objetivo de este proyecto elaborado por Lima y Quispe (2018) fue el de diseñar un sistema de drenaje urbano sostenible empleando la técnica de los drenes filtrantes a fin de captar el agua lluvia, almacenándola y dándole un mejor uso, en la zona ya mencionada. Para la selección de los SUDS se tuvo en cuenta criterios como el control regional y local, así como el de la calidad del agua de la infraestructura y la calidad. Al igual impacto en el entorno, factores físicos, usos del suelo, con el medio receptor, factores sociales y ambientales, y la capacidad de gestionar las aguas lluvias urbanas. (Lima & Quispe, 2018).

Para la selección de los SUDS de la zona de Alto Libertad, se analizó inicialmente la climatología del lugar y la geotecnia. Por tanto, para implementar los drenes filtrantes que se propusieron, se escogieron los pozos de retención, los cuales se ubicaron en zonas verdes a fin de tener una mejor gestión del agua y almacenarlas para su futura utilidad. Esta alternativa es favorable debido a que hace uso de poco espacio y el nivel freático del sitio lo permite. (Lima & Quispe, 2018). Es así, que se estudió el periodo de retorno de las precipitaciones en el lugar y el cálculo de las curvas IDF, teniendo como base los registros pluviométricos, dando los siguientes resultados:

Figura 64

Precipitación para diferentes periodos de retorno.

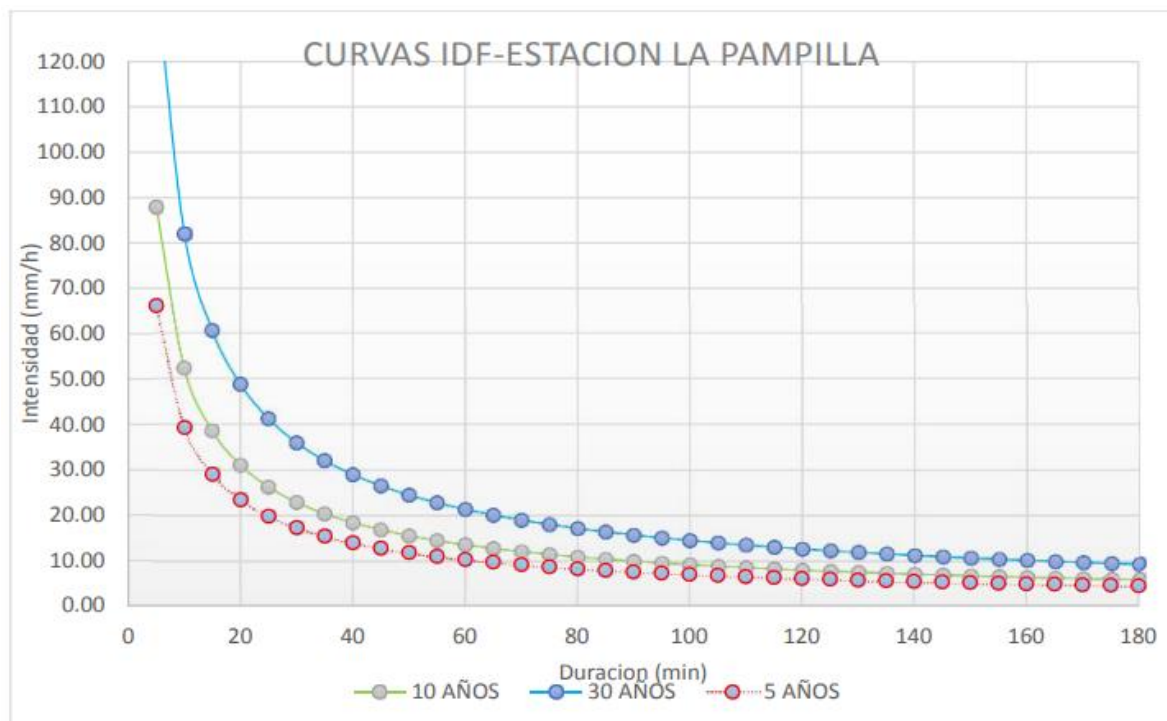
PERIODO RETORNO	PROBABILIDAD EXCEDENCIA	PROBABILIDAD NO EXCED.	w	z	Kt	PRECIPITACIÓN (mm)
500	0.002	0.998	3.526	2.879	2.879	125.57
200	0.005	0.995	3.255	2.576	2.576	97.83
100	0.010	0.990	3.035	2.327	2.327	79.63
50	0.020	0.980	2.797	2.054	2.054	63.61
30	0.033	0.967	2.608	1.834	1.834	53.09
25	0.040	0.960	2.537	1.751	1.751	49.58
10	0.100	0.900	2.146	1.282	1.282	33.74
5	0.200	0.800	1.794	0.841	0.841	23.56
2	0.500	0.500	1.177	0.000	0.000	11.96

Nota. La imagen muestra la tabla de la precipitación para diferentes periodos de retorno.

(Lima & Quispe, 2018).

Figura 65

Curvas IDF para el proyecto.

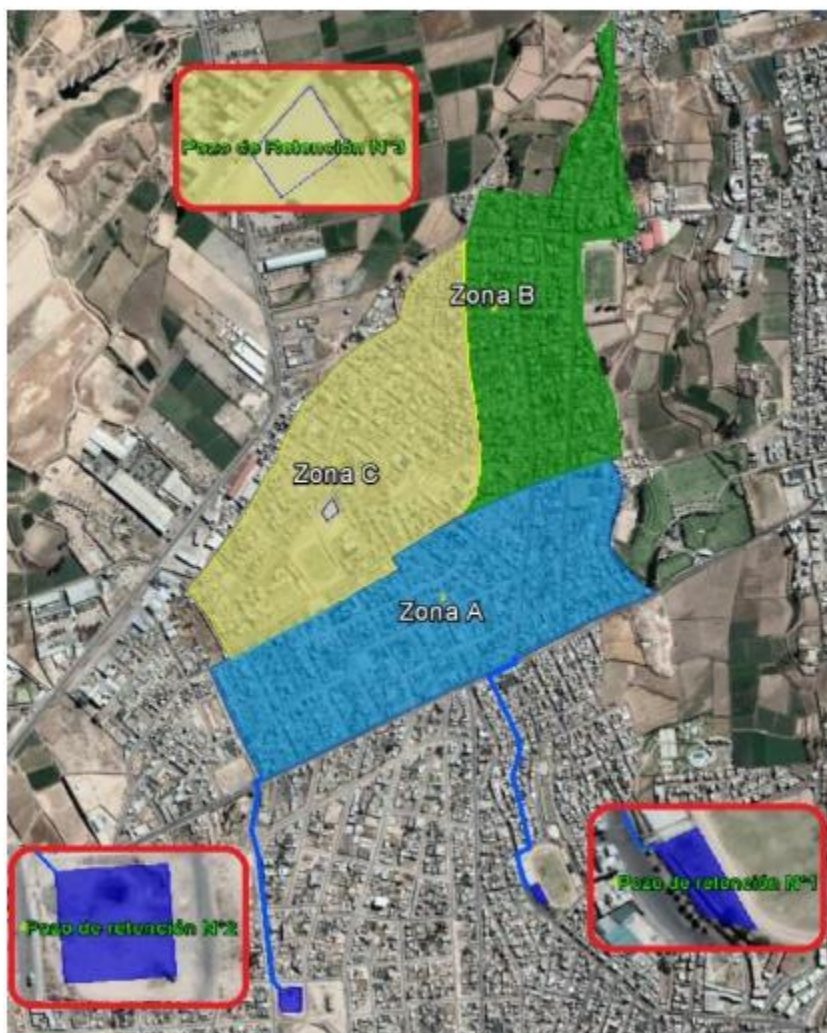


Nota. La imagen muestra las curvas IDF para el proyecto. (Lima & Quispe, 2018).

Se escogieron las lagunas de captación debido a su fácil construcción, que además necesitan menor cantidad de materiales y se puedan situar en parques o áreas con gran extensión, por tanto, a continuación, se muestra la ubicación de estas alternativas:

Figura 66

Ubicación de las pozas de retención contempladas en el proyecto.



Nota. La imagen muestra la ubicación de las pozas de retención del proyecto. (Lima & Quispe, 2018).

De manera que el SUDS que se plantea en la realización de este proyecto, fueron los drenes filtrantes, los cuales son zanjas poco profundas que se rellenan con piedra o grava para crear un almacenamiento subsuperficial temporal, usado para la atenuación, transporte y filtración del agua lluvia, igualmente estos drenes pueden ser impermeables, eso depende de la capacidad del suelo. Estos drenes deben ser de 1 a 2 metros de profundidad, para que la infiltración permita el máximo nivel freático. Asimismo, la permeabilidad del relleno granular y el índice de vacíos tiene que ser elevado para propiciar el control del riesgo de obstrucción y la percolación. Las tuberías son usadas como sistemas de distribución y deben ser asentados sobre los pertinentes espesores de camas de asiento. (Lima & Quispe, 2018).

Es necesario también tener en cuenta que los drenes tienen que dimensionarse para así transportar el caudal pertinente sin flujo a presión. Sin embargo, el uso de estos drenes se restringe por la pendiente, la cual no debe exceder el 15 % para que tenga un buen funcionamiento. Por lo que, al hacer el trazo de la red de colectores se trató de continuar la pendiente de la zona para reducir la profundidad de excavación, puesto que se instalaron por debajo de los drenes filtrantes, las cámaras de inspección se instalaron en las esquinas de las calles para la fácil conexión a los drenes del sistema colector. (Lima & Quispe, 2018).

Por otro lado, las pozas que proyectaron, tuvieron una profundidad de 3 metros y pendientes con inclinación de V1:H3. Igualmente, en el proyecto se estipula los tipos de mantenimiento que debe tener la red de drenaje, siendo, por un lado, un mantenimiento preventivo, donde en los drenes filtrantes se deben quitar los objetos o materiales extraños que estén dentro o el material granular, así como el retiro de los adoquines de concreto y comprobar la presencia de todos los registros roscados en las tuberías de inspección y que estas no estén parcialmente o llenas de agua. (Lima & Quispe, 2018).

El sistema colector debe tener un mantenimiento en los tramos críticos con frecuencia de 6 meses, así como una limpieza de las alcantarillas. Con los pozos de retención se hace una limpieza de extraños objetos, se remueve el material fino y se inspecciona que las tuberías no tengan rebose y que la conexión con los pozos no esté obstruida. Adicionalmente, el mantenimiento correctivo planteado por los autores, consiste en retirar el material granular de relleno de los drenes, buscando extraer el material fino, con el propósito de verificar la inexistencia de obstrucciones. (Lima & Quispe, 2018).

En el sistema colector y emisor, se propone el mantenimiento correctivo, el desatoro de tuberías, la rehabilitación o reemplazo de las mismas, así como el mantenimiento de fondo de buzones o cambio y reposición de tapa de buzones. En cuanto a los pozos de retención su mantenimiento correctivo tendría que ver con la reparación o rehabilitación de las descargas de los emisores en los pozos de retención y los puntos de rebose. Seguidamente, retirar el material depositado por el transporte de sedimentos y reparar los daños causados por la erosión del agua lluvia en las pendientes. (Lima & Quispe, 2018).

Por tanto, las conclusiones a las que llegó el proyecto, es que los resultados de los modelos con sumideros y el de drenes filtrantes dan resultados ventajosos para la ciudad, desde la perspectiva hidrológica, ya que ayuda a evitar inundaciones. En cuanto a la perspectiva hidráulica, los sistemas de drenes igualmente son eficientes, debido a que logran captar más agua que los sumideros. De la misma manera, el volumen del agua es menor en los drenes, además estos reducen la carga contaminante. (Lima & Quispe, 2018).

3.4. Caso de Ecuador

En Ecuador, también se han realizado proyectos para la implementación de SUDS, para problemáticas ambientales que sufren algunas zonas en relación con el ciclo hidrológico, estas problemáticas se han relacionado con el crecimiento urbano en el mundo. Razón por la cual, en la ciudad de Quito se han venido presentando problemas de inundaciones, ya que las áreas verdes se han reducido por la urbanización, impidiendo la infiltración y sobrecargando el sistema urbano de drenaje. Es así, que se realizó en la subcuenca Caicedo, un análisis hidráulico del sistema urbano de drenaje a fin de controlar las inundaciones con alternativas sostenibles, a cargo de Rojas (2017), las medidas estudiadas se relacionan con cuencas de biorretención y cubiertas verdes.

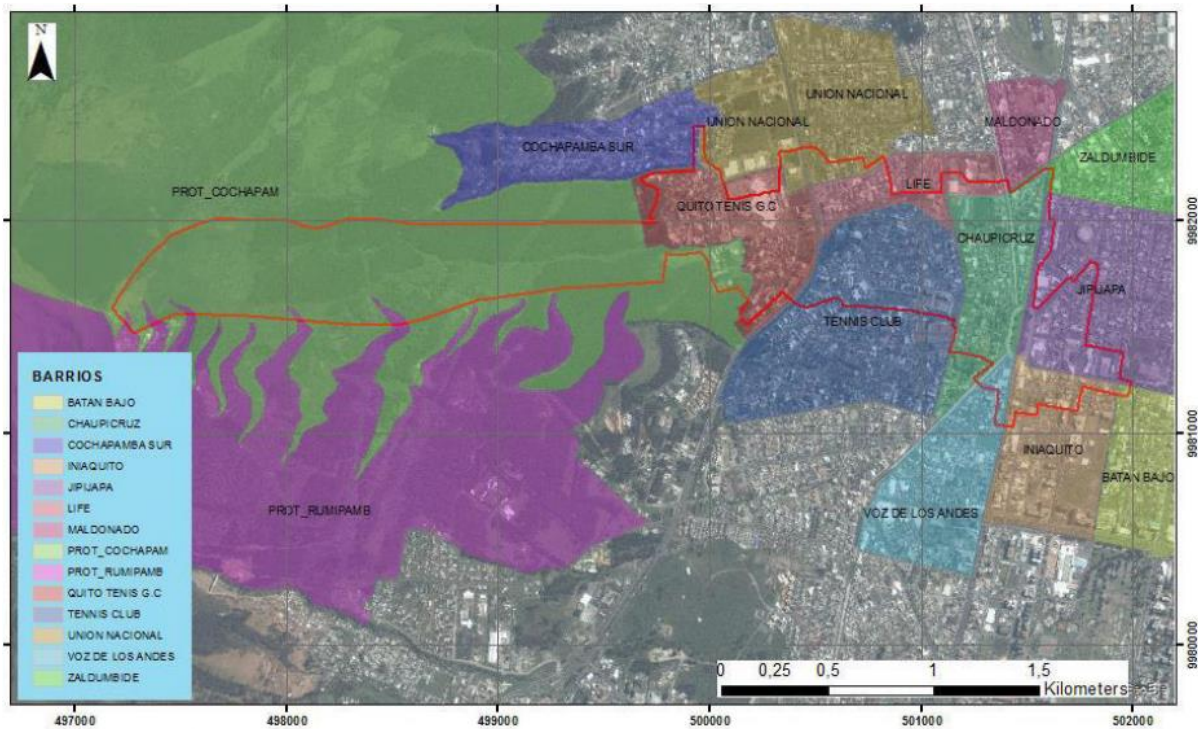
Adicionalmente, es importante mencionar que en Quito se presenta una topografía irregular y variable, dicha característica dificulta el transporte de las aguas lluvias por su canal natural de descarga, y en las zonas bajas el agua recolectada se acumula, además de que el sistema de drenaje urbano es combinado, ejecutando el transporte de agua residual y lluvia, por consiguiente se buscó analizar distintas metodologías de SUDS para ayudar a la problemática de las inundaciones, disminuyendo el agua que ingresa al sistema y reutilizando el agua pluvial. Por lo que el proyecto plantea la rehabilitación del sistema de alcantarillado a través de SUDS que tienen soluciones nuevas y agradables con el ambiente. (Rojas, 2017).

La zona de estudio de este proyecto, como ya se ha mencionado, se ubica en la subcuenca Caicedo, la cual cuenta con área aproximada de 248.559 ha, utilizada como zona habitacional y comercial, se compone de los barrios Quito Tennis G.C., Unión Nacional,

Tennis Club, Life, Jipijapa, Chaupicruz, Iñaquito y Voz de los Andes, ubicados de la siguiente forma:

Figura 67

Barrios que conforman la subcuenca Caicedo.



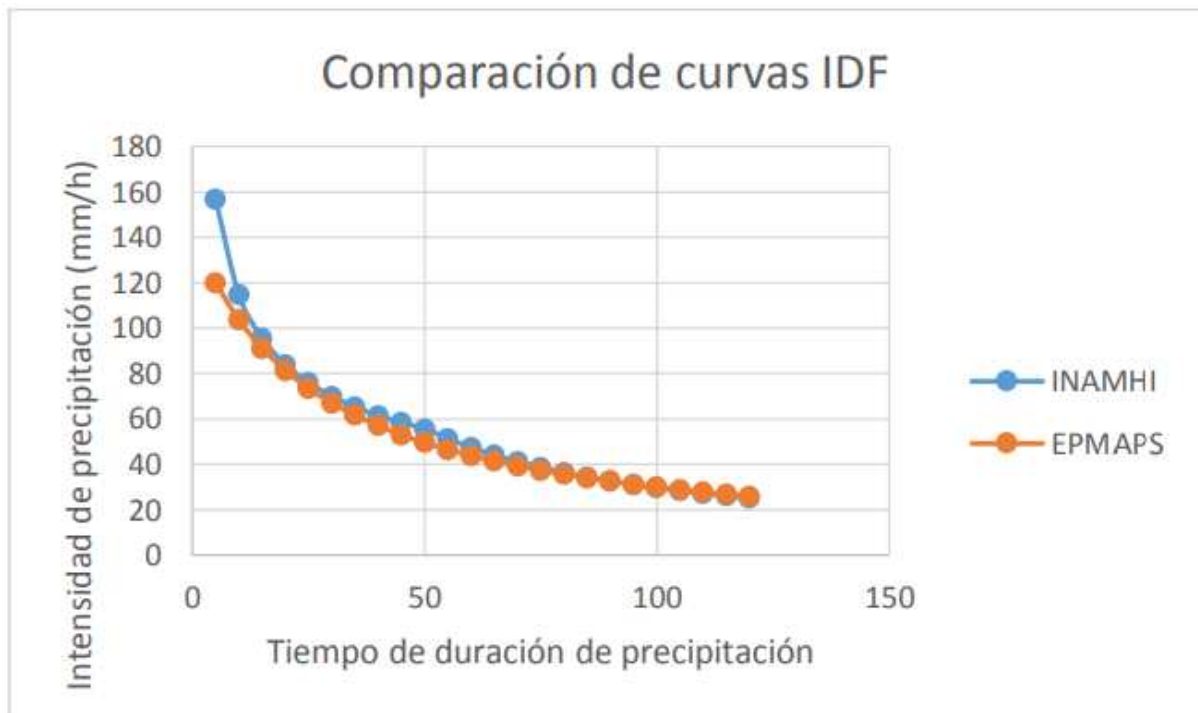
Nota. La imagen muestra los barrios que conforman la subcuenca Caicedo. (Rojas, 2017).

La investigación de Rojas (2017) fue de tipo predictiva-correlacional-observacional, la cual realiza simulaciones con soluciones a la problemática de inundaciones en Quito, con una metodología de síntesis, donde parte de lo simple hasta llegar a lo complejo del problema. Al hacer el estudio se corrigieron errores de topografía a través del catastro técnico, hubo errores como tuberías en contra pendiente, falta de cotas de terreno, pozos sin altura y error en alturas de ingreso y salida de tuberías. Asimismo, se procedió a ejecutar ensayos de campo para tener los valores de infiltración final e inicial, y el cálculo de las Curvas IDF. (Rojas, 2017).

Figura 68

Curvas IDF del INAMHI VS EPMAPS para el periodo de retorno de 25 años

Elaboración propia a partir de (Unidad de Diagnóstico Hidráulico y Catastro Técnico, 2016), (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI, 1999).

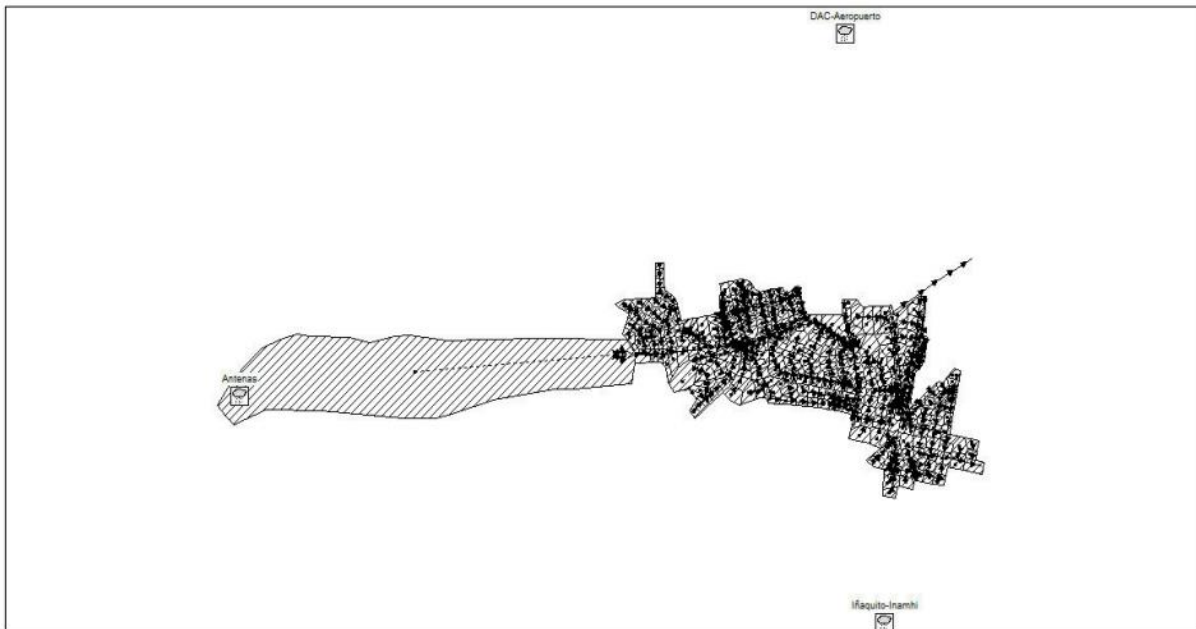


Nota. La imagen muestra las curvas IDF para un tiempo de recurrencia de 25 años. (Rojas, 2017).

Después de ingresar toda la información recolectada en los softwares especializados en hidráulica e hidrología como SWMM 5.1 y ArcGIS, se lleva a cabo la modelación para hacer las simulaciones del sistema y evaluar su funcionamiento, así como el estado para un tiempo de recurrencia de 2, 10, 25 y 50 años en un tiempo de media hora. Arrojando los siguientes gráficos:

Figura 69

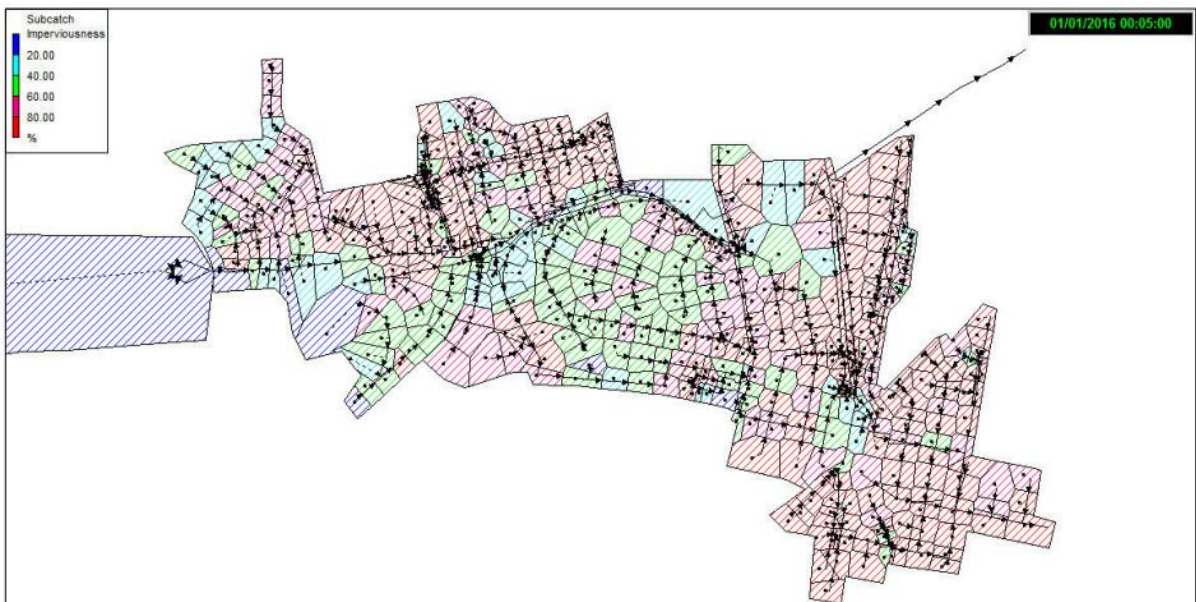
Sistema de drenaje urbano creado en SWMM 5.1.



Nota. La imagen muestra el sistema de drenaje urbano creado en SWMM 5.1. (Rojas, 2017).

Figura 70

Porcentaje de área impermeable en cada una de las subcuencas.



Nota. La imagen muestra el porcentaje de área impermeable en cada una de las subcuencas. (Rojas, 2017).

Después de la modelación, se llega al resultado de implementar la cubierta verde, donde la surface tiene una altura de 5 centímetros, cubierta de césped con buen mantenimiento y con un tipo de suelo Sandy Loam, que contiene arena, arcilla y limo a fin de facilitar la infiltración. También se implementa la cuenca de biorretención, donde la capa tiene una altura de 40 centímetros, donde se pueden plantar césped con altura de 8 centímetros, con un suelo tipo Sandy Loam. Otra alternativa que se implementó, fue el pavimento permeable, el cual, tuvo una capa, con una altura de 15 centímetros que corresponde a la altura del bordillo, no tendrá una capa vegetal, el tipo de suelo que se seleccionó fue el Sand el cual es arena. A continuación, se presenta las características de las alternativas:

Figura 71

Resumen de datos de ingreso para LID Control de Green Roof

CUBIERTA VERDE			
<p>Consideraciones para el proyecto: Situar el LID Control en áreas de terraza o azotea con un área mayor a 120 m²</p>			
CAPA	DESCRIPCIÓN	RECOMENDACIÓN	VALOR UTILIZADO
Surface	Berm Height	Revisar justificación	50 mm
	Vegetation volume fraction	0.00 a 0.20	0.20
	Surface Roughness	Figura 109	0.24
	Surface Slope	Revisar justificación	1.25%
Soil	Thickness	Revisar justificación	120 mm
	Porosity	Figura 112	0.453
	Field Capacity	Figura 112	0.190
	Wilting Point	Figura 112	0.085
	Conductivity	Figura 112	10.92 mm/h
	Conductivity Slope	Revisar justificación	7.5%
Drainage Mat	Suction Head	Figura 112	110 mm
	Thickness	25.4 a 50.8 mm	50 mm
	Void Fraction	0.5 a 0.6	0.5
	Roughness	0.1 a 0.4	0.15


Nota. La imagen muestra la tabla con el resumen de datos de ingreso para LID Control de Green Roof de la cubierta verde. (Rojas, 2017).

Figura 72

Resumen de datos de ingreso para LID Control de Green Roof

CUENCA DE BIORETENCIÓN

Consideraciones para el proyecto: Se situarán en parques para permitir el almacenamiento temporal de grandes volúmenes de escorrentía y su posterior infiltración en el suelo natural.



CAPA	DESCRIPCIÓN	RECOMENDACIÓN	VALOR UTILIZADO
Surface	Berm Height	Revisar justificación	400 mm
	Vegetation volume fraction	0.0 a 0.2	0.20
	Surface Roughness	Figura 109	0.24
	Surface Slope	Revisar justificación	1%
Soil	Thickness	Revisar justificación	500 mm
	Porosity	Figura 112	0.453
	Field Capacity	Figura 112	0.19
	Wilting Point	Figura 112	0.085
	Conductivity	Figura 112	10.92 mm/h
	Conductivity Slope	Revisar justificación	7.5%
	Suction Head	Figura 112	110 mm
Storage	Thickness	Revisar justificación	500 mm
	Void Ratio	0.5 a 0.75	0.50
	Seepage Rate	Horton	4.71 mm/h
	Clogging Factor	No se considera	0.00
Drain	No se considera		

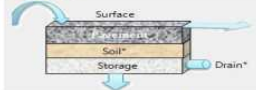
Nota. La imagen muestra la tabla con el resumen de datos de ingreso para LID Control de Green Roof de la cuenca de biorretención. (Rojas, 2017).

Figura 73

Resumen de datos de ingreso para LID Control de Green Roof

PAVIMENTO PERMEABLE

Consideraciones para el proyecto: Se situará en parqueaderos y según su necesidad en calles.



CAPA	DESCRIPCIÓN	RECOMENDACIÓN	VALOR UTILIZADO
Surface	Berm Height	Altura de bordillo	150 mm
	Vegetation volume fraction	0.0 a 0.2	0.00
	Surface Roughness	Figura 109	0.011
	Surface Slope	Revisar justificación	2%
Pavement	Thickness	Altura de adoquín	10 mm
	Void Ratio	Revisar justificación	0.4
	Impervious Surface	Revisar justificación	0.32
	Permeability	Revisar justificación	50 mm/h
Soil	Clogging factor	Para ignorar 0	0
	Thickness	Revisar justificación	150 mm
	Porosity	Figura 112	0.437
	Field Capacity	Figura 112	0.062
	Wilting Point	Figura 112	0.024
	Conductivity	Figura 112	120.4
	Conductivity Slope	Revisar justificación	5%
Suction Head	Figura 112	49	
Storage	Thickness	Revisar justificación	150 mm
	Void Ratio	0.5 a 0.75	0.6
	Seepage Rate	Horton	4.71
	Clogging factor	Para ignorar 0	0
Drain	No se considera		

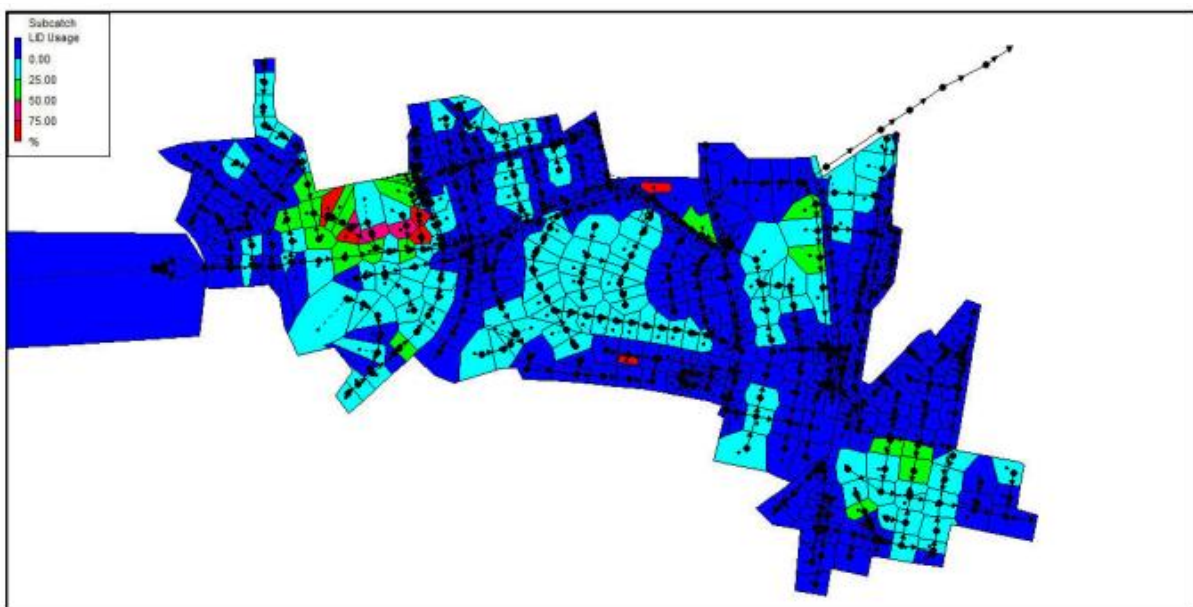
Nota. La imagen muestra la tabla con el resumen de datos de ingreso para LID Control de Green Roof del pavimento impermeable. (Rojas, 2017).

Rojas (2017) manifiesta que las cubiertas verdes y los pavimentos permeables actuarán de forma paralela y las cuencas de biorretención funcionarán en serie para así recoger gran cantidad de escorrentía.

Importante mencionar, que las cubiertas solo procesan el agua pluvial que cae sobre ellas, pues no se pueden conectar y encauzar de áreas impermeables que colinden. De esta forma, en el sistema de Quito, colocaron cuencas de biorretención, pavimentos permeables y terrazas verdes con un total de 152 subcuencas estudiadas de 504, como se muestra a continuación:

Figura 74

Subcuencas intervenidas con LID Controls



Nota. La imagen muestra las subcuencas estudiadas con LID Controls. (Azul: sin intervención) Elaboración propia a partir de (U.S. Environmental Protection Agency). (Rojas, 2017).

El resultado que se obtuvo de las modelaciones, muestra la utilidad de los sistemas de drenaje sostenibles a través de las distintas simulaciones hidráulicas-hidrológicas elaboradas en el software SWMM 5.1, donde se proyectaron escenarios al año 2040, por consiguiente, Rojas (2017) en su proyecto concluye, que las medidas de drenaje sostenible son más costosas al implementarlas, pero tiene mucha efectividad en controlar las inundaciones, al mismo tiempo que embellece la zona y regenera las zonas verdes que se han perdido por la urbanización.

3.5. Caso de Argentina

En Argentina también se han llevado a cabo los Sistemas de Drenaje Urbanos Sostenibles, por ello, se realizó un proyecto donde se analizó la respuesta hidrológica ante un SUDS en la ciudad de Santa Rosa, La Pampa, a cargo de Srur (2020) debido a que esta ciudad ha sufrido eventos de inundación que se relacionan con la creciente impermeabilización de la ciudad, damnificando a los ciudadanos. Esta ciudad es una capital provincial de Argentina, ubicada al este de la provincia de La Pampa en el área de transición, con un clima semiárido y sub húmedo seco.

Se divide en 62 barrios y está rodeada por campos de producción agropecuaria y dos cuencas, como la laguna el Bajo Giuliani y don Tomás. Esta zona se abastece del recurso hídrico de origen subterráneo del acuífero Toay-Santa Rosa-Anguila-Catrilo al igual que del río Colorado. (Srur, 2020). Por ello, se buscó evaluar si era factible implementar los SUDS partiendo de la cosecha, retención y uso del agua en Santa Rosa, a través de una simulación de un balance hídrico con el modelo hidrológico-hidráulico SWMM 5.1 en la cuenca del

barrio centro de la ciudad. Igualmente, el proyecto también recomienda alternativas como las cunetas y techos verdes, los depósitos de detención en superficie, entre otros.

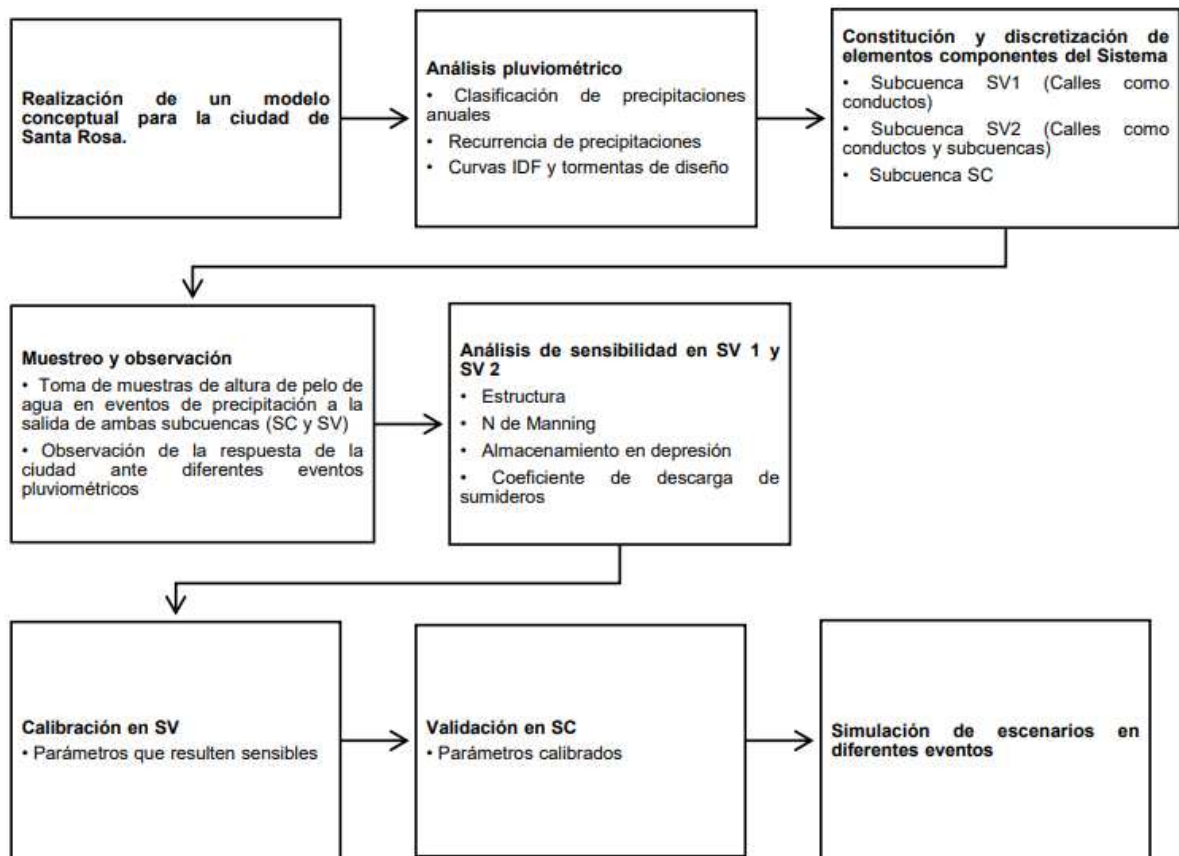
Santa Rosa igualmente, padece roturas y derrames a causa de la antigüedad de los caños y el incremento del volumen de agua debido al ascenso de las construcciones, por ello, el colapso estructural que sufre el sistema está afectando la salud y contaminando las fuentes hídricas. Además, la red es un sistema convencional donde los efluentes cloacales y pluviales son llevados por distintas cañerías.

Para el proyecto se tomaron dos áreas de interés en la zona a fin de hacer la modelación y evaluar la implementación de los SUDS a través de cosecha de agua en la ciudad. Inicialmente, se definió la subcuenca del barrio Villa Elvina (SV) la cual tiene una superficie de 18 ha siendo la cuenca más pequeña y, por otra parte, el barrio Centro (SC), con una superficie de 200 ha tiene un alto nivel de impermeabilización y densidad de edificaciones. (Srur, 2020).

Al realizar la modelación hidrológica-hidráulica en SWMM 5.1 primero se analizaron las funciones de salida y entrada del sistema urbano a fin de entender el comportamiento de la ciudad y seguidamente proceder con la modelación la cual se llevó a cabo a través de la siguiente estrategia:

Figura 75

Estrategia para la modelación de dos subcuencas urbanas en SWMM 5.1.



Nota. La imagen muestra un esquema donde se refleja la estrategia que se utilizó para la modelación de dos subcuencas urbanas en SWMM 5.1 en la ciudad. (Srur, 2020).

Se recogieron datos pluviométricos diarios de 3 fuentes en los años de 1951 y 2018, ordenado de mayor a menor. Se realizó de igual manera las curvas IDF con base en la duración y periodos de retorno, luego se hicieron tormentas de diseño a partir de las curvas IDF.

Figura 76

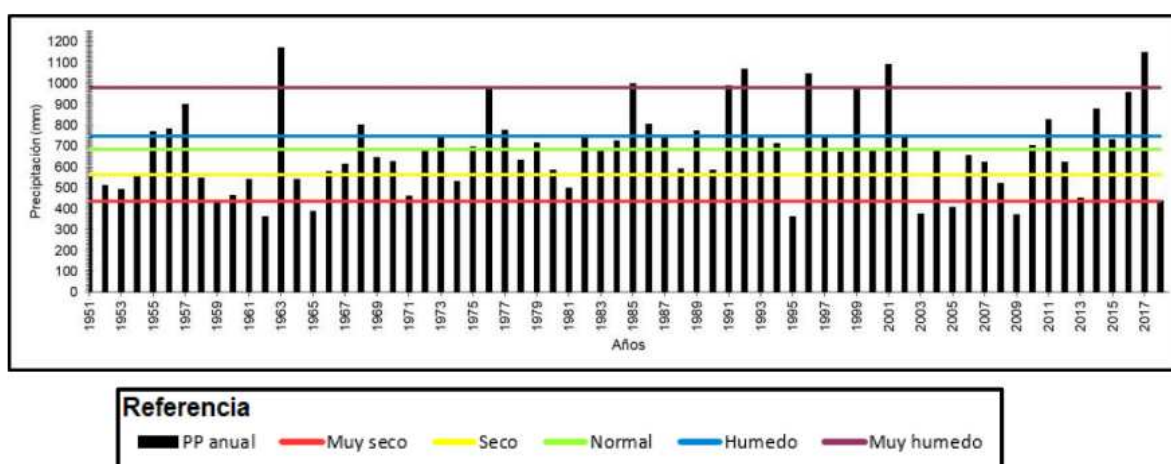
Clasificación pluviométrica de serie 1951-2018 para Santa Rosa, La Pampa.

MUY SECO	SECO	NORMAL	HÚMEDO	MUY HÚMEDO
1959	1951	1966	1972	1957
1962	1952	1967	1973	1963
1965	1953	1969	1975	1976
1995	1954	1970	1979	1985
2003	1958	1978	1984	1986
2005	1960	1980	1987	1991
2009	1961	1983	1994	1992
	1964	1988	1997	1996
	1971	1990	2000	1999
	1974	1998	2002	2001
	1981	2006	2004	2014
	2008	2007	2010	2016
	2013	2012	2015	2017
	2018			

Nota. La imagen muestra la clasificación pluviométrica de serie de 1951 - 2018 de Santa Rosa. (Srur, 2020).

Figura 77

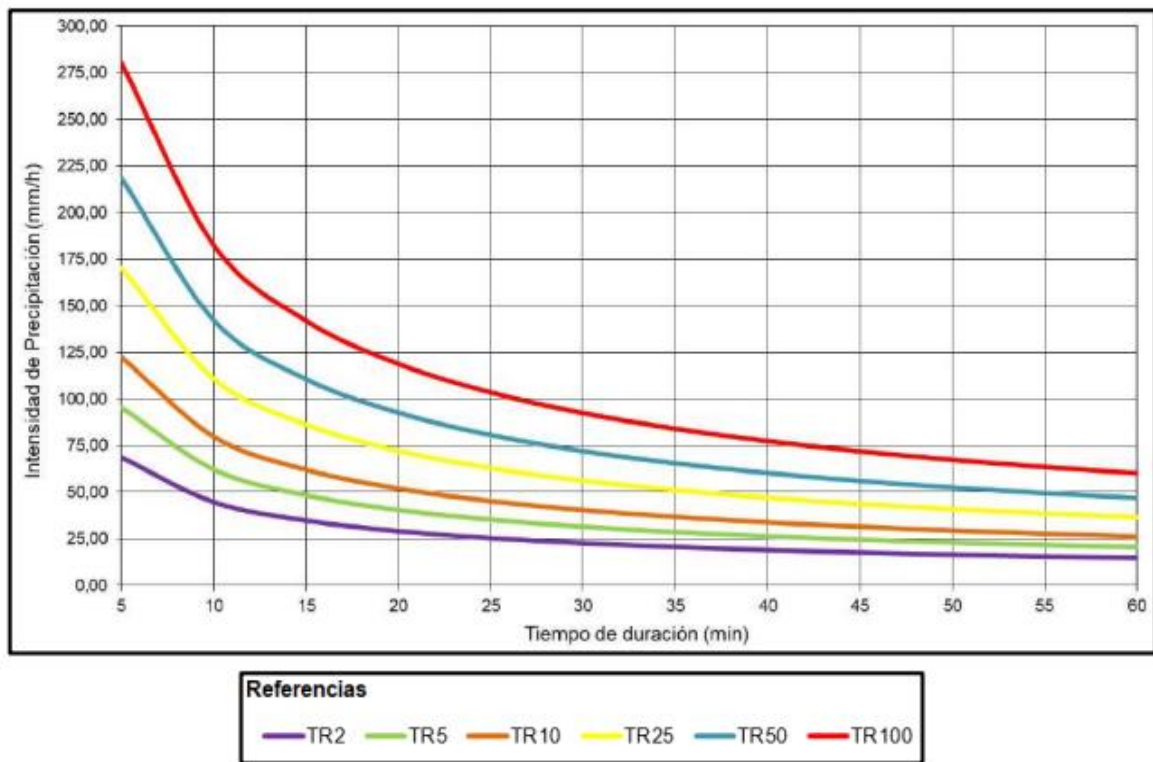
Precipitaciones anuales de Santa Rosa, La Pampa para la serie 1951-2018 y rangos de clasificación pluviométrica obtenida a partir de quintiles



Nota. La imagen muestra las precipitaciones anuales de Santa Rosa para la serie de 1951 - 2018 y los rangos de clasificación pluviométrica obtenida a partir de quintiles. (Srur, 2020).

Figura 78

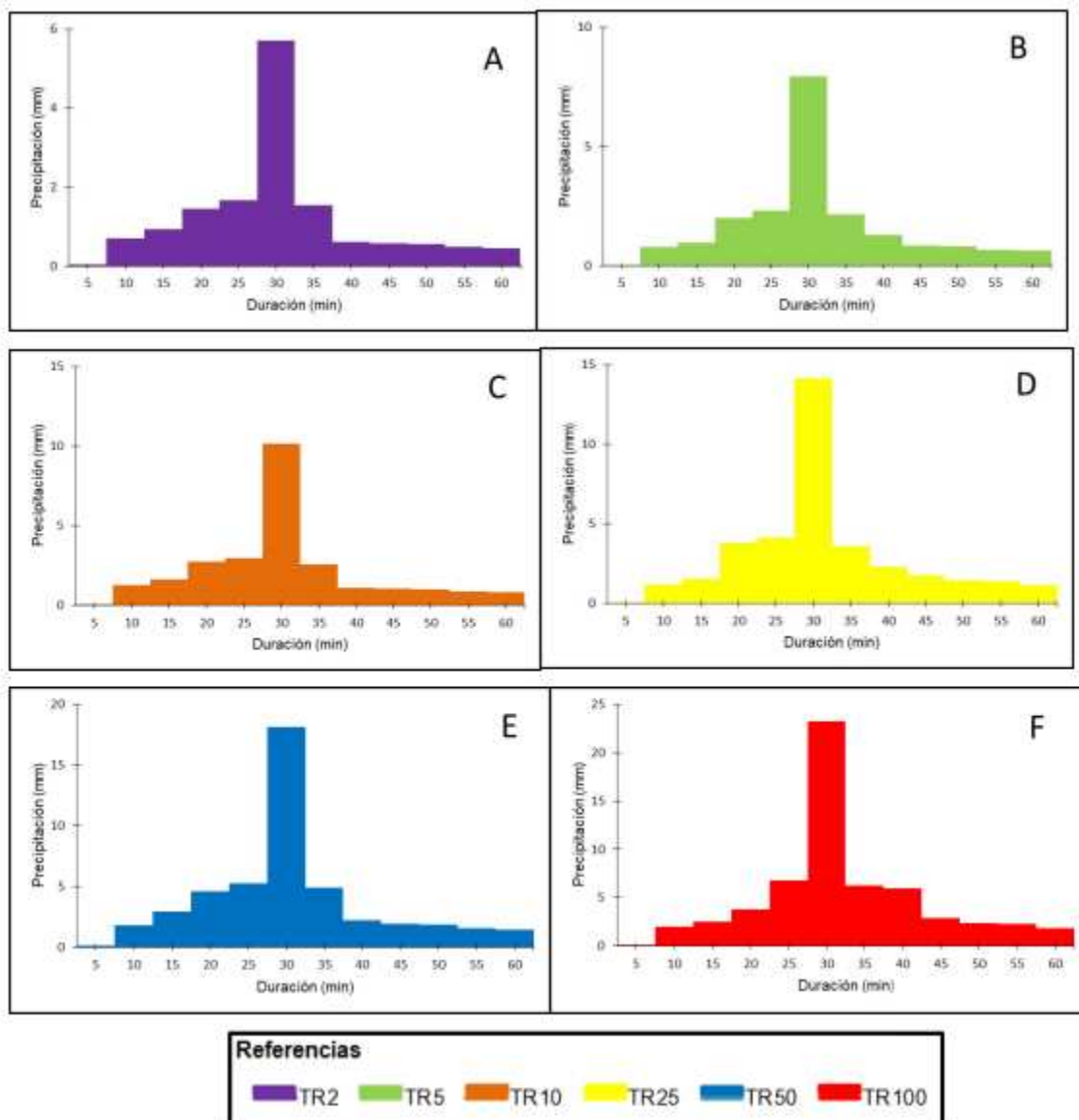
Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (I.D.F.) para la ciudad de Santa Rosa, La Pampa.



Nota. La imagen muestra las curvas IDF para la ciudad de Santa Rosa. El color morado representa las duraciones e intensidades para las lluvias en periodos de retorno de dos años, el verde para cinco años, el naranja para diez años, el amarillo para veinticinco años, el azul para cincuenta años y el rojo para cien años. (Srur, 2020).

Figura 79

Tormentas de Diseño para tiempos de recurrencia de 2 (A), 5 (B), 10 (C), 25 (D), 50 (E) y 100 (F) años para la ciudad de Santa Rosa, La Pampa.

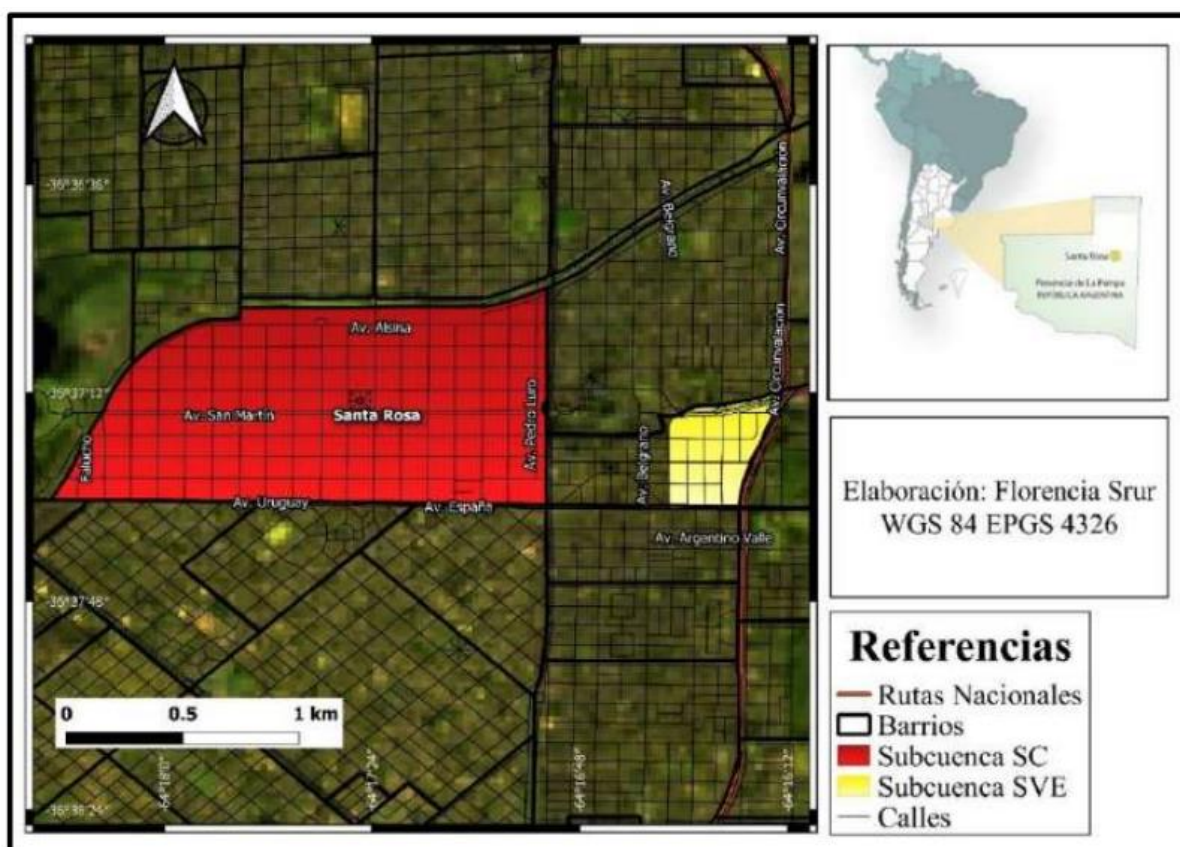


Nota. La imagen muestra las tormentas de diseño del proyecto. El color morado representa la duración e intensidad para las lluvias de periodos de retorno de dos años, el verde para cinco años, el naranja para diez años, el amarillo para veinticinco años, el azul para cincuenta años y el rojo para cien años. (Srur, 2020).

Seguidamente, se hace la discretización y constitución de elementos que componen del sistema, donde se tomaron tres subcuencas, la del centro (SC) y la Villa Elvina 1 y 2 (SV1 y SV2). (Srur, 2020).

Figura 80

Localización de subcuencas Centro (SC delimitado en color rojo) y Villa Elvina (SV delimitado en color amarillo) en la ciudad de Santa Rosa, La Pampa.



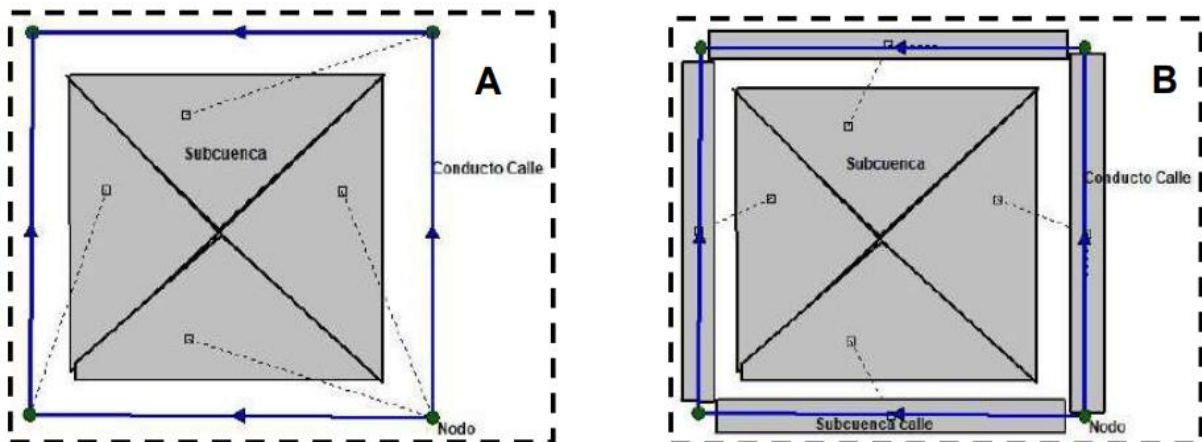
Nota. La imagen muestra la localización de las subcuencas que abordó el proyecto. (Srur, 2020).

En la constitución que se hizo del sistema, se estableció la subcuenca SV1 con calles como conductos (A) y SV2 con calles como conductos y subcuencas (B) a fin de evaluar la

sensibilidad del modelo en función de la estructura. Por otro lado, SC se formó partiendo de la estructura, a continuación, se muestra el siguiente esquema de la modelación:

Figura 81

Esquema del modelo SWMM 5.1 en manzanas. A) Calles como conductos. B) Calles como subcuencas y conductos.

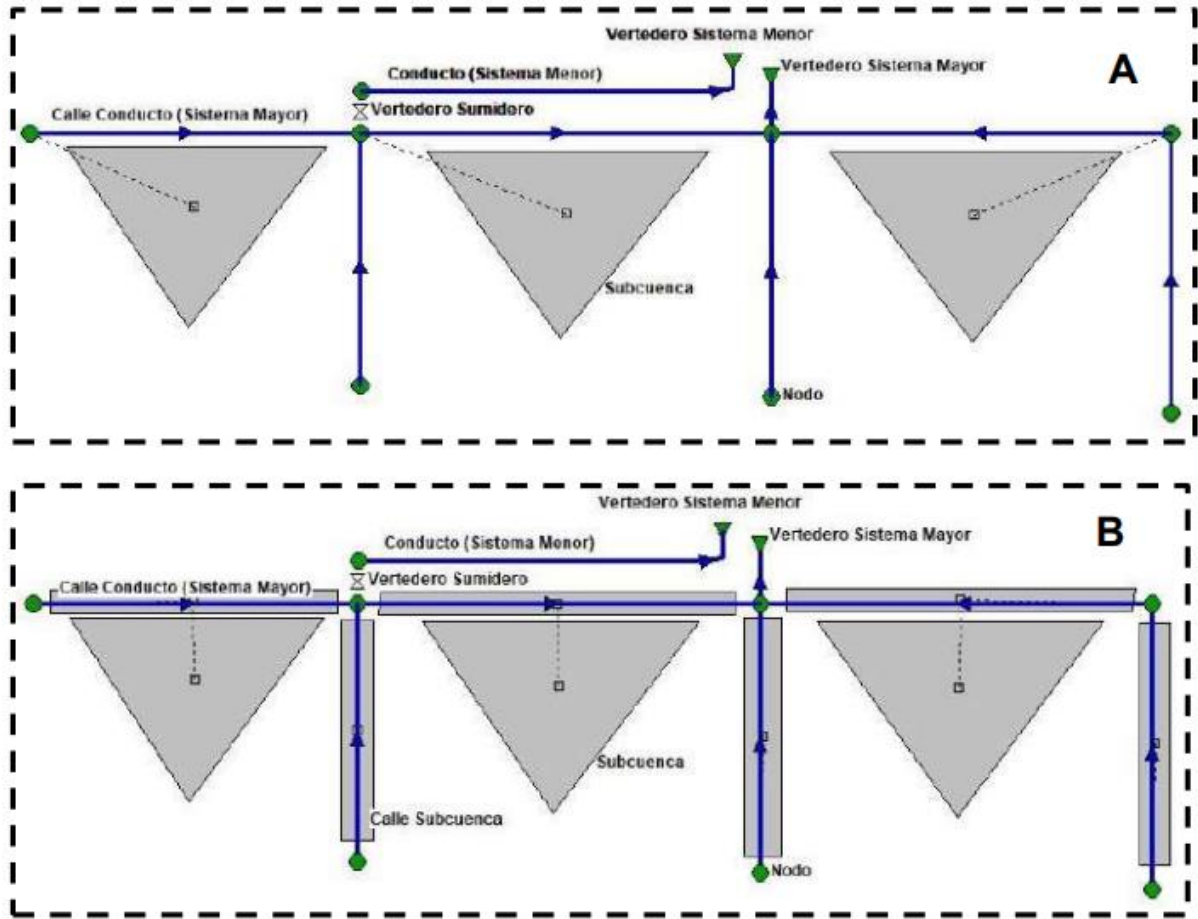


Nota. La imagen muestra el esquema de la modelación de las subcuencas con los parámetros planteados. (Srur, 2020).

Según la modelación que realiza Srur (2020) el flujo último de las cuencas urbanas se establece a través de vertederos para el caso de las calles como conducto (A) donde el aporte de esta subcuenca va hacia los nodos y se transporta por conductos. Para el caso de las calles formadas como conductos y subcuencas (B) estas últimas aportan a las subcuencas de las calles, conduciendo el flujo a los nodos, y se transporta por los conductos, utilizando objetos que hacen posible la estructura como se muestra a continuación:

Figura 82

Esquema del modelo SWMM 5.1 en las salidas del Sistema. Se representan calles como conductos (A) y calles como subcuencas y conductos (B).



Nota. La imagen muestra el esquema de la modelación representando las calles como conductos (A) y calles como subcuencas y conductos (B). (Srur, 2020).

Figura 83

Cantidad de objetos de la estructura del modelo utilizado para cada subcuenca estudiada.

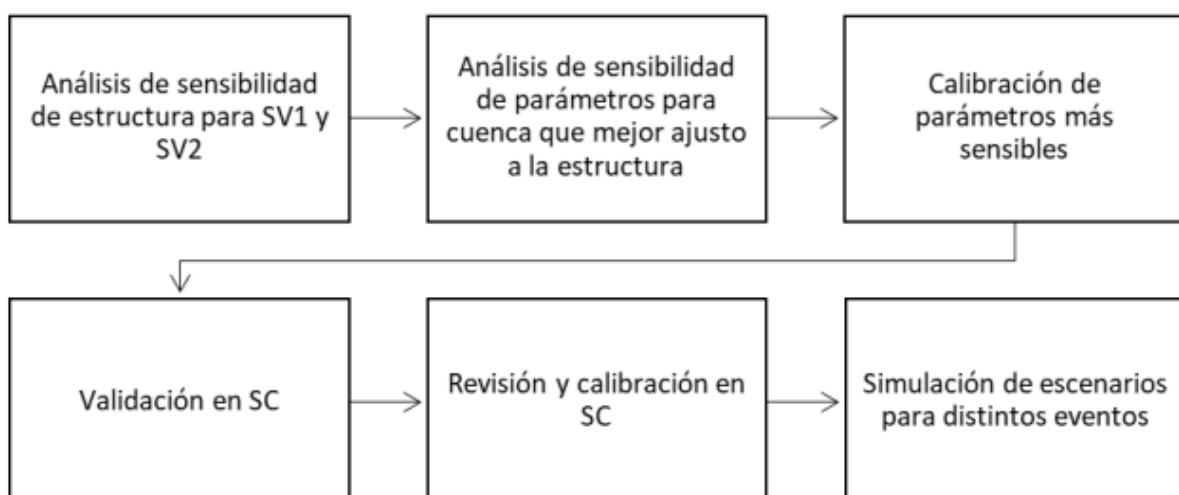
OBJETOS DEL MODELO					
	Subcuenca	Conducto	Nodo	Vertedero (Outfall)	Sumidero (Weir)
SUBCUENCA	CANTIDAD				
SV1	66	54	38	2	10
SV2	108	54	38	2	10
SC	858	361	221	3	57

Nota. La imagen muestra la tabla de las cantidades de objetos que necesita la estructura para llevar a cabo la modelación en la zona. (Srur, 2020).

Se hizo también el análisis de validación, sensibilidad y calibración del modelo, por medio de un esquema, donde se detalla el procedimiento, mostrado a continuación:

Figura 84

Esquema de procedimiento para análisis de sensibilidad, calibración y modelación en SWMM de las áreas de estudio.



Nota. La imagen muestra el esquema del procedimiento que se llevó a cabo. (Srur, 2020).

En la modelación realizada se plantearon diversos escenarios para la Subcuenca del Centro, los cuales se mostrarán en las siguientes imágenes:

Figura 85

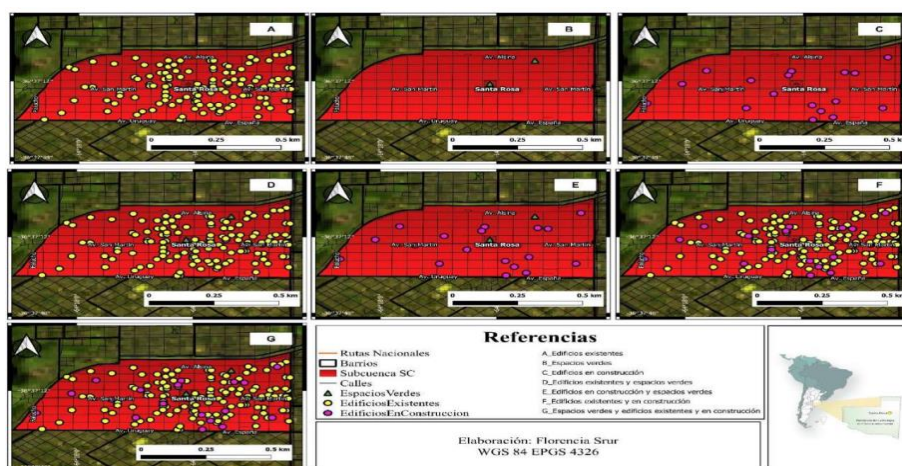
Escenarios planteados para la modelación hidrológica con código de color y número.

Escenario	Número y colorimetría	Figura
Sin SDUS (Situación actual del sistema)	1 – Naranja	
Con cisternas en edificios existentes	2 – Amarillo	Figura 23 A
Con cisternas en espacios verdes	3 – Verde	Figura 23 B
Con cisternas en edificios futuros en construcción	4 – Azul	Figura 23 C
Con cisternas en edificios existentes y espacios verdes	5 – Rosa	Figura 23 D
Con cisternas en edificios futuros en construcción y espacios verdes	6 – Violeta	Figura 23 E
Con cisternas en edificios existentes y futuros en construcción	7 – Gris	Figura 23 F
Con cisternas en edificios existentes, futuros en construcción y espacios verdes	8 – Rojo	Figura 23 G

Nota. La imagen muestra la tabla con los escenarios planteados en la modelación. (Srur, 2020).

Figura 86

Mapa de escenarios con (A) edificios existentes, (B) espacios verdes y (C) en construcción localizados en el área de interés, Santa Rosa, La Pampa. (D), (E), (F) y (G) representan la combinación de los anteriores

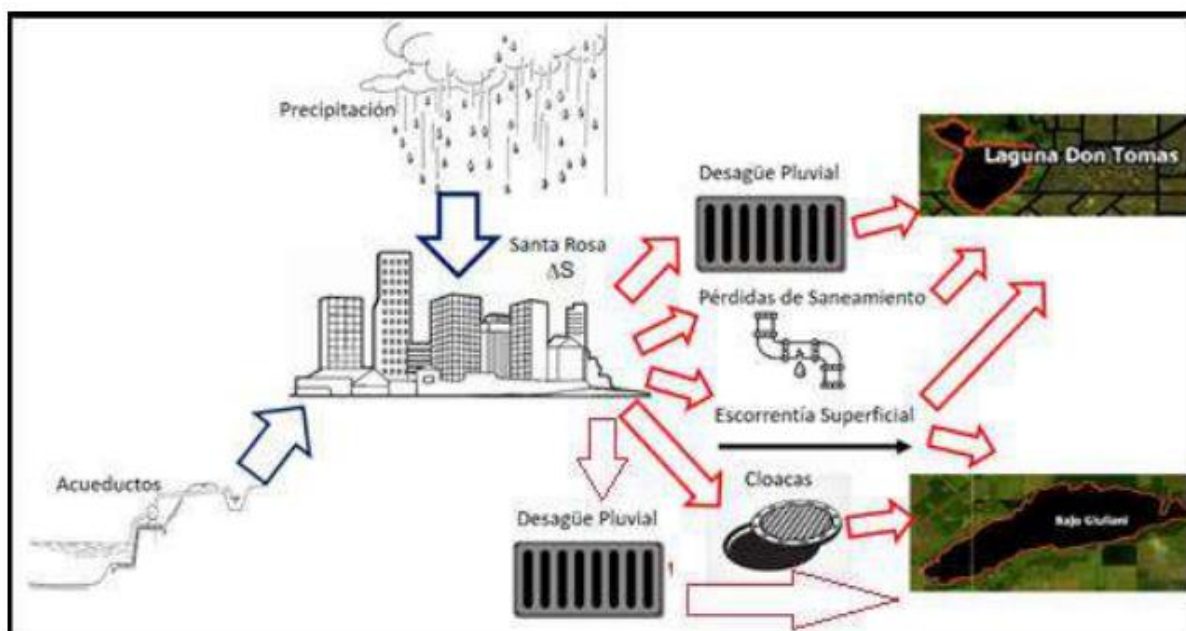


Nota. La imagen muestra los distintos escenarios que se plantearon con base en la tabla anterior, ajustando los SUDS. (Srur, 2020).

En consecuencia, en la modelación se abarcaron escenarios que contenían seis eventos distintos correspondientes a las tormentas de diseño y tiempos de recurrencia planteados con duración de 60 minutos. El modelo conceptual del balance hidrológico para la ciudad con base en el proyecto realizado, presentó como entradas al sistema las precipitaciones y caudales que vienen de los acueductos del acuífero Anguil y el río Colorado, y de salida se plantean la laguna don Tomás y el Bajo Giuliani para los efluentes cloacales.

Figura 87

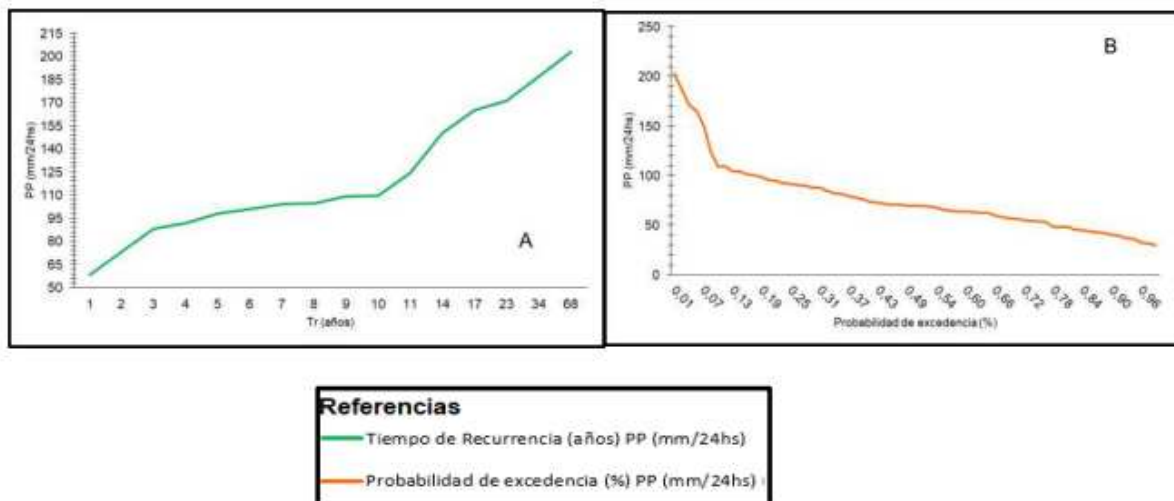
Modelo conceptual de balance hídrico para la ciudad de Santa Rosa, La Pampa.



Nota. La imagen muestra las curvas IDF para un tiempo de recurrencia de 25 años. (Srur, 2020).

Figura 88

Curvas de período de retorno (A) y de probabilidad de excedencia porcentual (B) de precipitaciones diarias para la serie 1951-2018 para Santa Rosa, La Pampa.



Nota. La imagen muestra las curvas de período de retorno (A) y de probabilidad de excedencia porcentual (B) de precipitaciones diarias para la serie 1951-2018 para Santa Rosa, La Pampa. (Srur, 2020).

Srur (2020) realiza simulaciones con y sin la implementación de los SUDS, con el análisis de los escenarios y las cisternas diseñadas, por lo que los resultados mostraron que al implementar los SUDS a través de cosecha de agua y con lluvias con períodos de retorno pequeños, hay una modificación del caudal de salida de la cuenca, cuando las precipitaciones son más elevadas el efecto se amortigua, la siguiente imagen muestra el balance hídrico que brinda el proyecto:

Figura 89

Balance hídrico para la subcuenca SC.

Evento	Escenario	Volumen Precipitado en cuenca SC (m³)	Sumatoria de volumen de salida en cuenca SC (m³)	Variación de almacenamiento ΔS (m³)
TR=2 años	SIN SDUS	26923,55 (100%)	17427 (64,73%)	9496,55 (35,27%)
	SDUS en espacios verdes y edificios en construcción		16850 (62,58%)	10073,56 (37,42%)
	SDUS en espacios verdes, edificios existentes y en construcción		15621 (58,02%)	11302,56 (41,98%)
TR= 5 años	SIN SDUS	37437,43 (100 %)	24854 (66,39%)	12583,43 (33,61%)
	SDUS en espacios verdes y edificios en construcción		24600 (65,71%)	12837,43 (34,29%)
	SDUS en espacios verdes, edificios existentes y en construcción		23275 (62,17%)	14162,43 (37,83%)

Nota. La imagen muestra el balance hídrico para la subcuenca SC considerando eventos de lluvia con períodos de retorno de 2 y 5 años para los escenarios planteados como SIN Sistemas de Drenaje Urbanos Sostenibles, Sistemas de Drenaje Urbanos Sostenibles en espacios verdes y edificios en construcción y Sistemas de Drenaje Urbanos Sostenibles en espacios verdes, edificios en construcción y existentes. (Srur, 2020).

Por tanto, el proyecto de Srur (2020) concluye que al utilizar los sistemas de drenaje urbanos sostenibles en la ciudad Santa Rosa con cosecha de agua, se reduce el caudal de salida de la cuenca. Asimismo, los escenarios planteados con mayor cantidad de cisternas en edificios tienen un mayor impacto en el amortiguar los caudales. Además, hay lugares en la

ciudad donde se puede dar un almacenamiento del agua debido a sus áreas impermeables, esa agua almacenada es útil para el mantenimiento de espacios verdes y la limpieza.

De manera que con la ejecución de cisternas el volumen de salida de la cuenca desciende hasta un 7 % en períodos de retorno de dos años y un 4 % en períodos de cinco años, la disminución de los caudales es mayor con mayor cantidad de almacenamiento de agua. Mencionando igualmente, que la modelación hidrológica en el software empleado fue muy útil y es efectivo para evaluar la implementación de los SUDS, siendo las cisternas para retención y el almacenamiento de agua una gran ayuda para la sostenibilidad, que tienen mejor éxito si se complementan con otras alternativas de SUDS.

Capítulo 4. Especificaciones técnicas de construcción de los sistemas de drenajes sostenibles en Colombia.

Las especificaciones técnicas de construcción son la guía de ruta del proceso constructivo de cualquier obra civil, pues, por medio de estas se logra identificar los materiales, herramientas, equipos, personal necesario y el procedimiento a seguir para ejecutar las obras de infraestructura, siendo este documento de obligatorio cumplimiento para los constructores e interventores con el fin de asegurar la calidad de la infraestructura, por ende, se realizará un compilado de las especificaciones técnicas de los sistemas urbanos de drenaje que mayormente se construyen en la zona andina de Colombia.

4.1 Alcorques Inundables.

Es un sistema de biorretención, en que la forma de drenaje está dada por una estructura en forma de caja que contiene suelo para plantación, sustrato, plantas herbáceas y un mantillo. Siendo uno de los componentes mayor utilizados en las ciudades debido a que se adapta a urbe, ayudando a disminuir la escorrentía y propiciando la vegetación, especialmente de árboles. (CHIA, 2017)

4.1.1 Materiales y procedimientos constructivos utilizados en los Alcorques Inundables.

A continuación, se denotan las características que deben tener cada uno de los insumos y procesos constructivos a utilizar en la construcción de este tipo de sistemas.

4.1.1.1 Contenedor. El contenedor debe ser de un material resistente que soporte el peso del suelo y del sustrato que va a almacenar por lo general se recomienda que este se

encuentre realizado en concreto y piedra, en lugares aislados de urbanizaciones este puede ser de Acero inoxidable o Fibra de Vidrio. (CIIA, 2017)

4.1.1.2 Sustrato y capa filtrante. Este tipo de sistemas requiere una capa filtrante de roca de 10 cm, una capa de drenaje de 38 cm de profundidad, posteriormente se recomienda una composición del suelo con una profundidad de 1,2 m-1,5 m, que posea la siguiente composición que se muestra en la Figura 89.

Figura 90

Composición recomendada para el suelo

Componente	Contenido porcentual (%)
Arena	60-70 %
Compost	15-25 %
Tierra vegetal	10-20 %
Contenido orgánico	8-12 %
pH	5.5 a 7.5 %

Nota. Composición del suelo fertilizante o sustrato a implementar en un Alcorque Inundable (State of Delaware, 2014)

El éxito de este sistema de drenaje recae en el tipo de sustrato que se vaya a implementar, por ende, este debe tener la capacidad de absorber la escorrentía, permitiendo nutrir las raíces de la capa de vegetación, para ello, en el proceso constructivo se debe percatar de que este tenga una compactación mínima con el fin de que se cree un ambiente poroso y permeable. Cabe aclarar que, en cercanías a vías o estructuras de cimentación de cualquier estructura, tiene que construirse una barrera impermeable que no perjudique la estabilidad de estas obras debido a la infiltración de la escorrentía. (CIIA, 2017)

4.1.1.3 Sistema de Drenaje. Para la tubería utilizada como en el drenaje se debe emplear aquella que esté hecha en dé (PVC o HDPE), ubicándose en una superficie de 8 cm y alrededor de la tubería y encima de ella una capa de 6", por lo general esta debe ir conectada al alcantarillado pluvial de la ciudad, como parámetro técnico se estipula que debajo de la capa de drenaje se instale una geo membrana con geotextil de 762 um, resistente a la perforación y tracción con el fin de evitar asentamientos diferenciales en estructuras aledañas (vías e infraestructura). (CHIA, 2017)

4.2 Cunetas Verdes.

Este sistema se caracteriza por su gran adaptabilidad a los espacios, aunque su ubicación es uno de los principales aspectos a tener en cuenta, ya que no se debe construir en cercanías a zonas industriales, áreas residenciales y otras en las que se den derrames de aceites u otros materiales bituminosos, de igual modo, en cercanías a vías se deben tener presente, disipadores de energía a la entrada de este tipo de sistemas. (CHIA, 2017)

4.2.1 Materiales y procedimientos constructivos utilizados en cunetas verdes.

Se debe tener en cuenta los siguientes insumos y procesos constructivos para la construcción de este tipo de sistemas.

4.2.1.1 Capa Superficial. Este componente es de vital importancia para funcionamiento de este sistema, ya que, evita la erosión del terreno, por tanto, se debe contar con especies vegetales nativas que contengan perennes de floración y herbáceas anuales. Cabe destacar que en zonas de altas pendientes se recomienda utilizar geotextiles o

recubrimientos especiales. No se debe utilizar materiales que desprendan químicos que pudiesen afectar la vegetación de esta capa. (CIIA, 2017)

La vegetación a instalar debe ser robusta con el fin de soportar la contaminación de las aguas escurrientías, se recomienda que presente enraizados densos que mitiguen la erosión del terreno, de igual manera, se pueden complementar con especies florales o pasto salvaje con el fin de brindar una armonía paisajística, aunque lo más recomendable es utilizar especies nativas de la región que cumpla algunas de las características ya mencionadas permitiendo una adecuada obtención de estas. (CIIA, 2017)

4.2.1.2 Zona de Infiltración. Esta se asemeja a un filtro de arena que posee una dimensión de 900 mm de espesor, en la parte de encima debe estar presente una capa de suelo en la que se siembre la vegetación, la dosificación de este tipo de suelo está dada por 2.3-3.8 m³ de suelo modificado en cada 90 m². Dicha capa de arena debe estar compuesta de un 50 % de arena, un 20 % de mantillo de madera dura y un 30 % de suelo de siembra. (CIIA, 2017)

4.2.1.3 Zona de drenaje. Esta se ubica en la parte inferior de la cuneta, se trata de una camada de grava de 20 cm, el cual retiene momentáneamente el volumen de agua escurrientía para luego ingresarla por la tubería perforada, es por esto que debe instalarse únicamente tuberías de PVC o HDPE, esta debe estar reposada por una capa de 8 cm de drenaje preferiblemente triturado y una franja de triturado de espesor de quince centímetros encima de tubería. (CIIA, 2017)

Debajo de la estructura de drenaje se debe instalar una geo membrana que logre impermeabilizar el terreno. Por lo general se utiliza un geotextil de 762 um, resistente a la perforación y a la tracción, la tubería a implementar debe poseer ranuras de 0.8 mm brindando una resistencia a la obstrucción por sólidos mayor resistencia. (CIHA, 2017)

4.3 Pavimentos Permeables.

La mayor parte de estos pavimentos poseen la misma estructura una capa superficial, capa de nivelación, sub-base o reservorio y capa filtrante capa drenaje. Donde se hace una diferencia principalmente en la capa superficial, puesto que, puede ser en mezcla asfáltica y concreto hidráulico. Cabe destacar que este tipo de pavimentos se utilizan principalmente para vías secundarias o terciarias y los adoquines mayormente en zonas con bajos niveles de tráfico o vías terciarias. (CIHA, 2017)

4.3.1 Materiales y procedimientos constructivos utilizados en Pavimentos Permeables.

Para su construcción se deben considerar los siguientes materiales de construcción y procedimientos constructivos.

4.3.1.1 Superficie del Pavimento. Se caracterizan dos tipos de capas de rodadura entre ellas se encuentra:

4.3.1.1.1 Concreto hidráulico Permeable. Este tipo de estructura de capa de rodamiento se caracteriza por no emplear agregado fino sino una mezcla de agregado, cemento Portland todo reglamentado en la (ASTM C 150), agua y cenizas volantes. Esto se

hace con el fin de que en la mezcla se creen vacíos por los cuales se pueda dar el proceso de infiltración del agua escorrentía, dentro del diseño de mezcla se diseña con una relación de vacíos entre el 15 %-25 %, lo cual disminuye la resistencia a la compresión.

Dentro de los parámetros técnicos se debe tener en cuenta la Granulometría ASTM C33 N.º.8 y los Límites de Abrasión permitidos están dados bajo la norma ASTM C33, además, dentro de los factores de diseño se debe establecer una relación de agua/cemento entre 0.27-0.34 la cual da un aproximado a la resistencia a 20,68 Mpa con el fin de que esta aumente se debe agregar la mezcla fibras de polímero entre 5 cm y 2 cm. En la Figura 90 se observa la granulometría para este tipo de concretos. (CIIA, 2017)

Figura 91

Granulometría concreto hidráulico poroso ACPM C 33

#Tamiz	Tamaño Nominal	% Pasa							
		25.0mm (1pulg)	19.0mm (3/4pulg)	12.5mm (1/2pulg)	9.5mm (3/8pulg)	4.75mm (No 4)	2.36mm (No 8)	1.18mm (No 16)	300µm (No 50)
67	19.0 a 4.75 mm (3/4" a No 4)	100	90-100		20-55	0-10	0-5		
8	9.5 a 2.36 mm (3/8" a No 8)			100	85-100	10-30	0-10	0-5	
89	9.5 a 1.18mm (3/8" a No 16)			100	90-100	20-55	5-30	0-10	0-5

Nota: La imagen muestra la tabla donde se presenta la Granulometría concreto hidráulico poroso ACPM C 33. (CIIA, 2017)

4.3.1.1.2 La mezcla asfáltica permeable. Las mezclas asfálticas son una de las principales superficies de rodadura que se utilizan en el mundo para los procesos de pavimentación debido a su facilidad y rapidez de instalación, aunque es un pavimento que se compone de materiales gruesos y finos y una base bituminosa para este sistema exige que los vacíos oscilen entre un 15 % y un 20 %, brindando un adecuado proceso de infiltración, cabe

destacar que esta condición disminuye la resistencia y vida útil del pavimento. En el proceso de instalación se recomienda que el proceso de compactación sea el mínimo posible con el fin de satisfacer la relación de vacíos de igual manera no se dé vía al tráfico inmediatamente después de su instalación, sino dejar esperar un periodo entre de 24 horas. Una particularidad de este tipo de superficies de rodadura es que el porcentaje de finos disminuye como se muestra en las granulometrías utilizadas para este tipo de mezclas en la Figura 91. (Cahill, et al., 2003)

Figura 92

Granulometría mezcla asfáltica poroso.

Tamiz		% que pasa
mm	"	
12.5	1/2	100
9.5	3/8	95
4.75	No 4	35
2.36	No 8	15
1.18	No 16	10
0.6	No 30	2

Nota: La imagen muestra la tabla donde se presenta la Granulometría mezcla asfáltica poroso. (CIIA, 2017)

4.3.1.1.3 Adoquines permeables. Dichos bloques deben fabricarse con base a la NTC 2017. El proceso de filtración de este tipo de superficies son las juntas de infiltración, por esto, se recomienda que este espacio debe oscilar entre un 5 %-15 % del área de la superficie total, con boquillas en arena que pase el tamiz No 8 brindando estabilidad a los adoquines. (Smith, 2006)

4.3.1.2 Capa de Nivelación. Esta se localiza debajo de la estructura de rodadura, se caracteriza por ser un material fino entre un rango de 2 mm a 6.3 mm en la Figura 92 se observa la granulometría recomendada, por lo general se utiliza un geotextil encima de esta capa que permita el libre flujo de agua el cual puede ser tejido o no, resistente a los agentes bacterianos y químicos.

Figura 93

Gradación del material de la capa de nivelación.

Tamaño (mm)	Porcentaje de Pasaje
14	100
10	98-100
6.3	80-99
2	0-20
1	0-5

Nota: La imagen muestra la tabla donde se presenta la Gradación del material de la capa de nivelación. (CIIA, 2017)

4.3.1.3 Sub-Base. Este tipo de sub-bases se caracteriza por almacenar agua, y a su vez garantizar la estabilidad de la superficie de rodadura, esto se determina por medio de la trabazón del agregado, para ello se recomienda la siguiente granulometría que se observa en la Figura 93, cabe aclarar que este estará sujeto a largo periodos de humedad por ende se debe evaluar su porosidad para suplir las necesidades de calidad para ellos se recomienda agregados regidos bajo la normativa AASHTO #57 O #67.

Figura 94

Gradación del material de la sub-base.

Tamaño (mm)	Porcentaje de pasaje (%)	
	(4/40)	(4/20)
80	100	-
63	98-100	-
40	90-99	100
31.5	-	98-100
20	25-70	90-99
10	-	25-70
4	0-15	0-15
2	0-5	0-5

Nota: La imagen muestra la tabla donde se presenta la Gradación del material de la sub-base (CIIA, 2017).

4.3.1.4 Capa filtrante y Drenaje. Debajo de la capa del reservorio se debe instalar una franja de 15 cm y una tubería que esté perforada la cual debe estar inmersa en una capa de agregado que presente la gradación de la Figura 94, teniendo una capa de 15 cm por encima de esta y por debajo una de 8 cm.

Figura 95

Gradación del material de la capa filtrante.

Tamaño		Porcentaje de pasaje
19mm	¾"	100
4.75mm	No 4	60-100
300µmm	No 50	10-30
150µmm	No 100	0-10
75µmm	No 200	0-3

Nota: La imagen muestra la tabla donde se presenta la Gradación del material de la capa filtrante. (CIIA, 2017)

4.3.1.5 Barras perimetrales. Las restricciones de borde, importantes para la estabilidad del pavimento, ya que confina a ambos lados, por lo general estas se realizan en concreto, por lo general en caso de no realizarse se utilizan andenes y cunetas como estructuras que protejan perimetralmente el pavimento. Se recomienda que estas posean un recubrimiento vertical y de esta manera dividir la estructura del pavimento con las construcciones aledañas. (CIIA, 2017)

4.4 Tanques de almacenamiento.

Se caracterizan por ser elementos auxiliares, del sistema de drenajes urbanos sostenibles, se caracteriza por almacenar el agua que pasa un proceso de purificación después de haber sido agua escorrentía o almacenar esta para posteriores usos, de la ubicación del elemento depende del material en que se va a desarrollar ya sea superficial o subterráneo. (CIIA, 2017)

4.4.1 Materiales y procedimientos constructivos utilizados en tanques de almacenamiento.

Para su construcción se deben considerar los siguientes materiales de construcción y procedimientos constructivos.

4.4.1.1 Materiales de fabricación. Se caracteriza que estos deben ser impermeables y sólidos, los tanques subterráneos suelen ser de concreto y los superficiales son de plástico, estos por lo general, deben sellarse por medio de un impermeabilizante no tóxico, cuando se trate de tanques subterráneos deben implementarse rejillas que retengan sólidos y no

contaminante el agua escurriría que posteriormente será tratada, en el caso de utilizarse canaletas como formas de llenado se debe utilizar materiales de PVC que no contaminen el agua. (CIIA, 2017)

4.5 Zanjas de infiltración

Se caracteriza por ser una franja que posee materiales porosos, recubiertos por una geo membrana y en su superficie se observa una franja superficial.

4.5.1 Capa Superior.

Está por lo general es de grava con un diámetro de 1 cm de diámetro, y un espesor que oscila entre 10-30 cm, debajo de esta se puede instalar una franja compuesta de arena y triturado de roca que esté entre 13 mm-9.5 mm, en caso de emplear o un geotextil el cual debe acondicionarse a la entrada de este sistema por medio de una cabeza hidráulica que permita una permeabilidad mayor a la del suelo. (CIIA, 2017)

4.5.2 Reservorio.

Su función principal es lograr que el agua entre a la tubería y se infiltre en el suelo por medio de una tubería percolada, luego se procede a rellenar la tubería con grava que posea una relación de vacíos entre el 30 % - 40 %, disminuyendo el riesgo de bloqueo. (CIIA, 2017)

4.5.3 Sistema de drenaje.

La tubería a utilizar como medio de drenaje debe ser perforada en PVC O HDPE corrugado. Cabe destacar que se sugiere siempre la construcción de obras de arte de disipación de energía que logren disminuir la probabilidad de desbordamiento en épocas de tormenta. (CIIA, 2017)

4.5.4 Suelo circundante.

Parte del éxito de este sistema depende de la capacidad de infiltración que posea el suelo circundante a la zanja de infiltración, recomendando suelos con gran capacidad permeables por lo general se utilizan arenas arcillosas, aunque no se recomienda suelos netamente arenosos. (CIIA, 2017)

De igual modo, este tipo de sistemas debe estar alejados de edificios u otro tipo de infraestructura donde se pueda inestabilizar el suelo de cimentación, con el fin de evitar el colapso de estas o asentamientos diferenciales. (CIIA, 2017)

Capítulo 5. Análisis Crítico

Los beneficios que acarrearán los nuevos sistemas urbanos de drenaje sostenible en la zona andina son muchos, pero tiene relevancia en controlar y regular las inundaciones. Otro de los beneficios que los SUDS tienen, se basan en ayudar a mejorar el desarrollo urbano, paisajístico y ambiental, así como ayudar al restablecimiento del ciclo del agua para mitigar los cambios hidrológicos. Por otra parte, estos sistemas potencian la captación del agua pluvial a través de la filtración, esta agua puede ser utilizada para labores de limpieza ayudando así a disminuir el uso del agua.

Los SUDS son una gran alternativa para ayudar a que la relación humano - naturaleza mejore, mitigando de esta forma la contaminación que hoy en día se viene presentando en gran parte del planeta debido a la explotación de los recursos naturales. Del mismo modo, implementar estos sistemas en unos lugares con problemas de inundación es una buena alternativa para la gestión de las aguas pluviales, donde los sistemas de alcantarillado se saturan, debido a que muchas ciudades de la zona andina colombiana cuentan con un sistema combinado donde llegan las aguas residuales y pluviales convergen, y rebosan su capacidad hidráulica proyectada, causando así las inundaciones, por ello, se requiere que haya un sistema de drenaje residual y uno pluvial.

En el ámbito internacional el panorama de beneficios que traen los SUDS han sido muchos, ya que en otros países se han implementado estos sistemas en gran medida, en comparación a Colombia que hasta hoy en día se están replanteando las posibilidades y proyectos que implementen estas alternativas. Las cuales son muy necesarias debido a que el ser humano debe iniciar un proceso de toma de consciencia hacia un estilo de vida más sencillo, en cuanto a que el recurso hídrico es limitado.

Con el fin de establecer una comparación entre los SUDS analizados a nivel nacional e internacional se realiza el siguiente cuadro comparativo:

Tabla 1

Comparación entre los casos de SUDS a nivel nacional e internacional.

Comparación entre los casos de SUDS a nivel nacional e internacional.		
	Casos a nivel nacional	Casos a nivel internacional
	Caso en el departamento de Antioquia.	Caso de España
Problemática	La problemática se ubica en Mojana, municipio de Nechí, donde se llevó a cabo un prediseño de un SUDS a fin de controlar y regular las inundaciones en esta zona.	En España, en el barrio San Blas, San Agustín, Los Ángeles, Rabasa y la Gran Vía, ocurren problemáticas de inundación cuando hay lluvias de gran intensidad, ya que el área está urbanizada y gran parte del lugar es impermeable, donde la Gran Vía se comporta como un río cuando aumentan las lluvias.

**Alternativas de
SUDS**

Se estableció una cartilla didáctica que promovió la ejecución de drenajes para prevenir las inundaciones y reutilizar el recurso hídrico, así como la optimización del desarrollo paisajístico y urbano. Se utilizaron alternativas como zanjas filtrantes y el sistema de pozos.

Con base en la situación presentada, el proyecto utiliza alternativas como un parque inundable con 7 metros de profundidad de manera que sea un gran depósito, disminuyendo las inundaciones. El vaciado del parque se realiza por medio de la infiltración del agua al subsuelo y luego por evapotranspiración con vegetación apta. Para evitar la erosión se colocó una capa escollera de 5 metros de espesor a la salida de las conducciones. También se plantean cunetas vegetales en las avenidas con forma trapezoidal con un metro de profundidad. Igualmente, se utilizan depósitos de infiltración en las glorietas para infiltrar al subsuelo parte del agua lluvia. Asimismo, hace uso de jardines de lluvia y cubiertas vegetadas para laminar el caudal y son de tipo extensiva, y finalmente hacen uso de los pavimentos permeables que se proyectaron en algunas zonas de aparcamiento a fin de infiltrar al subsuelo el agua lluvia y la escorrentía.

	Caso en el departamento de Cundinamarca.	Caso de China.
Problemática	En Bogotá son varias las zonas que presentan problemas de inundación y una de ellas se presenta en el consorcio Borde Norte que, junto con la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de esta ciudad, se buscó el desarrollo del Plan de Ordenamiento Zonal del Norte, donde se hizo una complementación de los sistemas de drenaje convencionales con los SUDS.	En China la aceleración de la urbanización y el desarrollo ha acusado contaminación ambiental y escasez de agua, por ello se ha estudiado la implementación de distintas técnicas de SUDS para reducir las inundaciones, contaminación y que haya un embellecimiento de las ciudades.
Alternativas de SUDS	La complementación de los SUDS buscó establecer los volúmenes de agua pluvial y mitigar esta con la ejecución de los SUDS, haciendo una separación de las zonas de afectación del drenaje, instaurando unos colectores por las vías principales para drenar el agua pluvial. Se propone pues cuerpos de agua artificiales, zonas para infiltración directa, cuencas filtrantes con vegetación y zanjas de retención con vegetación.	La alternativa que se propone se basa en la ciudad esponja, la cual postula un sistema de agua de lluvia que absorba, almacene, filtre y purifique el agua cuando hay precipitaciones. Esta ciudad esponja se conforma a la naturaleza, tiene un desarrollo de bajo impacto, hay una armonía entre ser humano y naturaleza, y se protege la ecología. Combina medidas artificiales y procesos naturales para incrementar la acumulación, penetración y purificación del agua pluvial. De manera que, para lograrlo, se han ido implementando alternativas como cubiertas ajardinadas, pavimentos permeables, espacios verdes hundidos y jardines de agua pluvial, que son espacios verdes excavados para absorber y recoger el agua lluvia, la cual es purificada con plantas.

	Caso en el departamento del Valle del Cauca.	Caso de Perú
Problemáticas	En la ciudad de Palmira, no existía una regulación ni control de las aguas, por lo que no había gestión de los caudales de agua lluvia, por ello se buscó implementar una opción no convencional basada en los SUDS, a fin de mitigar los problemas de inundación debido al exceso de escorrentías, que causan problemas económicos, sociales y ambientales.	En la localidad de Alto Libertad se presenta que en periodos de gran intensidad de lluvias hay inundaciones que ocasionan el colapso de tuberías de desagüe, ocasionando desbordamientos en la vía, lo que genera malos olores, focos infecciosos y deterioro en la vía.
Alternativas de SUDS	Las alternativas de los SUDS en este caso buscaron manejar las aguas pluviales a fin de proteger las áreas naturales, suelos y vegetación. Un diseño inicial determinó el inicio de un colector llamado PC-8, la trayectoria se compone de una tubería de hormigón. Escogieron un estanque de detención.	El proyecto fue diseñar un SUDS empleando los drenes filtrantes para captar el agua lluvia, almacenarla y darle un mejor uso. Las alternativas se basaron en pozos de retención ubicados en zonas verdes. Así como pozas o lagunas de captación por su fácil construcción, con tres metros de profundidad. Los drenes filtrantes con geometría rectangular, se basaron en zanjas poco profundas que se rellenan de piedra o grava para crear un almacenamiento subsuperficial temporal.

	Caso en el departamento de Norte de Santander.	Caso de Ecuador
Problemáticas	En la ciudad de Cúcuta, se presentan niveles altos de inundación en la intersección entre la avenida 12E y la calle 2N, se buscó con el proyecto mejorar la transitabilidad de la zona y darle una mejor disposición al agua que se estancaba, debido a que la ciudad no cuenta con un alcantarillado de tipo pluvial.	En la ciudad de Quito se presentan problemas de inundaciones debido al crecimiento urbano, ya que las áreas verdes se han reducido, impidiendo la infiltración y sobrecargando el sistema urbano de drenaje, por ello, se hizo análisis hidráulico del sistema para controlar las inundaciones.
Alternativas de SUDS	Se propone diseñar un sistema de alcantarillado para el manejo de aguas lluvias. Se abordaron alternativas como el estanque de retención y almacenamiento subsuperficial. Las técnicas se basaron en los estanques, zanjas y pozos de infiltración. Para el control de las aguas se proponen técnicas como el Green roof, la recolección de agua lluvia y el pavimento permeable.	Las alternativas estudiadas se relacionan con cuencas de biorretención y cubiertas verdes, para disminuir el agua que ingresa al sistema y reutilizando el agua pluvial, por ello, se planteó una rehabilitación del sistema de alcantarillado por medio de SUDS, como cubiertas verdes, así como cuencas de biorretención y el pavimento permeable.
	Caso en el departamento de Santander.	Caso de Argentina
Problemáticas	En Floridablanca, en la Universidad Santo Tomás, se presenta la ausencia de capacidad hidráulica de la estructura para drenar los caudales de agua lluvia, causando la inundación del campus. Por ello, se llevó a cabo el diseño de un tren de SUDS	En la ciudad de Santa Rosa, La Pampa, ocurren inundaciones que tienen que ver con la creciente impermeabilización de la ciudad, damnificando a los ciudadanos, junto con la contaminación de las fuentes hídricas y riesgos de salud, por ello, se evaluó la factibilidad de implementar los SUDS partiendo de la cosecha, retención y uso del agua.

Alternativas de SUDS	El diseño utilizó alcorques inundables, zanjas de infiltración, pavimentos permeables y tanques de almacenamiento, para así cubrir la demanda mensual de los periodos de lluvia.	El proyecto recomienda alternativas como cunetas y techos verdes y depósitos de detención en superficie. También se emplearon las cisternas para retención y el almacenamiento del agua es una gran ayuda a la sostenibilidad, lo cual tiene éxito si se complementa con las alternativas de SUDS.
-----------------------------	--	--

Nota. Elaboración propia

La implementación de estos sistemas puede mejorar los problemas de inundaciones y por ello, muchas ciudades le han apostado a la construcción de alternativas que sean sostenibles, como la opción de la ciudad esponja en China, asimismo, estos sistemas se usan para almacenar y purificar la tierra. Sin embargo, es muy importante que para implementar estos sistemas haya una planificación de acuerdo a los diseños planteados y que se dé una evaluación del riesgo de inundaciones para de esta manera actuar de manera pertinente.

Ante esto la implementación de los sistemas de drenajes urbanos sostenibles, son una de las principales alternativas que logran disminuir el impacto que posee el agua escorrentía sobre las urbanizaciones especialmente en aquellas zonas donde se presentan altas pendientes, como el municipio de Ocaña, Norte de Santander donde la topografía se caracteriza por presentar altas elevaciones de terreno, y se presenta una descontrolada urbanización debido a la inadecuada planificación urbana y sobre todo una proyección urbanística que poco se adapta a las condiciones hidráulicas, careciendo principalmente de alcantarillados pluviales o mixtos que logren disminuir las cargas hidráulicas.

Ante esta situación, la ejecución de los SUDS, se potencian como una alternativa factible que logra mitigar los estragos que en muchos barrios de la ciudad suceden, por el inadecuado manejo de aguas lluvias causando inundaciones y deslizamientos del terreno, por ende, se recomienda utilizar dos sistemas urbanos sostenibles de drenaje que permitirían reducir de manera gradual los impactos ya expuestos, especialmente los pavimentos permeables que permiten la disminución de caudales, realizando una adecuada disposición de esta escorrentía hacia las fuentes naturales o sistemas pluviales habilitados.

Otra de las alternativas que se debería implementar en la ciudad de Ocaña, sería un sistema de recolección de aguas lluvias, que estuviese conectado a tanques de almacenamiento subterráneos, que pudiesen utilizarse como sistema de abastecimiento de uso institucional, especialmente para riegos de césped disminuyendo el consumo de agua potable, siendo una alternativa de un buen manejo del recurso hídrico, disminuyendo notablemente el consumo de agua potable que se desperdicia en los sistemas de riegos de las instituciones educativas.

5.1 Elaboración de curvas IDF del municipio de Ocaña.

Debido a la falta de pluviógrafos en las estaciones en el Municipio de Ocaña, Norte de Santander que permitan determinar de manera directa las curvas de intensidad - duración - frecuencia o bien conocidas como Curvas IDF se realiza su determinación con base en registros de máximas precipitaciones diarias brindadas por la estación pluviométrica del IDEAM ubicada en la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, la cual se observa en la Tabla 2.

Por medio del método de Gumbel, el cual, realiza una distribución logarítmica normal, por medio de la ecuación 1 estableciendo un valor máximo X . (Villon, 2007).

$$X = \bar{X} + K * S_x \text{ (Ecuación 1)}$$

\bar{X} = Media de la muestra de valores de precipitación

S_x = Desviación estandar de la muestra

k = Factor de frecuencia

Tabla 2

Registros Pluviométricos Estación Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña –

UFPSO

Año	Máx.
1991	
1992	
1993	
1994	
1995	
1996	75
1997	50,2
1998	87
1999	
2000	88,6
2001	43,5
2002	50,5
2003	54,8
2004	44,7
2005	60
2006	45,2
2007	51,2
2008	69,6
2009	48,1
2010	76,8
2011	80,1
2012	44,4
2013	85,1
2014	121,5
2015	44,8
2016	42,9
2017	58,7
2018	78,7
2019	63,9
2020	48,7

Nota: Datos Suministrados por el IDEAM

Figura 96

Desviación estándar y media de los *Registros Pluviométricos Estación Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña – UFPSO*

Máx	121,5	mm	
Promedio	63,083	mm	
Desv Stan (S)	19,949	mm	
La desviación estándar es:	π	3,14159	
$\beta\pi/\sqrt{6}$.	Beta	15,55	
La media es $\mu + \gamma\beta$ donde $\gamma =$	euler		
Constante de Euler-Mascheroni \approx	mascheroni	0,57722	
0.5772156649015328606.	μ	54,1051	

Nota. Elaboración propia

Tabla 3

Cálculo de las láminas para distintas frecuencias

Periodo de retorno	YT	XT' (mm)	F (xT)	XT (mm)
2	0,367	59,806	0,500	67,6
5	1,500	77,436	0,800	87,5
10	2,250	89,108	0,900	100,7
25	3,199	103,856	0,960	117,4
50	3,902	114,797	0,980	129,7
75	4,311	121,156	0,987	136,9
100	4,600	125,657	0,990	142,0
500	6,214	150,754	0,998	170,4

Nota. Elaboración propia

Donde cada uno de esos datos se representa y se calcula de la siguiente manera:

YT: Variable reducida

$$Y_t = -\ln \left(\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right)$$

XT: Precipitación (mm)

$$\bar{X} = \mu + Y_t \cdot \beta$$

F(xT): Probabilidad de ocurrencia

$$F_{(x,\mu,\beta)} = e^{-e^{-\left(\frac{x-\mu}{\beta}\right)}}$$

XT: Corrección Intervalo fijo (mm)

$$X = 1,13 \cdot X_t$$

5.1.1 Ecuación de Intensidad

Para calcular la ecuación de intensidad se deben tener presente las relaciones o cocientes a la lluvia de 24 horas se emplean para duraciones de varias horas. D. F. Que se observa en la Figura 97.

Figura 97

Valores concluidos para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas

Duraciones, en horas									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
0,30	0,39	0,46	0,52	0,57	0,61	0,68	0,80	0,91	1,00

Nota. Datos tomados de (D.FA., 1978)

Tabla 4*Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias*

DURACIÓN	FACTOR DE	P.M.P(mm) para diferentes tiempos de duración Sg. Periodo de retorno							
		2	5	10	25	50	75	100	500
24	1	67,58	87,50	100,69	117,36	129,72	136,91	141,99	170,35
18	0,91	61,50	79,63	91,63	106,80	118,05	124,59	129,21	155,02
12	0,8	54,06	70,00	80,55	93,89	103,78	109,53	113,59	136,28
8	0,68	45,95	59,50	68,47	79,80	88,21	93,10	96,56	115,84
6	0,61	41,22	53,38	61,42	71,59	79,13	83,51	86,62	103,91
5	0,57	38,52	49,88	57,39	66,89	73,94	78,04	80,94	97,10
4	0,52	35,14	45,50	52,36	61,03	67,45	71,19	73,84	88,58
3	0,46	31,09	40,25	46,32	53,98	59,67	62,98	65,32	78,36
2	0,39	26,36	34,13	39,27	45,77	50,59	53,39	55,38	66,44
1	0,3	20,27	26,25	30,21	35,21	38,92	41,07	42,60	51,11

Nota. Elaboración propia

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, y los tiempos de duración que fueron adoptados, se procede a determinar la intensidad equivalente, por medio de la fórmula de D.

F. Campos A., 1978.

$$I = \frac{P [mm]}{t_{duración} [hr]} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Tabla 5*Intensidad de la lluvia (mm/hr) según el periodo de retorno*

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm/hr) según el periodo de retorno							
Hr	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	75 años	100 años	500 años
24	1440	2,816	3,646	4,196	4,890	5,405	5,704	5,916	7,098
18	1080	3,417	4,424	5,091	5,933	6,558	6,921	7,179	8,612
12	720	4,505	5,833	6,713	7,824	8,648	9,127	9,466	11,357
8	480	5,744	7,438	8,559	9,975	11,026	11,637	12,069	14,480
6	360	6,871	8,896	10,237	11,931	13,188	13,919	14,436	17,319
5	300	7,704	9,975	11,479	13,379	14,788	15,607	16,187	19,420
4	240	8,786	11,375	13,090	15,256	16,864	17,798	18,459	22,146
3	180	10,362	13,417	15,439	17,995	19,891	20,992	21,772	26,121
2	120	13,178	17,063	19,635	22,885	25,296	26,697	27,689	33,219
1	60	20,274	26,251	30,208	35,207	38,916	41,072	42,598	51,105

Nota. Elaboración propia

Procediendo a la aplicación de una regresión potencial para cada uno de los tiempos de retorno (Tr), en resumen, se obtienen los siguientes datos, registrados en la Tabla 6.

Tabla 6

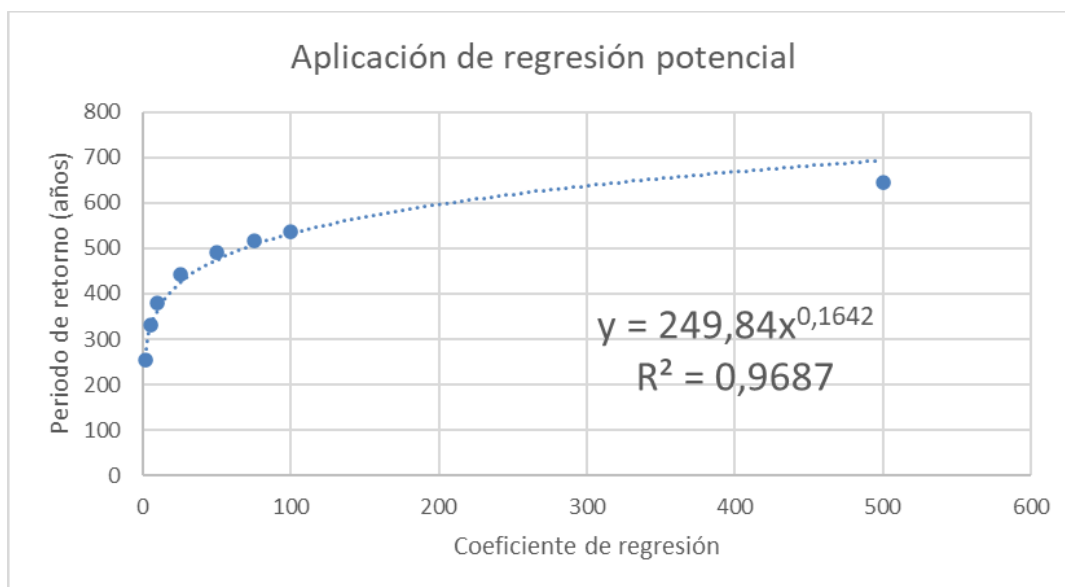
Resumen de aplicación de regresión potencial

Resumen de aplicación de regresión potencial		
Periodo de retorno	Coef de regresión	Exp de regresión
2	255,49	-0,616
5	330,8	-0,616
10	380,67	-0,616
25	443,67	-0,616
50	490,41	-0,616
75	517,58	-0,616
100	536,81	-0,616
500	644,02	-0,616
Promedio	449,93125	-0,616

Nota. Elaboración propia

Figura 98

Aplicación de regresión potencial



Nota. Elaboración propia.

Con estos datos, finalmente se obtiene la ecuación de intensidad, la cual permitirá trazar y definir las curvas IDF deseadas y obtener los parámetros de ajuste

$$I = \frac{a * T^b}{t^c} \text{ (Ecuación 3)}$$

$$I = \frac{249,84 * T^{0,1642}}{t^{0,616}} \text{ (Ecuación 4)}$$

Donde:

- I: intensidad de precipitación (mm/hr)
- T: Periodo de Retorno (años)
- t: Tiempo de duración de precipitación (min)

Tabla 7

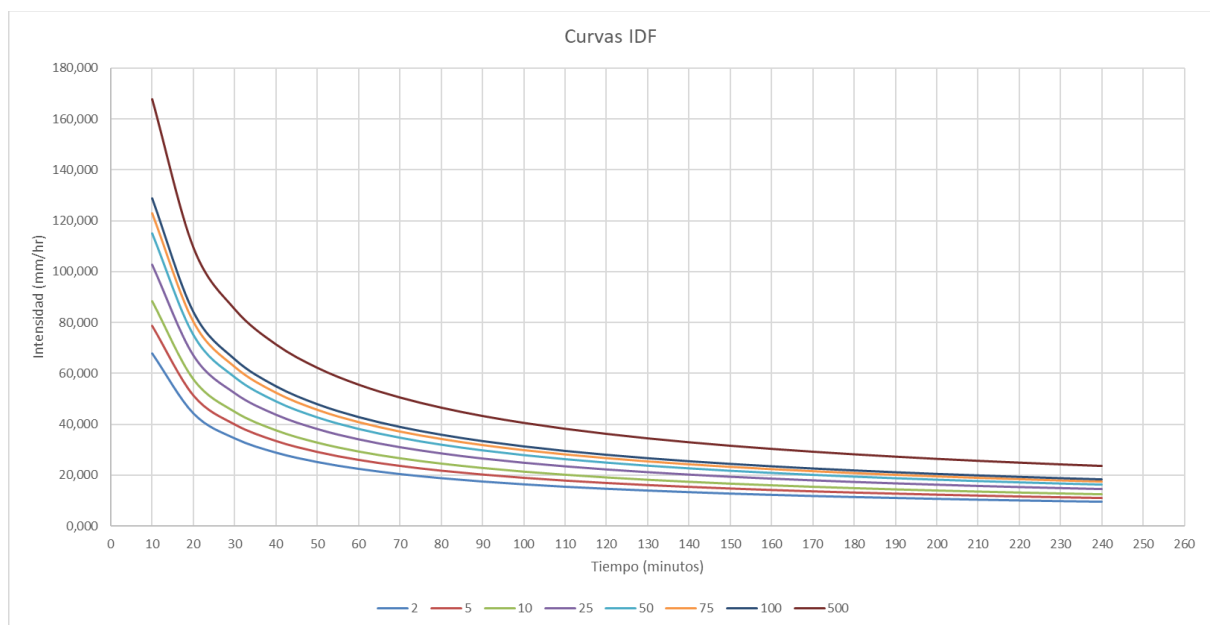
Frecuencia (T años)

Duración (t min)	Frecuencia (T años)							
	2	5	10	25	50	75	100	500
10	67,778	78,783	88,280	102,613	114,983	122,899	128,843	167,816
20	44,224	51,404	57,601	66,953	75,024	80,189	84,067	109,496
30	34,450	40,043	44,870	52,155	58,442	62,466	65,487	85,296
40	28,855	33,540	37,583	43,685	48,951	52,321	54,852	71,444
50	25,149	29,233	32,756	38,075	42,665	45,602	47,808	62,268
60	22,478	26,127	29,277	34,030	38,132	40,757	42,729	55,653
70	20,441	23,760	26,625	30,947	34,678	37,065	38,858	50,612
80	18,827	21,884	24,522	28,504	31,940	34,138	35,790	46,615
90	17,510	20,353	22,806	26,509	29,704	31,749	33,285	43,353
100	16,409	19,074	21,373	24,843	27,838	29,754	31,193	40,629
110	15,474	17,986	20,154	23,426	26,250	28,058	29,415	38,312
120	14,666	17,047	19,102	22,204	24,880	26,593	27,880	36,313
130	13,961	16,227	18,183	21,136	23,683	25,314	26,538	34,566
140	13,338	15,503	17,372	20,192	22,627	24,184	25,354	33,023
150	12,783	14,858	16,649	19,352	21,685	23,178	24,299	31,649
160	12,284	14,279	16,000	18,598	20,840	22,275	23,352	30,415
170	11,834	13,755	15,414	17,916	20,076	21,458	22,496	29,301
180	11,425	13,280	14,880	17,296	19,381	20,716	21,718	28,287
190	11,050	12,845	14,393	16,730	18,747	20,037	21,006	27,360
200	10,707	12,445	13,945	16,209	18,163	19,414	20,353	26,509
210	10,390	12,077	13,532	15,730	17,626	18,839	19,750	25,724
220	10,096	11,735	13,150	15,285	17,128	18,307	19,192	24,998
230	9,824	11,418	12,795	14,872	16,665	17,812	18,674	24,323
240	9,569	11,123	12,464	14,488	16,234	17,351	18,191	23,693

Nota. Elaboración propia

Figura 99

Curvas IDF realizadas para el municipio de Ocaña



Nota. Elaboración propia

5.2 Propuesta General de la Institución educativa Normal Superior.

La institución educativa Normal Superior, presta los servicios de educación secundaria al municipio de Ocaña, ubicada en la vía que conduce a la Universidad Francisco de Paula Santander. actualmente, posee extensas áreas de zonas verdes, las cuales requieren de constante riego, ante ello, se lleva un levantamiento por Google Earth como se Observa en la Figura 100.

Figura 100

Localización de la institución educativa normal superior



Nota. Figura extraída de Google Earth

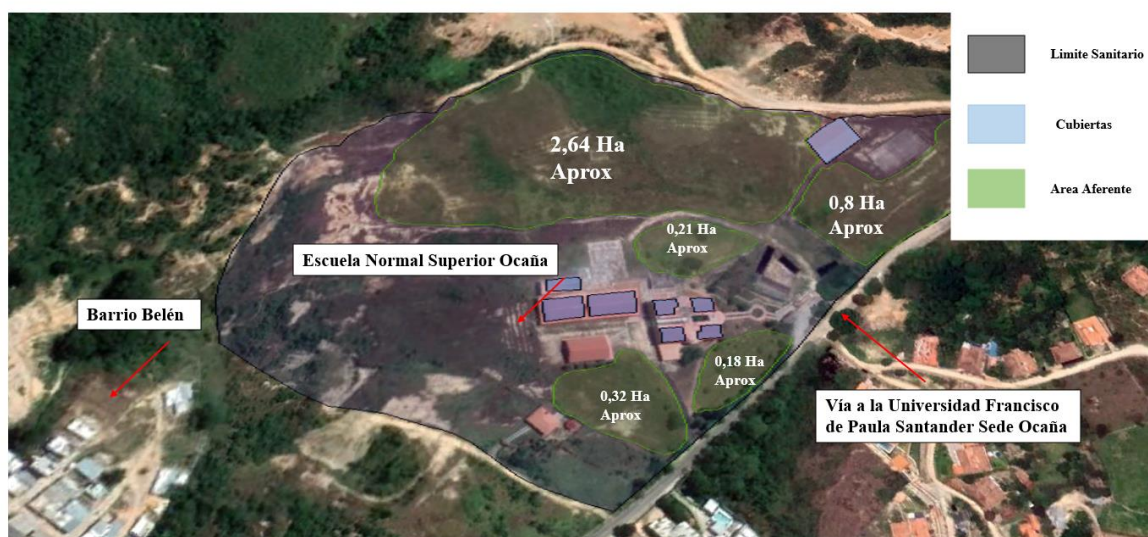
La escuela normal superior ubicada en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, es una sede educativa que en su campus cuenta con una gran cantidad de zona verde, donde los SUDS, que anteriormente fueron expuestos, pueden ser una gran ayuda para el abastecimiento de un sistema de riego, ya que dicha sede siempre ha presentado problemas con el abastecimiento de agua potable y tener un sistema de riego que sea abastecido gracias a los sistemas de drenajes urbanos sostenibles, seria de una gran ayuda para esta sede educativa, poder tener una reserva de agua, proveniente de las aguas lluvias, que puede ser

usada para el riego y así poder utilizar el agua potable proveniente del sistema de acueducto municipal a plenitud para otras labores primordiales de la sede.

Sumando a esto a problemas de inundaciones que se presentan en épocas de altas precipitaciones, generando problemas a la comunidad educativa, debido al no contar un sistema de drenaje capaz de la correcta evacuación de las aguas lluvias provenientes de las áreas aferentes como se ve en la figura 101.

Figura 101

Áreas aferentes de la institución educativa normal superior



Nota. Figura extraída de Google Earth

5.2.1 Cálculo estimado de caudales de las cuencas naturales de la Normal Superior.

Se plantea un cálculo del caudal que pudiese almacenarse en los tanques de recolección de aguas lluvias, derivados de las cubiertas verdes que se implementaran en las cubiertas de la institución, partiendo de las zonas focalizadas en la Figura 101, empleando el método racional para el cálculo del caudal de diseño, partiendo del hecho de que este es un modelo empírico simple que puede utilizarse para el diseño de sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias que tengan áreas relativamente pequeñas.

Figura 102

Método Racional.

$$Q = 2.78 \times C \times i \times A$$

donde:

- Q = Caudal pico de aguas lluvias (L/s).
- C = Coeficiente de impermeabilidad definido para cada área tributaria (adimensional).
- i = Intensidad de precipitación correspondiente al tiempo de concentración utilizado (mm/h).
- A = Área tributaria de drenaje (ha).

Nota. Título D (RAS, 2017)

Ante ello se calculan cada una de las variables que componen la ecuación de caudal del método racional.

5.2.1.1 Coeficiente de impermeabilidad. Este se estima a partir de la figura 103, del reglamento del sector de agua potable y saneamiento básico

Figura 103

Coeficientes de impermeabilidad laderas con vegetación

Tipo de superficie	C
Cubiertas	0,90
Pavimentos asfálticos y superficies de concreto	0,90
Vías adoquinadas	0,85
Zonas comerciales o industriales	0,90
Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras	0,75
Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre estos	0,75
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0,60
Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados	0,45
Residencial, con predominio de zonas verdes y parques-cementerios	0,30
Laderas sin vegetación	0,60
Laderas con vegetación	0,30
Parques recreacionales	0,30

Nota. (RAS, 2017)

5.2.1.2 Cálculo de la intensidad de precipitación

5.2.1.2.1 Periodo de retorno. Para el cálculo de la intensidad se necesita el periodo de retorno, el cual, es extraído de la Figura 104 de la resolución 0330 del 2017, seleccionando la característica del área de drenaje de canales abiertos que drenan áreas menores a 1000 hectáreas.

Figura 104*Características del área de drenaje*

Características del área de drenaje	Período de retorno (años)
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 hectáreas	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores de 10 hectáreas	10
Canales abiertos que drenan áreas menores a 1000 hectáreas	50
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100

Nota. Resolución 0330 del 2017 del ministerio de ambiente y territorio (RAS, 2017)

5.2.1.2.2 Tiempo de concentración. Para el cálculo del tiempo de concentración se emplea la ecuación de kirpich (1940), la cual es utilizada para cuencas naturales con escorrentía sobre terrenos desnudos y áreas pequeñas.

$$t_c = 0.019 \frac{L^{0.77}}{S_0^{0.385}} \text{ (Ecuación 5)}$$

Donde:

- t_c : tiempo de concentración (min)
- L: Longitud del flujo (m)
- S_0 : Perdiendo promedio del terreno

Cabe resaltar que las longitudes de flujo (m) y las pendientes promedio del terreno se calcularon mediante el software Google Earth como se observa en la Figura 105.

Figura 105

Cálculo de longitudes y pendientes de las cuencas naturales de la institución Normal Superior

Superior



Nota. Extraída de Google Earth.

A partir del análisis realizado se determina el tiempo de concentración de las cuencas naturales de la zona estudio.

Tabla 8

Cálculo de tiempo de concentración de la institución Normal Superior

Cuencas	Longitud Cauce Principal (m)	Altura inicial	Altura final	Pendiente (%)	Tiempo de Concentración tc (min)
1	84	1241	1237	0,048	1,86
2	72	1236	1231	0,069	1,428
3	47,6	1235	1234	0,021	1,646
4	147	1228	1225	0,02	3,966
5	124	1248	1240	0,065	2,233

Nota. Elaboración propia

5.2.1.3 Intensidad de precipitación. Se calcula la intensidad de precipitación de acuerdo a los datos anteriormente hallados, por medio de la ecuación 6

$$I = \frac{249,84 * T^{0,1642}}{t^{0,616}} \text{ (Ecuación 6)}$$

Tabla 9

Cálculo de intensidad de las cuencas naturales de la institución Normal Superior

Cuencas	Intensidad (mm/hr)
1	324,055
2	381,271
3	349,411
4	203,269
5	289,514

Nota. Elaboración propia

5.2.1.4 Áreas tributarias de drenaje de las cuencas. Se realiza el cálculo de las áreas mediante el software de Google Earth.

Tabla 10

Cálculo de las Áreas de las Cuencas

Cuencas	Área de las cuencas (Ha)
1	0,32
2	0,18
3	0,21
4	0,8
5	2,64
Área Total de las cuencas	4,15

Nota. Elaboración propia

5.2.1.5 Caudal estimado de las cuencas naturales de la Institución normal superior

Tabla 11

Caudal de las cuencas naturales de la Institución normal superior

Cuencas	Intensidad (mm/hr)	Área de las cuencas (Ha)	Coef. De Escorrentia	Caudal Método Racional (lts/s)
1	324,055	0,32	0,3	86,484
2	381,271	0,18	0,3	57,236
3	349,411	0,21	0,3	61,196
4	203,269	0,8	0,3	135,621
5	289,514	2,64	0,3	637,441
Área Total de las cuencas		4,15		977,978

Nota. Elaboración propia

5.2.2 Cálculo estimado de caudales de las cubiertas de la Normal Superior.

5.2.2.1 Coeficiente de impermeabilidad. Se relacionan los datos dados en la figura 106 adoptando un coeficiente de escorrentía.

Figura 106

Coefficientes de impermeabilidad Cubiertas

Tipo de superficie	C
Cubiertas	0,90
Pavimentos asfálticos y superficies de concreto	0,90
Vías adoquinadas	0,85
Zonas comerciales o industriales	0,90
Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras	0,75
Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre estos	0,75
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0,60
Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados	0,45
Residencial, con predominio de zonas verdes y parques-cementerios	0,30
Laderas sin vegetación	0,60
Laderas con vegetación	0,30
Parques recreacionales	0,30

Nota. (RAS, 2017)

5.2.2.2 Cálculo de la intensidad de precipitación

5.2.2.2.1 Periodo de retorno. Para el cálculo de la intensidad se necesita el periodo de retorno, el cual es de 100 años y está dado en la NTC 1500 (Cuarta Actualización).

5.2.2.2.2 Tiempo de concentración. Para el cálculo del tiempo de concentración se emplea una hora (60 minutos) establecido en la NTC 1500 (Cuarta Actualización).

5.2.2.2.3 Intensidad de precipitación. Se calcula la intensidad de precipitación de acuerdo a los datos anteriormente hallados, por medio de la ecuación

$$I = \frac{249,84 * T^{0,1642}}{t^{0,616}} \text{ (Ecuación 6)}$$

$$I = \frac{249,84 * (100)^{0,1642}}{(60)^{0,616}}$$

$$I = 42,729 \text{ mm/h}$$

5.2.2.4 Áreas tributarias de las cubiertas. Se realiza el cálculo de las áreas mediante el software de Google Earth.

Tabla 12

Caudal de las Áreas Tributarias de cubierta

Cubierta	Área de la cubierta (Ha)
1	0,0175
2	0,0358
3	0,0416
4	0,0342
5	0,013
6	0,0117
7	0,0128
8	0,0117
Área Total de Cubiertas	0,1783

Nota. Elaboración propia

5.2.2.5 Caudal estimado de las cubiertas de la Institución normal superior

Tabla 13

Caudal de las cubiertas de la Institución Normal Superior

Cubierta	Intensidad (mm/hr)	Coef. De Escorrentía	Área de la cubierta (Ha)	Caudal Método Racional (lts/s)
1	42,729	0,9	0,0175	1,871
2	42,729	0,9	0,0358	3,827
3	42,729	0,9	0,0416	4,447
4	42,729	0,9	0,0342	3,656
5	42,729	0,9	0,013	1,39
6	42,729	0,9	0,0117	1,251
7	42,729	0,9	0,0128	1,368
8	42,729	0,9	0,0117	1,251
			0,1783	19,062

Nota. Elaboración propia

Dichos caudales indican que la institución educativa de la Normal superior posee un gran caudal de agua escorrentía proveniente de las cuencas naturales y de las cubiertas del colegio, por tanto, se sugiere la implementación de cubiertas verdes para el embellecimiento de la institución y que a su vez el agua recolectada por estas sea transportada a tanques de almacenamiento con el fin de darle un buen uso en el riego del césped de la institución. Cabe destacar que no se presentan inundaciones debido a las condiciones del terreno y buen drenaje hacia la vía colindante a la institución educativa.

5.3 Propuesta General en el Sector de Villa Carolina

La urbanización Villa Carolina, pertenece al municipio de Ocaña, ubicado en la las Calles 4ª y Calle 4B, es una zona netamente residencial, que se caracteriza por presentar altas pendientes y estar ubicado entre montañas naturales en su parte posterior, por ende, es propensa a presentar una gran carga hidráulica por sus calles en eventos de altas precipitaciones, ocasionando actualmente la inundación de las viviendas.

Ante esta situación la implementación de pavimentos permeables, es la solución que mejor se adapta, ya que estas no requieren que el pavimento cumpla con altas proyecciones de soporte a compresión y a flexión, debido a las bajas cargas de tráfico que por estas transitan, además dicha urbanización posee una rejilla con una tubería de concreto de 36” que conduce a un drenaje natural de vertimientos para esorrentía, la cual lograría disminuir las carga hidráulica que se da en este sector por las altas pendientes que maneja su topografía, que actualmente colocan en riesgo la estabilidad de varias de las viviendas que se encuentran en este sector.

Ante ello se realiza la respectiva localización de las áreas aferentes, límites sanitarios, tramos de pavimento en el que se desarrollaría la propuesta de sistemas de drenaje urbanos sostenibles por medio de la implementación de pavimentos permeables, como se observa, en la Figura 107.

Figura 107

Localización de Áreas Aferentes y Límites Sanitarios sector Villa Carolina



Nota. Elaboración propia.

5.3.1 Cálculo estimado de caudales de las cuencas naturales de la Normal Superior.

Ante ello, se plantea un cálculo del caudal que pudiese almacenarse en los tanques de recolección de aguas lluvias, partiendo de las zonas focalizadas en la Figura 105, empleando el método racional para el cálculo del caudal de diseño, partiendo del hecho de que este es un modelo empírico simple que puede utilizarse para el diseño de sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias que tengan áreas relativamente pequeñas, como se observa en la Figura 107.

Figura 108*Método Racional.*

$$Q = 2.78 \times C \times i \times A$$

donde:

- Q = Caudal pico de aguas lluvias (L/s).
 C = Coeficiente de impermeabilidad definido para cada área tributaria (adimensional).
 i = Intensidad de precipitación correspondiente al tiempo de concentración utilizado (mm/h).
 A = Área tributaria de drenaje (ha).

Nota. Título D (RAS, 2017)

Ante ello se calculan cada una de las variables que componen la ecuación de caudal del método racional.

5.3.1.1 Coeficiente de impermeabilidad. Este se estima a partir de la figura 109, del reglamento del sector de agua potable y saneamiento básico

Figura 109*Coeficientes de impermeabilidad de laderas con vegetación*

Tipo de superficie	C
Cubiertas	0,90
Pavimentos asfálticos y superficies de concreto	0,90
Vías adoquinadas	0,85
Zonas comerciales o industriales	0,90
Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras	0,75
Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre estos	0,75
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0,60
Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados	0,45
Residencial, con predominio de zonas verdes y parques-cementerios	0,30
Laderas sin vegetación	0,60
Laderas con vegetación	0,30
Parques recreacionales	0,30

Nota. (RAS, 2017)

5.3.1.2 Cálculo de la intensidad de precipitación

5.3.1.2.1 Período de retorno. Para el cálculo de la intensidad se necesita el periodo de retorno, el cual, es extraído de la Figura 110 de la resolución 0330 del 2017, seleccionando la característica del área de drenaje de canales abiertos que drenan áreas menores a 1000 hectáreas.

Figura 110

Características del área de drenaje canales abiertos

Características del área de drenaje	Período de retorno (años)
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 hectáreas	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores de 10 hectáreas	10
Canales abiertos que drenan áreas menores a 1000 hectáreas	50
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100

Nota. Resolución 0330 del 2017 del ministerio de ambiente y territorio (RAS, 2017)

5.3.1.2.2 Tiempo de concentración. Para el cálculo del tiempo de concentración se emplea la ecuación de kirpich (1940), la cual es utilizada para cuencas naturales con escorrentía sobre terrenos desnudos y áreas pequeñas.

$$t_c = 0.019 \frac{L^{0.77}}{S_o^{0.385}} \text{ (Ecuación 5)}$$

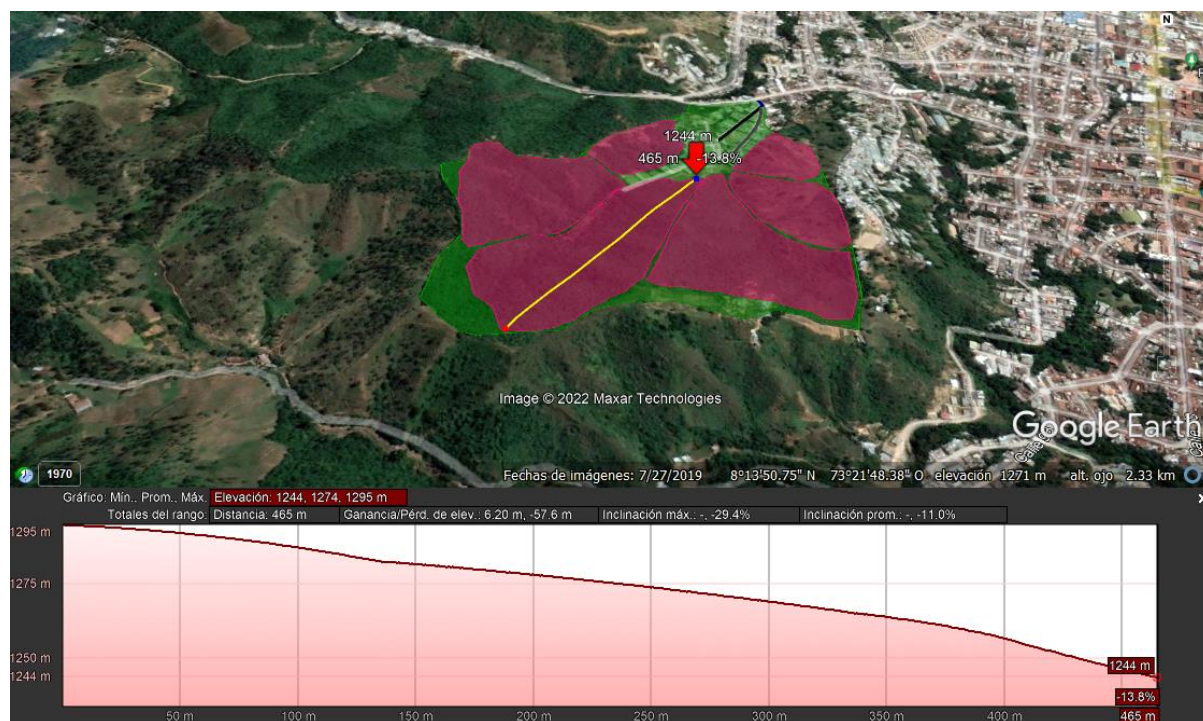
Donde:

- t_c : tiempo de concentración (min)
- L: Longitud del flujo (m)
- S_o : Perdiendo promedio del terreno

Cabe resaltar que las longitudes de flujo (m) y las pendientes promedio del terreno se calcularon mediante el software Google Earth como se observa en la figura 111

Figura 111

longitudes de flujo (m) y pendientes promedio del terreno



Nota. Figura extraída de Google Earth

A partir del análisis realizado se determina el tiempo de concentración de las cuencas naturales de la zona estudio.

Tabla 14

Cálculo de tiempo de concentración

Cuencas	Longitud Cauce Principal (m)	Altura inicial	Altura final	Pendiente (%)	Tiempo de Concentración t_c (min)
1	179	1261	1231	0,168	2,052
2	273	1301	1257	0,161	2,883
3	465	1295	1244	0,11	5,038
4	311	1295	1238	0,183	3,033
5	241	1255	1236	0,079	3,449
6	161	1241	1219	0,137	2,046

Nota. Elaboración propia

5.3.1.3 Intensidad de precipitación. Se calcula la intensidad de precipitación de acuerdo a los datos anteriormente hallados, por medio de la ecuación

$$I = \frac{249,84 * T^{0,1642}}{t^{0,616}} \text{ (Ecuación 5)}$$

Tabla 15

Cálculo de intensidad

Cuencas	Intensidad (mm/hr)
1	305,053
2	247,401
3	175,408
4	239,77
5	221,53
6	305,617

Nota. Elaboración propia

5.3.1.4 Áreas tributarias de drenaje de las cuencas. Se realiza el cálculo de las áreas mediante el software de Google Earth, como se observa en la Figura 109

Tabla 16

Cálculo de intensidad

Cuencas	Áreas de las cuencas (Ha)
1	1,37
2	3,59
3	6,1
4	5,1
5	1,96
6	1,22
Área total de drenaje	19,34

Nota. Elaboración propia

5.2.1.5 Caudal estimado de las cuencas naturales de la urbanización Villa-Carolina

Tabla 17

Cálculo de caudal

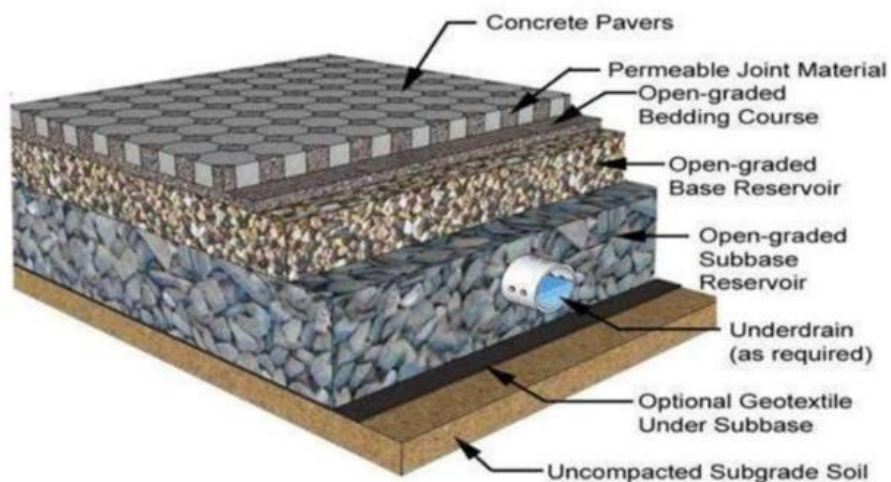
Cuencas	Intensidad (mm/hr)	Áreas de las cuencas (Ha)	Coef. De Escorrentía	Caudal Método Racional (lts/s)
1	305,053	1,37	0,3	348,547
2	247,401	3,59	0,3	740,732
3	175,408	6,1	0,3	892,369
4	239,77	5,1	0,3	1019,837
5	221,53	1,96	0,3	362,122
6	305,617	1,22	0,3	310,959
		19,34		3674,566

Nota. Elaboración propia

Para el respectivo diseño de pavimentos permeables se deben considerar varios estudios entre los cuales se encuentra estudio de suelos, estudios hidrológicos, entre otros, aspectos que deben contemplarse a profundidad con el fin de obtener los diseños propicios que permitan diseñar una adecuada estructura de pavimento, sin embargo, se proporciona en la Figura 112, un prototipo del tipo de pavimento permeable que se puede construir.

Figura 112

Pavimento permeable sugerido



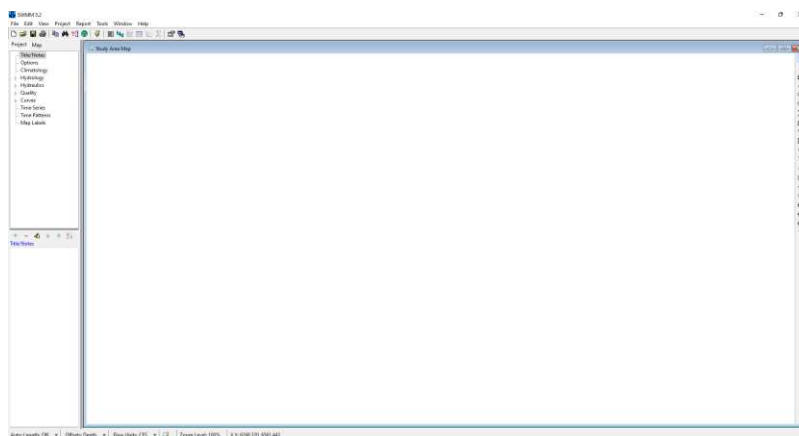
Nota. Estructura de pavimento permeable sugerido para la urbanización Carolina, (Castro, et al, 2008)

Al ser una monografía de carácter compilatorio, existen delimitaciones al momento del realizar un análisis hidrológico en condiciones, lo que lleva a realizar cálculos estimativos por medio del método racional, se recomienda realizar un estudio hidrológico y una modelación a fondo para así conseguir datos más cercanos a la realidad.

5.4 Guía para realizar la modelación hidráulica de una cubierta verde y pavimento permeable

Los métodos matemáticos sugieren soluciones con modelos matemáticos, lo que posibilita simplificaciones importantes, que a su vez causan efectos que deben ser aforados mediante ensayos experimentales, a través de modelos físicos a escala reducida. En hidráulica, un modelo corresponde a un sistema que simula un elemento real denominado prototipo, mediante la entrada de información se procesa y se presenta adecuada para emplearse en el diseño y operación de obras de ingeniería. (Jimenez & Joya, 2015)

Permitiendo así la posibilidad de poder cuantificar el impacto que tendrían los SUDS en el punto de estudio por medio de modelos dinámicos de simulación que permiten conocer la cantidad y calidad del agua que es evacuada. Existiendo una gran cantidad de software que permiten hacer este tipo de simulaciones, es de destacar él EPA-SWMM, como se observa en la Figura 113 siendo un software libre con un algoritmo de cálculo muy potente, permitiendo generar análisis hidráulicos en periodos cortos de tiempo.

Figura 113*Interfaz del software EPA-SWMM*

Nota. Figura extraída de (Jimenez & Joya, 2015)

Para realizar una simulación del área de estudio es necesario tener información de la red de alcantarillado, como condiciones y especificaciones. (Jimenez & Joya, 2015)

- Diámetro de tuberías
- Longitud de tuberías
- Altura de tuberías
- Ubicación de tuberías
- Altura de pozos
- Vertimiento de la red

El procedimiento de una simulación sería de la siguiente manera (Jimenez & Joya, 2015):

- Modelación de la red de alcantarillado pluvial o combinado existente.
- Modelación de los SUDS

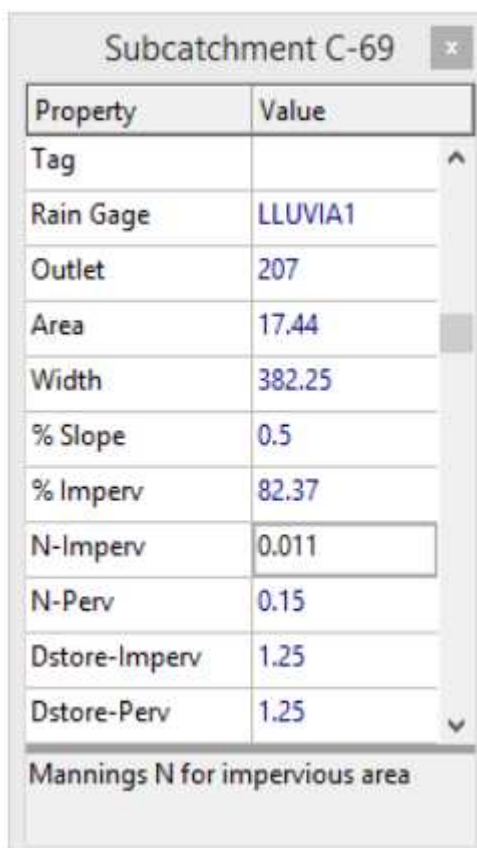
Modelación de la red de alcantarillado pluvial o combinado existente.

1. Trazado de las subcuencas (teniendo en cuenta la red de alcantarillado).
2. Ingresar los datos correspondientes a cada subcuenca de la zona de estudio del alcantarillado como:
 - a. Pluviómetro
 - b. Punto de descarga
 - c. Área de la cuenca
 - d. Ancho de la cuenca
 - e. Pendiente
 - f. Porcentaje de impermeabilidad
 - g. Número de impermeabilidad
 - h. Número de permeabilidad
 - i. Valores típicos de almacenamiento en depresión
 - j. Flujo entre sub áreas
 - k. Porcentaje de flujo
 - l. Infiltración

Se observa los parámetros de las subcuencas se puede ver en la figura 114

Figura 114

Parámetros de la sub-cuenca



Property	Value
Tag	
Rain Gage	LLUVIA1
Outlet	207
Area	17.44
Width	382.25
% Slope	0.5
% Imperv	82.37
N-Imperv	0.011
N-Perv	0.15
Dstore-Imperv	1.25
Dstore-Perv	1.25

Mannings N for impervious area

Nota. Figura extraída de (Jimenez & Joya, 2015)

5.4.1 Modelación de los SUDS (Tipo Cubierta verde)

Para la realización de las modelaciones de estos SUDS tiene el siguiente procedimiento. (Jimenez & Joya, 2015)

1. Selección el LID-Cubierta verde
2. Ingresar los valores correspondientes para las cubiertas verdes (ver figura 7)
 - a. Características de la superficie
 - b. Características del suelo
 - c. Características de la base drenante
3. Asignación de los LID a la cuenca de estudio teniendo en cuenta los siguientes parámetros que se observan en la figura 113.
 - a. Área de cada unidad
 - b. Cantidad de unidades para la cuenca
 - c. Ancho de la superficie por unidad
 - d. El porcentaje de saturación inicial
 - e. El porcentaje del área impermeable tratada

Figura 115*Asignación de LID*

Surface	Soil	Drainage Mat
Berm Height (in. or mm)	50	
Vegetation Volume Fraction	0.1	
Surface Roughness (Mannings n)	0.24	
Surface Slope (percent)	0	

Surface	Soil	Drainage Mat
Thickness (in. or mm)	120	
Porosity (volume fraction)	0.453	
Field Capacity (volume fraction)	0.19	
Wilting Point (volume fraction)	0.085	
Conductivity (in/hr or mm/hr)	10.92	
Conductivity Slope	10.0	
Suction Head (in. or mm)	110	

Surface	Soil	Drainage Mat
Thickness (in. or mm)	50	
Void Fraction	0.5	
Roughness (Mannings n)	0.15	

Nota. Figura extraída de (Jimenez & Joya, 2015)**Figura 116***Asignación de LID Cubierta Verde*

LID Usage Editor

LID Control Name: cubiertaverde

LID Occupies Full Subcatchment

Area of Each Unit (sq ft or sq m): 340

Number of Units: 257

% of Subcatchment Occupied: 50.1

Surface Width per Unit (ft or m): 19

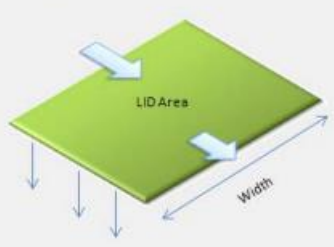
% Initially Saturated: 20

% of Impervious Area Treated: 0

Return all Outflow to Pervious Area

Detailed Report File (Optional):

OK Cancel Help


Nota. Figura extraída de (Jimenez & Joya, 2015)

5.4.2 Modelación de los SUDS (Tipo Pavimento permeable)

Para la realización de las modelaciones de estos SUDS tiene el siguiente procedimiento, (Jimenez & Joya, 2015)

1. Selección LID pavimento permeable
2. Ingresar las características del pavimento permeable tales como (Ver figura 9)
 - a. Superficie
 - b. Pavimento
 - c. Almacenamiento
 - d. Drenaje
3. Asignación de los LID a la cuenca de estudio teniendo en cuenta los siguientes parámetros Figura 114
 - a. Área de cada unidad
 - b. Cantidad de unidades para la cuenca
 - c. Ancho de la superficie por unidad
 - d. El porcentaje de saturación inicial
 - e. El porcentaje del área impermeable tratada

Figura 117*Asignación de LID*

The figure displays four panels of LID parameter settings:

- Surface Panel:**
 - Berm Height (in. or mm): 200
 - Vegetation Volume Fraction: 0.0
 - Surface Roughness (Mannings n): 0.011
 - Surface Slope (percent): 2.0
- Surface Panel (continued):**
 - Thickness (in. or mm): 150
 - Void Ratio (Voids / Solids): 0.18
 - Impervious Surface Fraction: 0
 - Permeability (in/hr or mm/hr): 73.69
 - Clogging Factor: 5.2
- Storage Panel:**
 - Thickness (in. or mm): 200
 - Void Ratio (Voids / Solids): 0.6
 - Seepage Rate (in/hr or mm/hr): 100
 - Clogging Factor: 0
- Underdrain Panel:**
 - Flow Coefficient*: 0
 - Flow Exponent: 0.5
 - Offset Height (in. or mm): 6

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

Nota. Figura extraída de (Jimenez & Joya, 2015)**Figura 118***Asignación de Pavimento Permeable*

The screenshot shows the LID Usage Editor dialog box with the following settings:

- LID Control Name: pavdrenante
- LID Occupies Full Subcatchment
- Area of Each Unit (sq ft or sq m): 350.19
- Number of Units: 32
- % of Subcatchment Occupied: 6.426
- Surface Width per Unit (ft or m): 7
- % Initially Saturated: 0
- % of Impervious Area Treated: 0
- Return all Outflow to Pervious Area

The dialog also includes a 3D diagram of a permeable pavement unit with arrows indicating flow direction and a field for a Detailed Report File (Optional).

Nota. Figura extraída de (Jimenez & Joya, 2015)

5.5 Ventajas y Desventajas de cada uno de los SUDS

En este aparte se realiza un resumen de las ventajas y desventajas de cada uno de los SUDS con su respectiva aplicación y mantenimiento.

Tabla 18

Superficies permeables

Superficies permeables	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Se adaptan bien al entorno • Bajo costos para el mantenimiento • Evita que se produzca estancamiento en la capa de rodadura • Reduce considerablemente la cantidad y la velocidad del agua de escorrentía de la superficie 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede crecer maleza si tiene un mantenimiento insuficiente • Mal funcionamiento cuando el agua escorrentía tiene un gran porcentaje de sedimentos
Zonas donde pueden ser aplicados	Mantenimiento
<ul style="list-style-type: none"> • Residenciales • Comerciales • Industriales 	<ul style="list-style-type: none"> • Constantes barridas de la superficie • Eliminar obstáculos que se encuentren la superficie

Nota. Extraído de (Yepes, 2011)

Tabla 19*Pozo de infiltración*

Pozo de Infiltración	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Una fácil construcción • Se adapta fácil al lugar 	<ul style="list-style-type: none"> • No es recomendado aplicarlo en suelos que mal drenaje • Requiere estudios in situ, para el cálculo de tasas de infiltración • No deben construirse cerca de cimentaciones • Puede llegar a contaminar acuíferos cercanos • Perdida del rendimiento en periodos altos de retorno
Zonas donde pueden ser aplicados	Mantenimiento
<ul style="list-style-type: none"> • Residenciales • Comerciales • Industriales 	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminar escombros cercanos

Nota. Extraído de (Yepes, 2011)

Tabla 20*Zanjas de Infiltración*

Zanjas de Infiltración	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Se pueden utilizar en carreteras • Reduce la infiltración del agua almacenada 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuencas pequeñas • Costos altos para el mantenimiento del filtro
Zonas donde pueden ser aplicados	Mantenimiento
<ul style="list-style-type: none"> • Residenciales • Comerciales • Industriales 	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminar escombros cercanos • Limpieza del material drenante

Nota. Extraído de (Yepes, 2011)

Tabla 21*Depósitos de infiltración*

Depósitos de Infiltración	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Es óptimo en la eliminación de elementos contaminantes • Fácil construcción • Costos factibles 	<ul style="list-style-type: none"> • Requieren un terreno amplio y plano
Zonas donde pueden ser aplicados	Mantenimiento
<ul style="list-style-type: none"> • Residenciales • Comerciales • Industriales 	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminar escombros cercanos • Limpieza del material drenante • Mantenimiento de la vegetación

Nota. Extraído de (Yepes, 2011)

Tabla 22*Cubiertas verdes*

Cubiertas Verdes	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Son muy adaptables a la zona • Protegen a las edificaciones en términos climáticos • Beneficios ecológicos • Embellecen las edificaciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Altos costos • No son apropiados para techos con grandes pendientes • La vegetación requiere mantenimiento
Zonas donde pueden ser aplicados	Mantenimiento
<ul style="list-style-type: none"> • Residenciales • Comerciales • Industriales 	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminar la basura • Reemplazo de la vegetación

Nota. Extraído de (Yepes, 2011)

Tabla 23*Cunetas verdes*

Cunetas Verdes	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Bajos costos • Mantenimientos muy sencillos 	<ul style="list-style-type: none"> • No es adecuado su uso en terreno escarpado • Riesgo en obstrucción del sistema de drenaje
Zonas donde pueden ser aplicados	Mantenimiento
<ul style="list-style-type: none"> • Residenciales • Comerciales • Industriales 	<ul style="list-style-type: none"> • Remover escombros • Mantenimiento adecuado de la vegetación • Limpieza en la entrada y sumideros cercanos

Nota. Extraído de (Yepes, 2011)

Tabla 24*Franjas filtrantes*

Franjas filtrantes	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Pueden ser usadas en grandes áreas impermeables • Fácil construcción y bajos costos 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesita grandes áreas • No es recomendada cuando exista un riesgo de contaminación de acuíferos cercanos
Zonas donde pueden ser aplicados	Mantenimiento
<ul style="list-style-type: none"> • Residenciales • Comerciales • Industriales 	<ul style="list-style-type: none"> • Remover escombros

Nota. Extraído de (Yepes, 2011)

Tabla 25*Depósitos de detención*

Depósitos de detención	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Fácil diseño y construcción • Mantenimientos sencillos • Pueden usar en terrenos donde exista agua subterránea vulnerable 	<ul style="list-style-type: none"> • Poca reducción del volumen de escorrentía
Zonas donde pueden ser aplicados	Mantenimiento
<ul style="list-style-type: none"> • Residenciales • Comerciales • Industriales 	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de la vegetación • Eliminación de basura • Limpieza constante

Nota. Extraído de (Yepes, 2011)

Tabla 26*Estanque de retención*

Estanque de retención	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Embellecen la zona • Buena capacidad en la eliminación de contaminantes urbanos 	<ul style="list-style-type: none"> • Pueden presentarse problemas en zonas con altas pendientes • Focos de infección
Zonas donde pueden ser aplicados	Mantenimiento
<ul style="list-style-type: none"> • Residenciales • Comerciales • Industriales 	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de la vegetación • Eliminación de basura • Limpieza constante

Nota. Extraído de (Yepes, 2011)

Tabla 27*Humedales artificiales*

Humedales artificiales	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Embellecen la zona • Buena capacidad en la eliminación de contaminantes urbanos 	<ul style="list-style-type: none"> • Pueden presentarse problemas en zonas con altas pendientes • Focos de infección • Requieren áreas extensas
Zonas donde pueden ser aplicados	Mantenimiento
<ul style="list-style-type: none"> • Residenciales • Comerciales • Industriales 	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de la vegetación • Eliminación de basura • Limpieza constante

Nota. Extraído de (Yepes, 2011)

5.6 Criterios de selección SUDS

Según (Rodríguez Yepes (2011), como se citó en CIRIA – The SUDS Manual C697, 2007) existen unos criterios para la selección de los SUDS, que se basan en lo siguiente:

- Características del sitio (Ver tabla 28)
- Características del uso del suelo (Ver tabla 29)

Tabla 28

Características del sitio

Características del sitio	Características requeridas para el sistema de drenaje	SUDS aptos para la zona	
Suelos	El comportamiento de los SUDS depende de los suelos subyacentes, en suelos permeables mejoran el funcionamiento de ciertos factores, pero afectarán otros, como la retención.	Para suelos impermeables es recomendado usar:	Para suelos permeables es recomendado usar:
		<ul style="list-style-type: none"> • Humedales. • Zonas de biorretención. • Cunetas verdes. • Cubiertas verdes. • Pavimentos permeables. 	<ul style="list-style-type: none"> • Humedales. • Zonas de biorretención. • Cunetas verdes. • Cubiertas verdes. • Pavimentos permeables.

Aguas subterráneas	Se requiere dispositivos de infiltración a un 1 metro de profundidad para garantizar el funcionamiento durante los periodos de lluvias excepcionales.	Áreas menores a 2 ha es recomendado usar: <ul style="list-style-type: none"> • Humedales. • Zonas de biorretención. • Cunetas verdes. • Cubiertas verdes. • Pavimentos permeables. 	Para áreas mayores a de 2 ha es recomendado usar <ul style="list-style-type: none"> • Humedales. • Cunetas verdes. • Pavimentos permeables.
Pendiente del terreno	Las pendientes más pronunciadas pueden generar un mal funcionamiento de los SUDS. Las cunetas son las que más se acomodan a terrenos con pendientes altas.	Para pendientes entre el 0 % y 5 % se recomienda usar: <ul style="list-style-type: none"> • Humedales. • Zonas de biorretención. • Cunetas verdes. • Cubiertas verdes. • Pavimentos permeables. 	Para pendientes mayores al 5 % se recomienda usar: <ul style="list-style-type: none"> • Cubiertas verdes. • Lagunas de retención.
Disponibilidad de espacio	Las diferencias de elevación entre la entrada y salida pueden permitir que ciertos SUDS puedan funcionar por gravedad	Cuando se tiene una disponibilidad baja de espacio se recomienda usar: <ul style="list-style-type: none"> • Cubiertas verdes. • Pavimentos permeables. 	Cuando se tiene una disponibilidad alta de espacio se recomienda usar: <ul style="list-style-type: none"> • Humedales. • Zonas de biorretención. • Cunetas verdes. • Cubiertas verdes. • Pavimentos permeables

	Algunos SUDS requieren más espacio de suelos que otros.	Diferencia de elevación entre 0 – 1 metros se recomienda usar:	Diferencia de elevación entre 1 – 2 metros se recomienda usar:
Diferencia de elevación		<ul style="list-style-type: none">• Humedales.• Zonas de biorretención.• Cunetas verdes.• Cubiertas verdes.• Pavimentos permeables	<ul style="list-style-type: none">• Humedales.• Zonas de biorretención.• Cubiertas verdes.• Pavimentos permeables.

Nota. Datos tomados de (Rodríguez Yepes, 2011)

Tabla 29

Características del uso del suelo

Aplicación de los SUDS según condiciones existentes		
Uso del suelo	Características requeridas para el sistema de drenaje	SUDS aptos para la zona
Áreas con baja densidad de urbanización	Son lugares con niveles bajos en contaminación, siempre que estos tengan gran cantidad de zona verde, habrá facilidad de disminuir las cargas de los sedimentos en el lugar.	<ul style="list-style-type: none"> • Humedales de poca profundidad. • Zonas de biorretención. • Cunetas verdes. • Cubiertas verdes. • Pavimentos permeables.
Residencial	El nivel de contaminación en estos lugares es muy bajo, lo que hace que requerían un único tratamiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Humedales de poca profundidad. • Zonas de biorretención. • Cunetas verdes. • Cubiertas verdes. • Pavimentos permeables.
Carreteras	<p>Los criterios de diseño para sistemas de drenaje de carreteras, se puede basar en fase de proyecto esto dependerá de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La calidad del agua. • Las condiciones de circulación (el flujo de tráfico y los tipos de vehículos). 	<ul style="list-style-type: none"> • Humedales de poca profundidad. • Zonas de infiltración. • Cunetas verdes.

Zonas comerciales	Estas zonas deben ser tratadas como zonas industriales, lo que hace que el agua requiera un doble tratamiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Humedales de poca profundidad. • Zonas de biorretención. • Cunetas verdes. • Cubiertas verdes. • Pavimentos permeables.
Lugares en construcción	Una estación temporal de pretratamiento es la ideal para este tipo de lugares.	<ul style="list-style-type: none"> • Humedales de poca profundidad. • Cunetas verdes.
Lugares contaminados	Cuando se tiene una zona contaminada la mejor opción es la reurbanización de esta, haciendo que el diseño de los SUDS sea determinado por la condición del terreno.	<ul style="list-style-type: none"> • Humedales de poca profundidad. • Zonas de biorretención. • Cunetas verdes. • Cubiertas verdes. • Pavimentos permeables.

Áreas industriales	Suponen una mayor amenaza para el ambiente, donde las aguas de escorrentía pueden ser altamente contaminadas requiriendo por lo menos 3 fases que le den tratamiento a estas aguas.	<ul style="list-style-type: none"> • Humedales de poca profundidad. • Zonas de biorretención. • Cunetas verdes. • Cubiertas verdes. • Pavimentos permeables.
--------------------	---	---

Nota: Tomado de (Rodríguez Yepes, 2011)

Conclusiones

Cabe destacar, que dar el paso a implementar este tipo de sistemas de drenajes sostenibles urbanos requiere precisamente de mayor inclusión dentro de los estudios hidráulicos proyectados para su uso, creando conciencia de que el agua superficial no solamente debe encausar a los cuerpos de agua cercanos, sino dejarlos cumplir el ciclo del agua, permitiendo de que existan un mayor número de zonas verdes que disminuyan la erosión del suelo. Y a su vez, los sistemas de recolección de aguas lluvias forman parte de la red de abastecimiento de agua, disminuyendo la cantidad de agua potable que se consume, creando conciencia del uso racional del preciado líquido y a su vez contribuyendo con la preservación de los cauces naturales.

Como conclusión se puede establecer, que dar el paso a implementar este tipo de sistemas de drenajes sostenibles urbanos requiere precisamente de mayor inclusión dentro de los estudios hidráulicos proyectados para las urbanizaciones, creando conciencia de que el agua superficial no solamente debe encausar a los cuerpos de agua cercanos, sino dejarlos cumplir el ciclo del agua, permitiendo de que existan un mayor número de zonas verdes que disminuyan la erosión del suelo. Y a su vez, los sistemas de recolección de aguas lluvias forman parte de la red de abastecimiento de agua, disminuyendo la cantidad de agua potable que se consume, creando conciencia del uso racional del preciado líquido y a su vez contribuyendo con la preservación de los cauces naturales.

Cabe destacar que este tipo de SUDS se ha empleado en gran parte de Europa y como ley en Francia se tiene la Orden de 21 de agosto de 2008 relativa a la recuperación de las aguas pluviales y su aprovechamiento en el interior y exterior de los edificios, la cual

establece las condiciones para el aprovechamiento de las aguas pluviales recogidas aguas debajo de los tejados inaccesibles, en los edificios y sus dependencias, así como las condiciones para la instalación, mantenimiento y vigilancia de los equipos necesarios para su recuperación y aprovechamiento. (RÉPUBLIQUE FRANCAISE, 2008)

Siendo este tipo de reglamentaciones un gran avance en la implementación de los SUDS, normatividad que debe adaptarse al entorno colombiano con base a las diversas condiciones de cada uno de los territorios, con el fin de focalizar parámetros de diseño, especificaciones técnicas de construcción, que logren mitigar las situaciones de riesgo que colocan en peligro la vida e integridad de los colombianos al no poseer un adecuado manejo y disposición final de las aguas esorrentías.

Referencias

- Abellan A. (2015). Drenaje Urbano Sostenible [En línea]. <http://drenajeurbanosostenible.org/>
- Bautista, C.A. & Sanguino, A.F. (2020) Propuesta de diseño de un sistema urbano de drenaje sostenible para reducir los niveles de inundación en la intersección entre la avenida 12e y la calle 2n en la ciudad de Cúcuta Norte de Santander. [Tesis de Pregrado, Universidad Francisco de Paula Santander]
<https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/4550>
- Castro, D., Rodríguez, J., Ballester, F., & Hernández, J. (2005). SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) Scielo.
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442005000500004
- Castro F. D., Rodriguez J., Rodriguez H. J., & Gómez, U. E. (2008). “Sistemas Urbanos de drenaje sostenible. SUDS”. Grupo de investigación de tecnología de la construcción GITECO, Universidad de Cantabria
- Cahill, T. Adams, M., & Marm, C. (2003) Porous Asphalt: The Right Choice for Porous Pavements. Hot Mix Asphalt Technology.
- Centro de Investigación en Ingeniería Ambiental (CIIA) (2017) Investigación de las tipologías y 7o tecnologías de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) que más se adapten a la ciudad de Bogotá, D.C.
https://issuu.com/sda2015/docs/gu_a_t_cnica_de_dise_o_y_construcci
- Codola, P. (2015) SUDS: Metodología de cálculo y experiencias en áreas urbanas. [Tesis de posgrado, Universidad Escola de Camins]
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/78104/SUDS+Metodolog%C3%A0Da+de+c%C3%A0lculo+y+experiencias+urbanas.pdf?sequence=1>
- Fuentes, A.J. (2015) Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles. Una Alternativa de Futuro. . [Tesis de Pregrado, Universidad De Sevilla]
<https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/35012/fuentes%20roldan%20Antonio.pdf?sequence=1>
- Gutiérrez, D.P. & Ariza, K.J. (2020) Diseño de un tren de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para la Universidad Santo Tomás, Campus Floridablanca. [Tesis de Pregrado, Universidad Santo Tomás]
<https://repository.usta.edu.co/jspui/bitstream/11634/31175/15/2020GutierrezDaniela.pdf>
- Jiménez, AF & Joya, JL, (2015) Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) como gestión integral en la regulación y control de aguas lluvias; caso de estudio sector en la ciudad de Bogotá [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]

- Lima, M., & Quispe, L.E. (2018) “EVACUACIÓN DE AGUAS PLUVIALES APLICANDO TÉCNICAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE EN LA LOCALIDAD DE ALTO LIBERTAD” [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional De San Agustín]
<https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2733>
- Martínez, G. (2013) “*SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE “SUDS” COMO ALTERNATIVA DE CONTROL Y REGULACIÓN DE LAS AGUAS LLUVIAS EN LA CIUDAD DE PALMIRA*” [Tesis de Pregrado, Universidad Militar Nueva Granada]
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/11075/INFORME%20FINAL%20SUDS-GEINNER%20MARTINEZ%20C-23%2001%202014.pdf;jsessionid=7772743AA022A7E30849A1CEFB434AFC?sequence=1>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (8 de junio del 2017) Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico. – RAS
- Muñoz, J & Acuña, Z. (2015). *SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE “SUDS” COMO ALTERNATIVA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE INUNDACIONES EN NECHÍ UN MUNICIPIO DE LA MOJANA*. [Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Colombia]
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2394/1/TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Perales S. & Domenech A. (2008). “Los sistemas Urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia”. Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad politécnica de Valencia.
- Ramos H.M, Teyssier C., Samora I., Schleiss A.J. (2013). “Energy Recovery in SUDS towards Smart wáter grids: A case study”. Energy Policy 62, 463-472.
- RÉPUBLIQUE FRANCAISE (2008) Arrêté du 21 août 2008 relatif à la récupération des eaux de pluie et à leur usage à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments.
<https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000019386409/>
- Rojas, M.M. (2017) “ANÁLISIS HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE DRENAJE URBANO PARA EL CONTROL DE INUNDACIONES, APLICANDO MEDIDAS SOSTENIBLES. SUBCUENCA DEL COLECTOR CAICEDO, CIUDAD DE QUITO” [Tesis de Pregrado, Universidad Central del Ecuador]
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/9607>
- Rodríguez, L.F. (2011) Revisión bibliográfica de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles. [Tesis de Pregrado, Universidad de los Andes]
<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/14726/u470664.pdf?sequence=1>
- Srur, F. R. (2020) “Análisis de la respuesta hidrológica ante un Sistema de Drenaje Urbano Sostenible en la ciudad de Santa Rosa, La Pampa.” [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional De La Pampa]

https://repo.unlpam.edu.ar/bitstream/handle/unlpam/7381/xtg-sruana020_c.pdf?sequence=1&isAllowed=y

State of Delaware (2014) BMP Standards and Specifications (Draft). Delaware.

Tarazona, L., Bonilla, C, & Rojas, P. (2020). Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS): una alternativa integral para el manejo de las aguas lluvias. *MUNDO FESC*. Volumen 11 (140-155).

<https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/download/628/606/>

Trapote, A., & Fernández, H. (2016) Memoria del proyecto: Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible. Instituto Universitario del Agua y de las Ciencias Ambientales. [Tesis de posgrado, Universidad Alicante]

<https://agroambient.gva.es/documents/163005665/163975683/AGRICULTURA8-16I+memoria/1d8cb413-3eb3-4f5e-a247-e4466a59b21c>

Villon, M. (2007). Hidráulica de Canales. Perú: Villon

William F & Kelly A. (2008). “Permeable Pavement: Research Update and Design Implications”. Urban Waterways. The Division of Water Quality, North Carolina Department of Environment and Natural Resources (NCDENR).

Xue, Z. (2020) Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible. [Tesis de posgrado, Universidad de Alcalá y Universidad Rey Juan Carlos]

https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/44038/TFM_Xue_Zeyu_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Yepes, LF (2011), Revisión bibliográfica de los sistemas urbanos de drenaje sostenible [Tesis de pregrado, Universidad de los Andes]. U470664