

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**



**TESIS**

**“IDENTIFICACIÓN Y REDUCCIÓN DE ÁREAS INUNDABLES MEDIANTE  
UN SISTEMA URBANO DE DRENAJE SOSTENIBLE PARA LA CIUDAD DE  
SAN MARCOS”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO HIDRÁULICO**

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

**VELÁSQUEZ ABANTO, Erick Alexander**

ASESOR:

**Dr. Ing. HUAMÁN VIDAURRE, José Francisco**

**CAJAMARCA - PERÚ**

**2023**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por brindarme salud a lo largo de mi formación profesional, a mi familia en especial a mis padres Velásquez Abanto Juan y Abanto Goicochea Lilia, por el apoyo incondicional que me brindan a diario. También, mi sincero agradecimiento al ingeniero Huamán Vidaurre José Francisco, por su tiempo, apoyo y guía para lograr culminar esta investigación.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, quienes con su apoyo, esfuerzo y sacrificio y sobre todo por confiar en mí para lograr cada objetivo trazado. También, agradezco a mis hermanos por brindarme todo su apoyo.

*Erick Alexander Velásquez Abanto.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTO .....	i
DEDICATORIA.....	ii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT .....	x
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	11
1.1.1. CONTEXTUALIZACIÓN .....	11
1.1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	11
1.1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	12
1.2. HIPÓTESIS.....	12
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN .....	12
1.3.1. JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA.....	12
1.3.2. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA – PRÁCTICA.....	13
1.3.3. JUSTIFICACIÓN INSTITUCIONAL Y PERSONAL.....	13
1.4. ALCANCES O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
1.5. LIMITACIONES .....	13
1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	14
1.6.1. OBJETIVO GENERAL .....	14
1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	15
2.1. Antecedentes teóricos .....	15
2.1.1. A nivel Internacional .....	15
2.1.2. A nivel Nacional.....	15
2.1.3. A nivel Local .....	15
2.2. Bases Teóricas .....	16
2.2.1. Aspectos Técnicos de la Zona de Estudio .....	16
2.2.2. Área de drenaje.....	17
2.2.3. Topografía .....	17
2.2.4. Hidrología.....	17
2.2.5. Inundaciones Pluviales .....	36
2.2.6. Daños por inundaciones.....	37



2.2.7.	Sistema de Drenaje Urbano .....	44
2.2.8.	Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible .....	47
2.2.9.	Dimensionamiento.....	55
2.2.10.	Modelamiento Hidráulico.....	64
2.3.	Definición de términos básicos .....	79
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS .....		81
3.1.	Ubicación de la zona de estudio.....	81
3.1.1.	Ubicación geográfica.....	81
3.1.2.	Ubicación política.....	82
3.1.3.	Ubicación temporal de la investigación.....	83
3.2.	Materiales y equipos .....	83
3.2.1.	Materiales .....	83
3.2.2.	Equipos .....	83
3.3.	Metodología .....	84
3.4.	Procedimiento .....	85
3.4.1.	Recopilación y procesamiento de información .....	85
3.4.2.	Tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados .....	96
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		97
4.1.	Sistema de drenaje pluvial. ....	97
4.2.	Daños materiales ocasionados .....	99
4.3.	Capacidad hidráulica de los elementos de drenaje .....	100
4.4.	Modelamiento numérico .....	102
4.4.1.	Escenario 1 .....	102
4.4.2.	Escenario 2 .....	126
4.4.3.	Comparación de resultados entre los dos escenarios modelados .....	142
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		150
5.1.	CONCLUSIONES .....	150
5.2.	RECOMENDACIONES.....	151
REFERENCIAS .....		152
ANEXOS .....		157

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Aumentos y reducciones en los parámetros hidrológicos en una cuenca urbana. .....	19
<b>Tabla 2</b> Valores críticos para la prueba Kolmogorov – Smirnov .....	28
<b>Tabla 3</b> Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad 11, $la = 0.2S$ ) .....	33
<b>Tabla 4</b> Condiciones Hidrológicas .....	34
<b>Tabla 5</b> Daños materiales. ....	37
<b>Tabla 6</b> Daño a la infraestructura de salud. ....	38
<b>Tabla 7</b> Daño a la Infraestructura Educativa: .....	39
<b>Tabla 8</b> Daño a la infraestructura de transporte: .....	40
<b>Tabla 9</b> Daño a la infraestructura de transporte: .....	40
<b>Tabla 10</b> Daño a la infraestructura de transporte: .....	41
<b>Tabla 11</b> Daño a los locales públicos: .....	42
<b>Tabla 12</b> Daño a los Servicios Básicos Indispensables: .....	43
<b>Tabla 13</b> Daño a otros Servicios Básicos. ....	43
<b>Tabla 14</b> Funciones principales (P) y secundaria (S) de cada tipo de SUDS. ....	49
<b>Tabla 15</b> Variables hidrológicas necesarias para el dimensionamiento de una cuenta vegetada. ....	57
<b>Tabla 16</b> Parámetros asociados a la pendiente longitudinal de la cuneta. ....	60
<b>Tabla 17</b> Combinación de capas para cada tipología de SUDS en SWMM. ....	74
<b>Tabla 18</b> Ubicación geográfica de la zona de estudio. ....	81
<b>Tabla 19</b> Información necesaria para el desarrollo de la investigación. ....	86
<b>Tabla 20</b> Prueba todas las funciones de distribución de probabilidades. ....	91
<b>Tabla 21</b> Precipitación obtenida para diferentes periodos de retorno. ....	92
<b>Tabla 22</b> Precipitación para diferentes duraciones. ....	93
<b>Tabla 23</b> Construcción del hietograma. ....	94
<b>Tabla 24</b> Dimensiones del drenaje y calles aportantes con caudal a las calles principales. ....	98
<b>Tabla 25</b> Estimación de daños materiales (A las viviendas). ....	99
<b>Tabla 26</b> Daños a la infraestructura de servicios básicos. ....	100
<b>Tabla 27</b> Determinación de la capacidad hidráulica del drenaje de la zona de estudio. .....	100
<b>Tabla 28</b> Clases texturales de suelos, según el USDA. ....	127
<b>Tabla 29</b> Propiedades de la capa suelo para diferentes tipos de suelo. ....	130
<b>Tabla 30</b> Definiciones de grupos hidrológicos de suelos del NRCS. ....	130
<b>Tabla 31</b> Propiedades de los parámetros de superficie de la cuneta. ....	131
<b>Tabla 32</b> Propiedades de las capas de tanques de almacenamiento. ....	132
<b>Tabla 33</b> .....	143
<b>Tabla 34</b> Resumen de los resultados de escorrentía para los 2 escenarios planteados. .....	145
<b>Tabla 35</b> Comparación de la capacidad hidráulica del sistema de drenaje, con la capacidad hidráulica que necesita el sistema obtenido de SWMM. ....	147

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Ciclo Hidrológico.....	18
<b>Figura 2</b> Efecto de la urbanización sobre los hidrogramas.....	20
<b>Figura 3</b> Ejemplo Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia para lluvia máxima....	30
<b>Figura 4</b> Ejemplo Hietograma de Diseño. ....	35
<b>Figura 5</b> Tipos de daños por inundación. ....	37
<b>Figura 6</b> SUDS integrados en la ciudad. ....	46
<b>Figura 7</b> Los cuatro pilares en el diseño de los SUDS. ....	47
<b>Figura 8</b> Esquemas del funcionamiento de la cadena de gestión del agua. ....	48
<b>Figura 9</b> Esquema de una cuneta vegetada. ....	50
<b>Figura 10</b> Perfil esquemático de una cuneta verde. ....	51
<b>Figura 11</b> Ejemplos de tanques de almacenamiento de tipo superficial y subterráneo. 53	
<b>Figura 12</b> Esquema de un tanque de almacenamiento superficial.....	53
<b>Figura 13</b> Perfil sintético de un tanque subterráneo. ....	54
<b>Figura 14</b> Planta esquemática de una cuneta vegetada.....	58
<b>Figura 15</b> Perfil de una cuneta vegetada.....	58
<b>Figura 16</b> Corte de una cuneta vegetada con tubería perforada. ....	59
<b>Figura 17</b> Esquema de la altura acumulada requerida.....	64
<b>Figura 18</b> Esquema de la modelación de cada subcuenca.....	66
<b>Figura 19</b> Idealización de una subcuenca. ....	67
<b>Figura 20</b> Esquema de representación de las técnicas SUDS o LID. ....	71
<b>Figura 21</b> Ajuste de los parámetros de porcentaje de área impermeable y ancho después de ubicar un LID en una subcuenca. ....	72
<b>Figura 22</b> Esquema de la modelización de las cunetas vegetadas por parte de SWMM. .....	73
<b>Figura 23</b> Sistema conceptual de tanques de almacenamiento.....	74
<b>Figura 24</b> Ubicación geográfica de la zona de estudio.....	81
<b>Figura 25</b> Ubicación política de la zona de estudio.....	82
<b>Figura 26</b> Esquema del procedimiento para lograr los objetivos de la investigación. .	85
<b>Figura 27</b> Dimensiones para obtener la capacidad hidráulica de una cuneta. ....	88
<b>Figura 28</b> Análisis de Outliers.....	91
<b>Figura 29</b> Hietograma de diseño.....	95
<b>Figura 30</b> Sección típica de cuneta existentes en las calles.....	97
<b>Figura 31</b> Vertido de las aguas del Jr. Inclán al Jr. José Gálvez. ....	98
<b>Figura 32</b> Representación por colores la carga en el sistema y la inundación en los nodos en la zona es estudio (30 minutos después de haber iniciado el evento pluvial). .....	102
<b>Figura 33</b> Vista de perfil del sistema de drenaje de la calle Jr. José Gálvez (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia). ....	103
<b>Figura 34</b> Sección transversal de la cuadra 3 del Jr. José Gálvez (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).....	104
<b>Figura 35</b> Tirantes en la cuadra 4 del Jr. José Gálvez (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).....	105
<b>Figura 36</b> Sección transversal de la cuadra 4 del Jr. José Gálvez (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).....	106
<b>Figura 37</b> Perfil de la cuadra 5 del Jr. José Gálvez (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).....	107

<b>Figura 38</b> Sección transversal de la cuadra 5 del Jr. José Gálvez (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).....	107
<b>Figura 39</b> Perfil de la cuadra 6 del Jr. José Gálvez (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).....	108
<b>Figura 40</b> Sección de la cuadra 6 del Jr. José Gálvez con el tirante 30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia. ....	109
<b>Figura 41</b> Vista de perfil del sistema de drenaje de la calle Jr. Alfonso Ugarte cuadras 3 y 4 (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia). ....	110
<b>Figura 42</b> Perfil de la cuadra 3 del Jr. Alfonso Ugarte (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).....	111
<b>Figura 43</b> Perfil de la cuadra 3 del Jr. Alfonso Ugarte (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).....	111
<b>Figura 44</b> Vista de perfil del sistema de drenaje de la calle Jr. Inclán (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia). ....	112
<b>Figura 45</b> Perfil de la cuadra 3 del Jr. Inclán (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia). ....	113
<b>Figura 46</b> Sección de la cuadra 3 del Jr. Inclán (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia). ....	114
<b>Figura 47</b> Perfil de la cuadra 4 del Jr. Inclán (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia). ....	115
<b>Figura 48</b> Sección de la cuadra 4 del Jr. Inclán (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia). ....	115
<b>Figura 49</b> Vista de perfil del sistema de drenaje de la calle Jr. Adolfo Amorín Bueno (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia). ....	116
<b>Figura 50</b> Perfil de las cuadras 2 y 3 del Jr. Amorín Bueno (30 minutos de haber iniciado el evento de lluvia).....	117
<b>Figura 51</b> Vista de perfil del sistema de drenaje de la calle Jr. Bolognesi (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia). ....	118
<b>Figura 52</b> Sección de la cuadra 2 del Jr. Bolognesi (30 minutos de haber iniciado el evento de lluvia). ....	119
<b>Figura 53</b> Vista de perfil del sistema de drenaje de la calle Jr. Luna cuadra 4 (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia). ....	120
<b>Figura 54</b> Sección de la cuadra 4 del Jr. Luna (30 minutos de haber iniciado el evento de lluvia).....	121
<b>Figura 55</b> Vista de perfil del sistema de drenaje de la calle Jr. Miguel Grau cuadra 4(30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia). ....	122
<b>Figura 56</b> Sección de la cuadra 4 del Jr. Luna (30 minutos de haber iniciado el evento de lluvia).....	123
<b>Figura 57</b> Vista de perfil del sistema de drenaje de la calle Jr. Leoncio Prado (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia). ....	124
<b>Figura 58</b> Sección de la cuadra 4 del Jr. Luna (30 minutos de haber iniciado el evento de lluvia).....	125
<b>Figura 59</b> Tipo de suelo según su textura. ....	127
<b>Figura 60</b> Diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de las partículas, de acuerdo con el USDA.....	129

<b>Figura 61</b> Vista de perfil del sistema de drenaje de la calle Jr. José Gálvez al implementar cunetas vegetadas (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).....	134
<b>Figura 62</b> Sección de la cuadra 3 del Jr. Jase Gálvez (30 minutos de haber iniciado el evento de lluvia). .....	135
<b>Figura 63</b> Vista de perfil del sistema de drenaje de la calle Jr. Alfonso Ugarte al implementar cunetas vegetadas (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).....	136
<b>Figura 64</b> Sección de la cuadra 3 del Jr. Alfonso Ugarte (30 minutos de haber iniciado el evento de lluvia). .....	137
<b>Figura 65</b> Vista de perfil del sistema de drenaje de la calle Jr. Amorín Bueno al implementar cunetas vegetadas (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).....	138
<b>Figura 66</b> Sección de la cuadra 2 del Jr. Amorín Bueno (30 minutos de haber iniciado el evento de lluvia). .....	139
<b>Figura 67</b> Sección de la cuadra 3 del Jr. Amorín Bueno (30 minutos de haber iniciado el evento de lluvia). .....	140
<b>Figura 68</b> Hidrogramas de salida de la red de drenaje convencional para cada uno de los escenarios de análisis planteados. ....	142
<b>Figura 69</b> Diferencia de infiltración producida entre los escenarios 1 y 2 para cada una de las subcuencas que forman la cuenca de estudio. ....	144
<b>Figura 70</b> Diferencia en escorrentía entre el E1 y E2.....	145

**Palabras clave:**

*Drenaje Urbano*, sistema de infraestructura que se encarga de recolectar y transportar las aguas pluviales de una ciudad, evitando inundaciones y garantizando la salud pública.

*Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS)*, enfoques que buscan gestionar de manera eficiente y respetuosa con el medio ambiente el flujo de aguas pluviales en las ciudades.

*Inundaciones*, exceso de agua que se acumula en zonas urbanas debido insuficiente capacidad de los sistemas de drenaje.

*Cunetas vegetadas*, función de filtrar y absorber el agua de lluvia.

*Tanques de almacenamiento*, recolectan y retienen el agua de lluvia para su uso posterior.

*Escorrentía*, Flujo de agua que no puede ser absorbida por el suelo y fluye sobre la superficie generando corrientes y generalmente llega a los sistemas de drenaje.

### RESUMEN

En los últimos años las inundaciones pluviales han sido un problema que acecha a la ciudad de San Marcos, debido al rápido crecimiento urbano y con ello las áreas impermeables. Sin embargo, aparecieron nuevas técnicas y tendencias de modernización en el entorno del drenaje urbano; estas se basan en la reducción de la escorrentía en vez de recolectarla a través de procesos de infiltración y retención del agua pluvial. La presente investigación se centra en determinar la influencia de las técnicas de cunetas vegetadas y tanques de almacenamiento en la reducción de las áreas inundables de la zona de estudio mediante un modelamiento numérico en el software SWMM, es por ello que se planteó como objetivo identificar las áreas inundables de la Ciudad de San Marcos y reducirlas mediante un sistema urbano de drenaje sostenible; para ello se realizó el levantamiento topográfico para caracterizar y determinar la capacidad hidráulica de las estructura del sistema de drenaje, seguidamente se aplicó una encuesta para estimar los daños materiales ocasionados, además se realizó una entrevista a los pobladores para ver la conformidad de la técnica de tanques de almacenamiento en sus viviendas. Con los datos recolectados se procedió a modelar en el software SWMM con las condiciones actuales que presenta el sistema de drenaje pluvial, se identificó que las áreas afectadas por las inundaciones aproximadamente son de 71007.15 m<sup>2</sup> debido a la capacidad hidráulica insuficiente de las estructuras del sistema de drenaje pluvial; finalmente se implementó las técnicas SUDS planteadas de tanques de almacenamiento y cunetas vegetadas en el modelo SWMM y cálculo la reducción de áreas inundables. Concluyendo que al implementar las técnicas las áreas inundables se reducen en un 79.89%.

**Keywords:**

*Urban Drainage*, an infrastructure system that collects and transports stormwater in a city, preventing flooding and ensuring public health.

*Sustainable Urban Drainage System (SUDS)*, approaches that seek to efficiently and environmentally friendly manage the flow of stormwater in cities.

*Flooding*, excess water that accumulates in urban areas due to insufficient capacity of drainage systems.

*Vegetated gutters*, function to filter and absorb rainwater.

*Storage tanks*, collect and retain rainwater for later use.

*Runoff*, flow of water that cannot be absorbed by the soil and flows over the surface generating currents and generally reaches drainage systems.

**ABSTRACT**

In recent years, stormwater flooding has been a problem that has plagued the city of San Marcos, due to rapid urban growth and with it, impervious areas. However, new techniques and modernization trends appeared in the urban drainage environment; these are based on reducing runoff instead of collecting it through infiltration and stormwater retention processes. This research focuses on determining the influence of vegetated ditches and storage tanks techniques in the reduction of floodable areas in the study area through numerical modeling in SWMM software, which is why the objective was to identify the floodable areas of the city of San Marcos and reduce them through a sustainable urban drainage system; To this end, a topographic survey was carried out to characterize and determine the hydraulic capacity of the drainage system structure, followed by a survey to estimate the material damage caused, and an interview was conducted with the inhabitants to determine their conformity with the technique of storage tanks in their homes. With the data collected, we proceeded to model in the SWMM software with the current conditions of the storm drainage system, it was identified that the areas affected by flooding are approximately 71007.15 m<sup>2</sup> due to the insufficient hydraulic capacity of the storm drainage system structures; finally, the SUDS techniques of storage tanks and vegetated ditches were implemented in the SWMM model and the reduction of floodable areas was calculated. It was concluded that by implementing the techniques, floodable areas were reduced by 79.89%.

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1.1. CONTEXTUALIZACIÓN**

El drenaje pluvial de la ciudad de San Marcos presenta una desconexión de la planificación hidráulica con la urbanística en tal sentido se presenta problemas de cantidad, calidad y no se toma en cuenta la biodiversidad. Con respecto a la cantidad de agua, debido a que los enfoques del drenaje convencional están centrados en evacuar las aguas pluviales lo más rápido posible, de tal forma que no afecten a la vida cotidiana; este enfoque de diseño presenta problemas de inundación especialmente cuando no se tiene un análisis hidráulico y cuando ocurren eventos torrenciales, los elementos diseñados no tiene la capacidad suficiente para manejar esta escorrentía producida por las áreas impermeables. La calidad de agua en las escorrentías urbanas presenta un alto grado de contaminación debido a que arrastran hidrocarburos, sedimentos de la superficie de la ciudad, además, cuando no se tiene una buena planificación como en este caso de estudio las aguas pluviales entran al sistema de aguas residuales lo que contribuye un grave problema medioambiental. Por lo que la presente investigación busca brindar una alternativa de solución para mitigar estos problemas presentados en la zona de estudio.

#### **1.1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

El rápido crecimiento urbano de las últimas décadas ha derivado un aumento excesivo de las superficies impermeabilizadas sobre el suelo original, fenómeno que contribuye a interrumpir el ciclo natural del agua, hasta el punto de que en zonas de urbanización consolidada el 90% de las precipitaciones pueden transformarse en escorrentía superficial, incrementando los caudales punta debidos a la lluvia, incluso para precipitaciones de corta duración y baja intensidad. Este problema se va incrementado por la modificación en los patrones de las precipitaciones, tanto medias como extremas, asociadas al cambio climático (CONAMA, 2018).

Este crecimiento urbano asociado con el cambio climático se ve evidenciado en la ciudad de San Marcos que actualmente presenta problemas de inundaciones en las viviendas de las calles Jr. José Gálvez, Jr. Inclán, Jr. Alfonzo Ugarte, Jr. Miguel Grau, Jr. Bolognesi, Jr. Luna ocasionados por precipitaciones ocurridas en el periodo lluvioso entre los meses de noviembre a mayo de cada año y al actual drenaje que presenta. Una prueba de ello



es lo ocurrido el 16 de septiembre del 2021 a causa de una fuerte precipitación se produjo inundaciones de las viviendas en las calles José Gálvez y Alfonso Ugarte.

Frente a este problema en la actualidad, se buscan soluciones que permitan disminuir los efectos de las inundaciones, además, que se logre un enfoque sostenible y amigable con el medio ambiente, razón por la cual es fundamental el papel de los SUDS, tomados como una solución alternativa que pretende restaurar el ciclo natural del agua, minimizando la cantidad y mejorando la calidad del agua de escorrentía en un entorno urbano (Camargo Ramírez y Lozada Chamorro, 2018).

Es por ello, que en la presente investigación se estudió las técnicas de cunetas vegetadas y tanques de almacenamiento para evidenciar la influencia de éstas para reducir las áreas inundables ocasionadas por eventos pluviales mediante un modelamiento numérico en la ciudad de San Marcos, distrito de Pedro Gálvez, región Cajamarca; basadas en la reducción y almacenamiento de la escorrentía.

### **1.1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuáles son las áreas inundables de la ciudad de San Marcos y en cuánto se reducen mediante un sistema urbano de drenaje sostenible SUDS técnicas de tanques de almacenamiento y cunetas vegetadas?

## **1.2. HIPÓTESIS**

Al plantear las técnicas SUDS de cunetas vegetadas y tanques de almacenamiento a través de un modelamiento numérico en el software SWMM, las inundaciones en la ciudad de San Marcos ocasionadas por el deficiente drenaje urbano y las fuertes precipitaciones ayudara a reducir las áreas inundables por lo menos en un 50%.

## **1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1. JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA**

Esta investigación se contextualiza en el campo de la hidrología urbana y específicamente en el drenaje urbano, ya que en las últimas décadas aparecen técnicas novedosas como un cambio de paradigma en el drenaje urbano que viene marcado por la reducción de la escorrentía en lugar de evacuarla lo más rápido posible a través de la imitación del ciclo natural del agua. Entonces al implementar las técnicas de cunetas vegetadas y tanques de almacenamiento se busca reducir las áreas inundables que afectan a la zona de estudio.

### **1.3.2. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA – PRÁCTICA**

Los resultados obtenidos en esta investigación ayudaran a evaluar la eficacia de las técnicas de cunetas vegetadas y tanques de almacenamiento. Esto ayudara a los ingenieros y planificadores plantear soluciones más efectivas para prevenir inundaciones.

### **1.3.3. JUSTIFICACIÓN INSTITUCIONAL Y PERSONAL**

La presente investigación se justifica institucionalmente, ya que la Universidad Nacional de Cajamarca contribuye al desarrollo de la región, a través de la satisfacción de las necesidades de la comunidad mediante el uso racional de manera responsable y sostenible de los recursos naturales. De este modo, aplica en los distintos contextos todo el saber científico generado. Así mismo, desde el punto personal, se realiza debido a que es un requisito esencial para la obtención del título profesional de Ingeniero Hidráulico.

### **1.4. ALCANCES O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente investigación contribuirá con una alternativa de solución para disminuir las inundaciones en la ciudad de San Marcos, a través de la implementación de las técnicas de cunetas vegetadas y tanques de almacenamiento, que se basan en la reducción y almacenamiento de la escorrentía. Las cunetas vegetadas se plantearon en función de las condiciones de la zona de estudio, para los tanques de almacenamiento se realizó una entrevista a los pobladores de la zona de estudio para ver su conformidad, y así poder analizarlo mediante un modelamiento numérico en el software SWMM y determinar la influencia de estas como una alternativa de solución frente a este problema. Esta investigación se desarrolló en las calles Jr. José Gálvez, del Jr. Alfonso Ugarte y el Jr. Inclán, el Jr. Adolfo Amorín Bueno el Jr. Bolognesi, Jr. Miguel Grau, Jr. Leoncio Prado, en la localidad de la Provincia de San Marcos, departamento de Cajamarca.

### **1.5. LIMITACIONES**

Las limitaciones que se presentaron en la investigación son:

- Para la zona urbana solamente se ha modelado con la técnica de tanques de almacenamiento de acorde con lo obtenido en la encuesta con los pobladores.
- La técnica de cunetas vegetadas se ha implementado en donde no se encuentra cerca de edificaciones debido a que se basa en la infiltración por lo que puede ocasionar daños a las cimentaciones, es por ello que esta técnica solo se ha utilizado en un tramo de 108 m, donde no hay edificaciones cerca.

## **1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.6.1. OBJETIVO GENERAL**

Identificar las áreas inundables de la Ciudad de San Marcos y plantear tanques de almacenamiento y cunetas vegetadas como una alternativa de solución para la reducción de estas.

### **1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar el drenaje pluvial de la ciudad de San Marcos.
- Identificar las áreas inundables afectadas y estimar las pérdidas materiales.
- Determinar la capacidad hidráulica del sistema de drenaje pluvial actual de la ciudad de San Marcos.
- Estimar la reducción de las áreas inundables al implementar un sistema de drenaje sostenible con las alternativas de cunetas verdes, tanques de almacenamiento mediante un modelamiento numérico.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes teóricos**

#### **2.1.1. A nivel Internacional**

En la investigación “*Rehabilitación de redes de alcantarillado mediante técnicas LID, usando SWMM5 en un caso real*” tuvo como objetivo analizar las ventajas y desventajas de la incorporación de técnicas de drenaje urbano sostenible en una red de alcantarillado convencional en una cuenca urbana real del litoral mediterráneo español. Demostrando que la incorporación de las técnicas SUDS en el drenaje urbano debe considerarse como algo necesario, debido a que son capaces de tener un papel determinante ante la presencia de una lluvia torrencial. Por lo tanto, esta investigación motiva a investigar más sobre las técnicas LID que es una opción sostenible y responsable en diferentes contextos como es la ciudad de San Marcos debido a la problemática presentada por las inundaciones pluviales (Valbuena Villalonga, 2016).

#### **2.1.2. A nivel Nacional**

López Amaro y Villavicencio Cuya (2021), en su investigación “*Sistema Urbano De Drenaje Sostenible para evitar inundaciones de origen pluvial mejorando áreas verdes, cruce Av. Mateo Pumacahua – Av. Separadora Industrial, Distrito Villa El Salvador*” con el fin de plantear un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible que pueda evitar las inundaciones de origen pluvial con la técnica de áreas verdes, cruce Av. Mateo Pumacahua - Av. Separadora Industrial del distrito Villa El Salvador. Lograron demostrar que al implementar sistemas urbanos de drenaje sostenible evitarían las inundaciones en la zona de estudio, a través de la alternativa de cunetas verdes que fue el más adecuado por que representa menor inversión y mayores beneficios técnicos y ambientales para su implementación.

#### **2.1.3. A nivel Local**

Abanto Plascencia (2017), en su estudio “*Evaluación del riesgo de inundación mediante modelo de gestión de aguas pluviales del sector sur de la ciudad de Cajamarca*” que tuvo la finalidad identificar y analizar las diferentes variables y circunstancias que producen que la escorrentía generada durante un evento pluvial produzca problemas de inundación y anegamiento en la zona de estudio, determinó que las circunstancias más significativas que produce inundación es la falta de continuidad en las estructuras existentes para la

evacuación de la escorrentía, de manera que no funciona eficientemente por lo que los SUDS serían una alternativa para disminuir las zonas de inundación.

## **2.2.Bases Teóricas**

### **2.2.1. Aspectos Técnicos de la Zona de Estudio**

#### **2.2.1.1.Tipo de Suelo**

El tipo de suelo influye de manera determinante para la implementación de tipologías que estén basadas en el proceso natural del ciclo hidrológico por ello, suelos que tengan una alta permeabilidad son condicionantes para la implementación de tipologías de drenaje que permitan la infiltración del agua en el suelo suburbano, si el suelo donde se va a implementar una obra de drenaje presenta una baja permeabilidad, es recomendable incluir en el diseño de la tipología seleccionada, sistemas complementarios de drenaje subterráneo para que estos contribuyan con el drenaje del agua retenida por la tipología implementada. En otro aspecto, teniendo el caso de que los suelos presentan una probabilidad alta de hinchazón (swelling) debido a la detención del agua, las tipologías que estén basadas en la infiltración se deben evitar en estas zonas, para que de esta manera disminuir los posibles daños en estructuras adyacentes como edificios, vías, etc., debido a que es suelo presenta de manera paulatina expansión y contracción. Por lo que se debe realizar un estudio geotécnico cuando el diseño se encuentre cercano a infraestructuras ya existentes, para así poder determinar la distancia mínima a la cual es posible ubicar una tipología que permita la infiltración del agua en el suelo (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, 2017)

#### **2.2.1.2.Aguas subterráneas**

La profundidad del nivel freático en el área de estudio, es necesario evaluar las zonas en los cuales el nivel freático sea poco profundo, debido a que estas condiciones impone desafíos en el diseño de estructuras que involucren tipologías que estén basadas en la infiltración y deban drenar completamente el agua retenida entre eventos de lluvia, por esta razón que un nivel freático muy superficial, nos restringe la capacidad de infiltración del agua de escorrentía y no se estaría almacenando el volumen de diseño. Por otra parte, la protección de la calidad del agua subterránea es un objetivo principal que se debe considerar para las tipologías que su principal función es de infiltrar el agua retenida (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, 2017).

Se debe garantizar que la base del elemento de infiltración planteado esté por lo menos 1 metro por encima del nivel máximo presentado de las aguas subterráneas teniendo en cuenta las variaciones en los diferentes periodos climatológicos. La distancia de 1 metro de profundidad del nivel freático, es decir 1m como mínimo de suelos no saturados para garantizar el rendimiento de la infiltración del elemento y proteger el agua subterránea subyacente de la contaminación (Woods, et al. 2015).

### **2.2.2. Área de drenaje**

De acuerdo con el (MTC, 2021), para el área de drenaje “Debe determinarse el tamaño y la forma de la cuenca o subcuenca en consideración. Se determina el área en mapas topográficos o por inspección en campo. Los intervalos entre las curvas de nivel deben permitir distinguir la dirección del flujo superficial” (p.17). Así mismo, para la infraestructura que se está diseñando debe medirse el área de drenaje que contribuye con esta, así como la subárea que contribuye a cada punto de ingreso.

### **2.2.3. Topografía**

Teniendo en cuenta a De La Fuente et al. (2021) la topografía es la técnica que consiste en describir y representar en un plano la superficie o el relieve de un terreno. Entonces:

El estudio de la topografía permite la identificación de los patrones naturales de drenaje, y se centra en la localización de los puntos bajos y las pendientes del terreno. Un correcto estudio topográfico permitirá el drenaje por gravedad, evitando bombeos innecesarios, y propiciará que la implantación de SUDS pueda reproducir el drenaje natural en la mayor medida posible (p.51).

### **2.2.4. Hidrología**

La hidrología es la ciencia que estudia la distribución y circulación del agua en la superficie de la tierra, en los cuales trata los fenómenos naturales involucrados en el ciclo hidrológico del agua. Es por ello que el diseño hidrológico busca cuantificar e interpretar estos fenómenos con el fin de proporcionar una base a proyectos, estudios y obras de infraestructura, ingeniería hidráulica y de medio ambiente; además, para dar solución a los diferentes requerimientos de un diseño hidrológico en ingeniería se tiene como objetivo la recolección de datos, su análisis y procesamiento de estos por medios matemáticos o estadísticos para transformarlos en datos de información confiable (Fattorelli y Fernández, 2011).

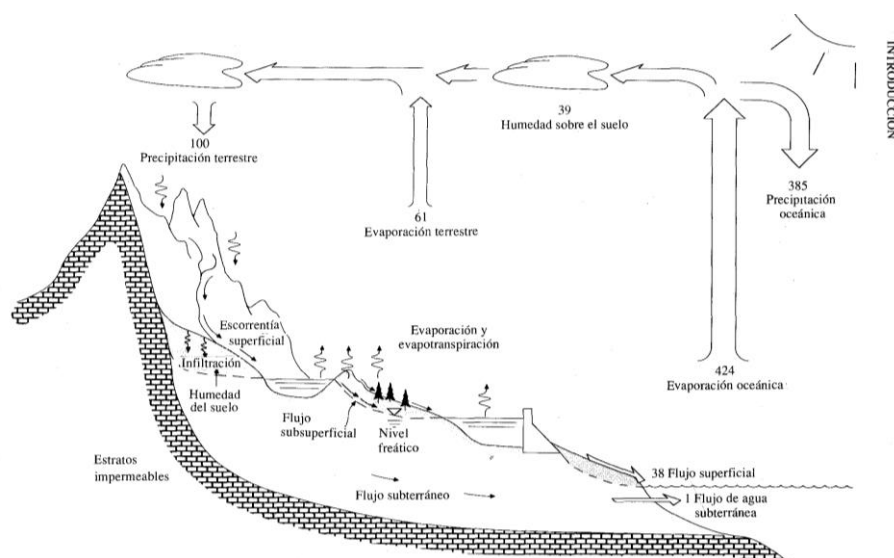
Además, estudiar e identificar los procesos hidrológicos naturales para, mediante la implementación de SUDS, tratar de producir el régimen natural a través de estos; para ello se comenzará a analizar el ámbito de la zona de estudio para así poder identificar las cuencas drenantes y las zonas colindantes que influyen, las cuencas se pueden obtener a través de un estudio topográfico teniendo en cuenta todos sus elementos influyentes que pueden condicionar las pendientes y los flujos de las superficies. Otro aspecto importante que se debe analizar y caracterizar el tipo de suelo ya que este está ligado con el coeficiente de escorrentía que se obtendrá a partir de la información proporcionada del grado de permeabilidad del suelo de la zona en estudio (De La Fuente, et al. 2021)

### 2.2.4.1.Ciclo Hidrológico

Ciclo hidrológico se denomina “al conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza tanto en su estado (Sólido, líquido y gaseoso), como en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc.)” (Villon, 2004, p.22).

Chow, Maidment y Larry 1994, (1994), es un proceso sin principio ni fin definido en el que el agua de los ríos, mares, lagos y otras superficies se evapora a la atmósfera, donde se condensa y cae en forma de lluvia. Es interceptado por la vegetación y se infiltra en el suelo hacia los flujos de agua subterránea y otra parte se convierte en escorrentía superficial (p.2). En la Figura 1, se muestran los procesos y las etapas del ciclo hidrológico.

**Figura 1**  
*Ciclo Hidrológico.*



Fuente: Chow, Maidment y Mays (1994)

#### 2.2.4.2. Modificación del Ciclo Hidrológico

La causa de la modificación del ciclo hidrológico es fundamentalmente antrópico, es decir, que las modificaciones en una cuenca se deben a las actividades que desarrolla el hombre en su entorno, como por ejemplo, la urbanización de una zona determinada en una cuenca el ciclo hidrológico sufre dos modificaciones o cambios; una de estas modificaciones es el aumento de la escorrentía superficial debido al incremento de áreas impermeables, ocasionando que el escurrimiento fluya a una velocidad mayor a los cursos naturales o artificiales de agua. Es por ello que, una tormenta de baja intensidad en estas superficies impermeables puede producir escurrimientos importantes lo que no ocurriría si dichas superficies fueran vírgenes o en estado natural. El segundo cambio que sufre en el medio urbano se da por la existencia de drenaje a través de conductos artificiales los cuales son más eficientes hidráulicamente que los cauces naturales, produciendo un aumento en la velocidad de las aguas y por lo tanto un aumento en los caudales máximos. En síntesis, el aumento de superficies impermeabilizadas influye en un acrecentamiento de los volúmenes de escurrimiento y de los gastos máximos (Morassutti, 2020).

**Tabla 1**

*Aumentos y reducciones en los parámetros hidrológicos en una cuenca urbana.*

<b>Aumentos</b>	<b>Reducciones</b>
Volumen de escurrimiento	Infiltración al subsuelo
Gasto máximo	Almacenamiento temporal
Velocidad de escurrimiento	Tiempo al pico del hidrograma

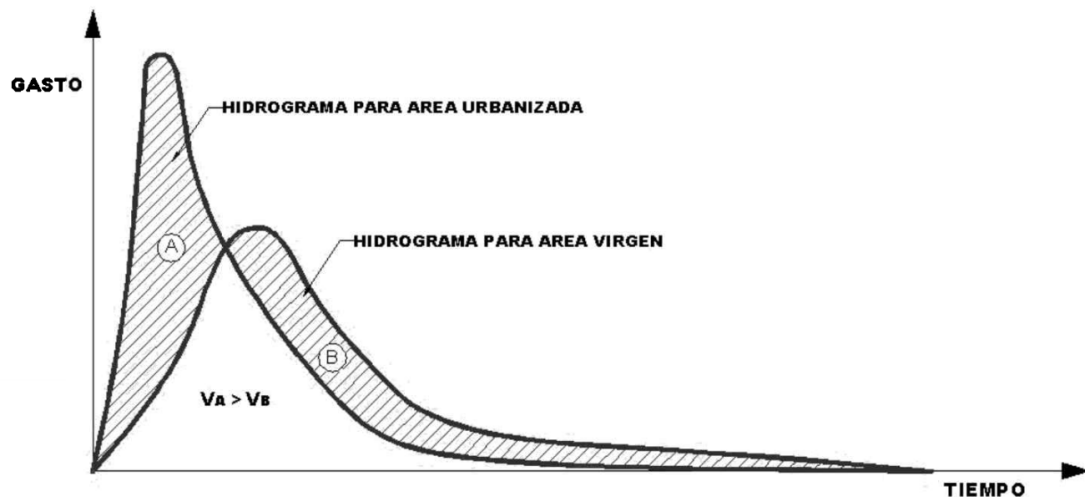
*Nota.* La figura muestra los parámetros hidrológicos en la cuenca urbana que han sido afectadas por el incremento de las extensiones de las áreas urbanizadas. Fuente: Morassutti, (2020).

Esta modificación del ciclo hidrológico también se evidencia en el hidrograma de un área natural al convertirse en un área urbana. Como se visualiza en la figura 2 que el hidrograma del área urbana aumenta en su gasto máximo, aumenta su volumen de escurrimiento y se reduce el tiempo de ocurrencia al caudal o gasto pico del hidrograma (Morassutti, 2020).



## Figura 2

Efecto de la urbanización sobre los hidrogramas.



*Nota.* La figura muestra que la urbanización provoca el aumento de caudal máximo y se produce en un menor tiempo de concentración. Fuente: Morassutti, (2020).

### 2.2.4.3.Cuenca Urbana

La modificación de la topografía natural del terreno por efecto del desarrollo urbano se denomina cuenca urbana, en donde la escorrentía depende de la topografía modificada y de las vialidades. Por lo tanto, se deberá establecer el sentido del escurrimiento superficial teniendo en cuenta las pendientes en las diferentes calles y avenidas, también se tiene que tener en cuenta la entrada a las calles o vías del escurrimiento proveniente de zonas verdes o cauces naturales de áreas no urbanizadas (Morassutti, 2020).

Los procesos urbanos, la conversión de ecosistemas naturales a ecosistemas urbanos, son responsables de varios impactos ambientales, entre ellos: Cambios en la composición atmosférica, los parámetros hidrológicos de la cuenca, el lecho del río y la topografía de otros cuerpos, y las condiciones naturales del suelo. En el contexto de la planificación urbana, existen diversas fuentes de contaminación, como los desechos industriales, los sistemas de calefacción y refrigeración, los sistemas de transporte, el saneamiento, la recolección y disposición de desechos sólidos (basura), el tratamiento de restos vegetales orgánicos y los desechos vegetales caídos (Dourojeanni, et al. 1999)

### 2.2.4.4.Precipitación

Precipitación es “toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, etc.) y sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas

(rocío, la helada blanca, etc.)” (Ordoñez, 2011, p. 9). Cuando el agua de lluvia llega a la superficie, una vez que una parte ha sido interceptada y evaporada, sigue varios caminos antes de llegar a la salida de la cuenca. Es útil dividir estos caminos en tres clases: escorrentía superficial, escorrentía subsuperficial y escurrimiento subterráneo (Aparicio, 1992).

Los instrumentos de medición de precipitaciones están normalizados por la OMM (Organización Meteorológica Mundial), se clasifican en pluviómetros y pluviógrafos. La intensidad de precipitación se define como la cantidad de precipitación recogida por unidad de tiempo, La unidad de medida en la profundidad lineal (mm) que se obtiene (Volumen/Área). (OMM, 2014)

#### **2.2.4.5.Periodo de Retorno**

Periodo de retorno “T” al tiempo promedio (en años) que iguala o excede al valor del evento máximo de un desastre de inundación determinado en cada año “T”. Si se toma como suposición que los eventos anuales son independientes se podrá calcular la probabilidad de falla dentro de los n años de la vida útil (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011).

El riesgo de falla admisible en función del periodo de retorno y la vida útil:

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

R: Riesgo admisible

n: vida útil

T: Periodo de Retorno.

#### **2.2.4.6.Análisis Estadístico de Datos Hidrológicos**

##### **2.2.4.6.1. Modelos de distribución**

El análisis de frecuencia tiene como objetivo estimar la precipitación, la intensidad o el caudal máximo (según el caso) mediante la aplicación de modelos estocásticos adecuados para diferentes periodos de retorno, discretos o continuos. Hay varias funciones teóricas de distribución de probabilidad en estadística, y se recomiendan las siguientes funciones (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011).

- Distribución Normal

- Distribución Log Normal 2 parámetros
- Distribución Log Normal 3 parámetros
- Distribución Gamma 2 parámetros
- Distribución Gamma 3 parámetros
- Distribución Log Pearson tipo III
- Distribución Gumbel

Distribución Log Gumbel (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011)

- **Distribución Normal**

La función de densidad de probabilidad normal está definida por:

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

Donde

$f(x)$  = Función densidad normal de la variable  $x$

$X$  = variable independiente

$\mu$  = parámetro de localización, igual a la media aritmética de  $x$ .

$S$  = parámetro de escala, igual a la desviación estándar de  $x$ . (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011)

- **Distribución Log Normal 2 Parámetros**

La función de distribución de probabilidad es:

$$P(x \leq x_i) = \frac{1}{S\sqrt{(2\pi)}} \int_{-\infty}^{x_i} e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2S^2}} dx \quad (3)$$

Donde  $\bar{X}$  y  $S$  son parámetros de la distribución probabilística.

Si la variable  $x$  de la ecuación (2) se sustituye por una función  $y=f(x)$ , tal que  $y=\log(x)$ , la función puede ordenarse, transformándose en una ley de probabilidades denominada lognormal,  $N(Y, S_y)$ . Los valores iniciales de la variable aleatoria  $x$ , deben ser transformados a  $y = \log x$ , de tal manera que:

$$Y = \sum_{i=1}^n \log x_i / n$$

Donde Y es la media de los datos de la muestra modificada.

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - Y)^2}{n - 1}}$$

Donde  $S_y$  es la desviación estándar de los datos de la muestra modificada.

Además; se tiene lo siguiente:

$$C_s = a/S_y^3$$

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^3 \quad (4)$$

Donde  $C_s$  es el coeficiente de oblicuidad de los datos de la muestra modificada (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011).

- **Distribución Log Normal 3 Parámetros**

La función de densidad de x es:

$$f(x) = \frac{1}{(x - x_0)\sqrt{(2\pi)S_y}} e^{-1/2 \left( \frac{\ln(x-x_0) - u_y}{S_y} \right)^2} \quad (5)$$

Para  $x > x_0$

Donde:

$x_0$ : parámetro de posición

$U_y$ : parámetro de escala o media

$S_y^2$ : parámetro de forma o varianza. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011)

- **Distribución Gamma 2 Parámetros**

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} \quad (6)$$

Válido para:

$$0 \leq x < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

Donde:

$\gamma$ : parámetro de forma

$\beta$ : parámetro de escala. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011)

- **Distribución Gamma 3 Parámetros**

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} \quad (7)$$

Válido para:

$$x_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < x_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Donde:

$x_0$ : origen de la variable  $x$ , parámetro de posición

$\gamma$ : parámetro de forma

$\beta$ : parámetro de escala. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011)

- **Distribución Log Pearson Tipo III**

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(\ln x - x_0)}{\beta}}}{x\beta^\gamma \tau(\gamma)} \quad (8)$$

Válido para:

$$x_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < x_0 < \infty \quad 0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Donde:

$x_0$ : parámetro de posición  $\gamma$ : parámetro de forma

$\beta$ : parámetro de escala. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011)

- **Distribución Gumbel**

La distribución Gumbel o Doble Exponencial, tiene como función de distribución de probabilidades la siguiente expresión:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (9)$$

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

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

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

Donde:

Donde:

$\mu$ : media aritmética de la muestra

$\sigma$ : desviación estándar de la muestra

$\alpha$ : Parámetro de concentración.

$\beta$ : Parámetro de localización.

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n X_i \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{N-1}}$$

Ven Te Chow, expresa la distribución de la siguiente forma:

$$x = \bar{x} + k\sigma_x \quad (10)$$

Donde

x: Valor con una probabilidad dada.

$\bar{x}$ : Media de la serie.

k: Factor de frecuencia. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011)

- **Distribución Log Gumbel**

La variable aleatoria reducida log Gumbel, se define como:

$$y = \frac{\ln x - \mu}{\alpha} \quad (11)$$

Con lo cual, la función acumulada reducida log Gumbel es:

$$G(y) = e^{-e^{-y}} \quad (12)$$

#### 2.2.4.6.2. Pruebas de bondad de ajuste

Es una prueba de hipótesis, para estimar si un determinado conjunto de datos es una muestra independiente de la distribución que se ajusta a los datos. Las pruebas de bondad y ajuste más utilizadas son  $X^2$  Kolmogorov-Smirnov, como se detalla a continuación. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011).

#### **Prueba $X^2$**

Planteada por Karl Pearson en 1900, la cual puede ser aplicada para verificar la distribución normal y la distribución logarítmica normal. Para verificar o probar, lo primero se tiene que dividir la serie de datos en k intervalos de clase, seguidamente se procede a calcular los parámetros estadísticos:

$$D = \sum_{i=1}^k (\theta_i - \varepsilon_i)^2 / \varepsilon_i \quad (13)$$

Donde:

$\theta_i$ : número observado de los eventos en el intervalo  $i$  y  $\varepsilon_i$  es el Número esperado de eventos en el mismo intervalo.

$\varepsilon_i$ : y calculamos:

$$\varepsilon_i = n[F(S_i) - F(I_i)] \quad i = 1, 2, \dots, k$$

De igual forma,  $F(S_i)$  es la función de distribución de probabilidad del límite superior del intervalo  $i$ ,  $F(I_i)$  es la misma función del límite superior del límite inferior y  $n$  es el número de eventos.

Luego se procede a calcular el parámetro  $D$  para cada función considerada, se calcula el valor de una variable aleatoria con la distribución  $X^2$  para  $v = k - 1 - m$  grados de libertad y el nivel de significancia  $\alpha$ , donde  $m$  es el número de parámetros estimados a partir de los datos. Para aceptar la función de distribución determinada, se cumple lo siguiente:

$$D = X^2_{1 - \alpha, k - 1 - m}$$

El valor de  $X^2_{1 - \alpha, k - 1 - m}$  se obtiene de tablas de la función de distribución  $X^2$ .

Cabe resaltar que, desde un punto de vista matemático, la prueba  $X^2$  solo debe usarse para verificar la normalidad de las funciones normal y lognormal. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011)

### **Prueba Kolmogorov – Smirnov**

A través de este método se comprueba la bondad de ajuste de las distribuciones, también nos permite elegir la más representativa es decir la que más se ajusta a nuestros datos. Esta prueba consiste en hacer una comparación del máximo valor absoluto de la diferencia  $D$  entre la función de distribución de probabilidad observada  $F_o(x_m)$  y la  $F(x_m)$  estimada:

$$D = \text{máx} / F_o(x_m) - F(x_m) /$$

El valor crítico depende de la cantidad y del grado de importancia o significancia seleccionado (tabla N°2). Si  $D < d$ , entonces acepte la hipótesis nula. Al comparar con la prueba  $X^2$ , la principal ventaja es que se puede comparar los datos con un modelo estadístico sin necesidad de ser agrupados. La función de distribución de probabilidad observada se determina:



$$F_o(x_m) = 1 - m/(n + 1) \quad (14)$$

Donde m es el número de orden de dato  $x_m$  en una lista de mayor a menor y n es el número total de datos. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011)

**Tabla 2**

*Valores críticos para la prueba Kolmogorov – Smirnov*

TAMAÑO DE LA MUESTRA	$\alpha= 0.20$	$\alpha= 0.15$	$\alpha= 0.10$	$\alpha= 0.05$	$\alpha= 0.01$
1	0.90	0.93	0.95	0.98	1.00
5	0.45	0.47	0.51	0.56	0.67
10	0.33	0.34	0.37	0.41	0.49
15	0.27	0.28	0.30	0.34	0.40
20	0.23	0.25	0.26	0.29	0.35
25	0.21	0.22	0.24	0.26	0.32
30	0.19	0.20	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.19	0.21	0.23	0.27
N>35	$\frac{1.07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{N}}$

*Nota.* Fuente: Adaptación de (Ministerio de Transportes y Comunicaciones)

#### 2.2.4.7. Determinación de la Tormenta de Diseño.

Para determinar la tormenta de diseño una de las maneras de representar el régimen pluviométrico de la zona en estudio es analizando una serie temporal de registros de eventos de lluvia, con el objetivo de obtener una caracterización lo más completa posible del proceso natural de precipitación. Este método resulta excelente para determinar los eventos de interés que se necesitan para cualquier proyecto (Valbuena Villalonga, 2016).

En muchos proyectos de diseño uno de los primeros pasos es determinar el evento de lluvia a utilizar. También lo podemos definir como un patrón de precipitación para utilizarse en un estudio hidrológico (Morassutti, 2020).

La tormenta de diseño conforma la entrada al sistema, los caudales se calculan utilizando procedimientos lluvia-escorrentía y tránsito de caudales en base a la tormenta de diseño (MTC). Esta tormenta de diseño se obtiene a partir de los datos pluviométricos o pluviógrafos instalados en la zona de estudio; los registros deben tener por lo menos series de precipitación de 25-50 años (Sokolov y Chapman, 1981). Al analizar esta precipitación mediante un análisis de frecuencias de valores extremos del registro histórico de precipitación se obtiene la precipitación de diseño para diferentes periodos de retorno (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2021).

#### **2.2.4.8. Curvas de Intensidad – Duración - Frecuencia**

Son una familia de curvas que pueden ser determinadas por medio de fórmulas o gráficamente, estas relacionan la intensidad de precipitaciones con la duración y frecuencia (inversa del periodo de retorno) (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2021). Estas curvas de intensidad - duración – frecuencia, nos permiten obtener la máxima intensidad de precipitación expresadas generalmente en mm/hr (Morassutti, 2020), si la zona en estudio se encuentra en el área de influencia de un pluviógrafo se utilizara la familia de curvas IDF del mismo; en caso de no disponer información de pluviógrafos, sino de valores de máxima precipitación diaria (24 horas) se determinará con una duración menor a 24 horas y sus respectivas intensidades en función de la máxima precipitación diaria, aplicando ecuaciones de intensidad de precipitación por ejemplo como Dyck y Peschke entre otros, o aplicando patrones de precipitación en el tiempo (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2021).

La intensidad es conocida como la tasa temporal de precipitación, esta puede ser la intensidad instantánea o intensidad promedio sobre la duración del evento de lluvia, en general se utiliza la intensidad promedio, que puede ser expresada como:

$$i = \frac{P}{Td} \quad (15)$$

Donde:

P: es la profundidad de lluvia (mm).

Td: es la duración, dada usualmente en horas.

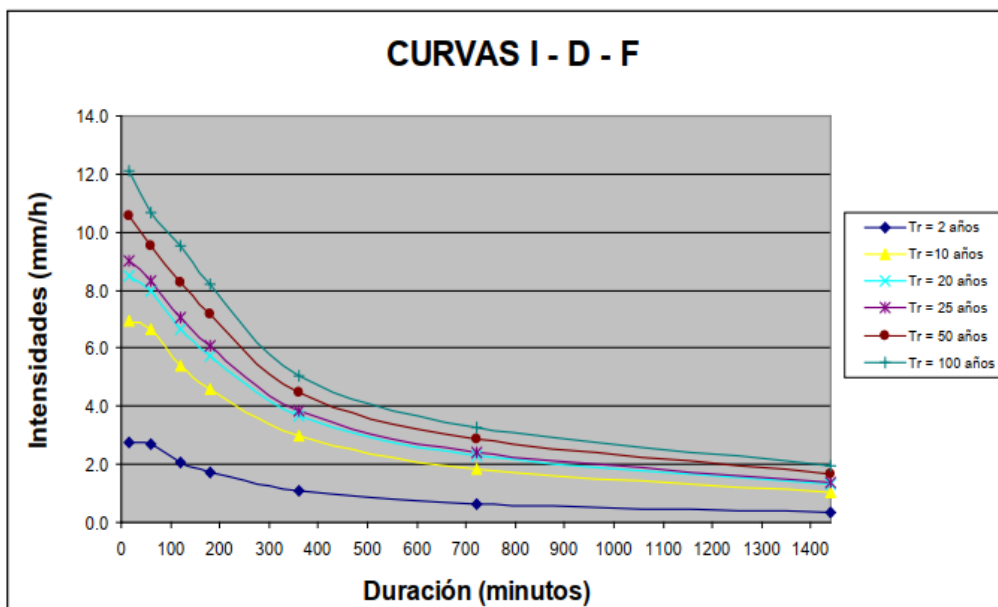
La frecuencia está expresada en función del periodo de retorno, T, que es el tiempo promedio entre los eventos de precipitación de interés que igualan o exceden la magnitud

de diseño. La familia de curvas intensidad – duración – frecuencia relacionan la intensidad de la lluvia, la duración y la frecuencia con la que se puede presentar, es decir su probabilidad de ocurrencia o periodo de retorno (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011).

Para determinar las curvas IDF es necesario contar con registros de datos pluviográficos de lluvia en la zona de estudio y seleccionar la lluvia más intensa de diferentes duraciones cada año, de la serie de datos en estudio. Es decir, se debe examinar a todas las tormentas a través de sus hietogramas ocurridas en un año y de estos hietogramas elegir el evento de lluvia correspondiente a la hora más lluviosa, a las dos horas más lluviosas etc. de estos. Utilizando el valor seleccionado se formarán series anuales para cada duración seleccionada. Esta serie se formará con los valores máximos observados correspondiente a cada duración seleccionada en cada año de registro y así se obtendrá el valor para cada año y duración. Cada serie generada a través del estudio de registros pluviométricos se someterá a un análisis de frecuencias asociado a modelos probabilísticos (Análisis Estadístico de Datos Hidrológicos). Por lo tanto, se obtiene una distribución de probabilidad de la intensidad de la lluvia asociada a cada duración y se podrá representar en un gráfico de Intensidad vs. Duración, teniendo en cuenta como parámetro el periodo de retorno (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011).

**Figura 3**

*Ejemplo Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia para lluvia máxima*



*Nota.* Fuente: Adaptado de (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011).

Un modelo general de la fórmula de la familia de curvas de intensidad – duración – frecuencia es la siguiente:

$$I = \frac{a}{(D + b)^m} \quad (16)$$

Donde I es la intensidad de lluvia de diseño, D es la duración y a, b y m son coeficientes que varían con el lugar y el período de retorno. Para determinar los parámetros se requiere una linealización para luego hallar por medio de regresión lineal los parámetros a, b, y m. Para el área de estudio en consideración, la duración de la lluvia o tormenta de diseño es igual al tiempo de concentración ( $t_c$ ) debido a que la escorrentía alcanza su pico en el tiempo de concentración, pero teniendo en cuenta que toda el área está contribuyendo al caudal de salida. En nuestro país debido a la limitada información pluviográfica es muy difícil elaborar estas curvas. Por lo que se cuenta solo con información de precipitaciones máximas en 24 horas (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011).

Si la duración de la tormenta es menor a 1 hora, no se cuenta con registros para obtener intensidades máximas, se puede utilizar el método de Dick Peschke que relaciona la duración de la tormenta con la precipitación máxima en 24 horas:

$$P_d = P_{24h} \left( \frac{d}{1440} \right)^{0.25} \quad (17)$$

Donde:

$P_d$  = precipitación total (mm)

d= duración en minutos

$P_{24h}$  = precipitación máxima en 24 horas (mm)

La intensidad se halla dividiendo la precipitación  $P_d$  entre la duración.

El cálculo indirecto de las curvas de intensidad-duración-frecuencia, se puede realizar mediante la siguiente relación:

$$I = \frac{KT^m}{t^n} \quad (18)$$

Donde:

I = Intensidad máxima (mm/h)

K, m, n = factores característicos de la zona de estudio

T = período de retorno en años

t = duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min). (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011).

#### **2.2.4.9. Tiempo de Concentración**

El parámetro que usa en los cálculos de la relación precipitación escorrentía es el tiempo de concentración de la cuenca en estudio, está definido por el tiempo en que una gota de agua tarda en llegar del punto más alejado al punto de descarga (Fattorelli y Fernández, 2011).

#### **Kirpich (1940)**

$$T_c = 0.01947 L^{0.77} S^{-0.385} \quad (19)$$

L : Longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida, m

S : Pendiente promedio de la cuenca, m/m (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2021).

#### **California Culverts Practice (1942)**

$$T_c = 0.0195 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (20)$$

L : longitud del curso de agua más largo, m

H : diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida, m (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2021).

#### **Federal Aviation Administration (1970)**

$$T_c = 0.7035 \frac{(1.1 - C)L^{0.50}}{S^{0.333}} \quad (21)$$

C : Coeficiente de escorrentía del método racional

L : Longitud del flujo superficial, m

S : Pendiente de la superficie, m/m (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2021).

#### 2.2.4.10. Número de curva

El grupo de especialistas de hidrología de Soil Conservation Service (SCS) plantearon un procedimiento para poder estimar el exceso de lluvia ocasionada por una tormenta, esta se centra en parámetro N que representa numéricamente una combinación específica de suelos, uso de suelos, y su tratamiento que está denominado Complejo Hidrológico suelo – cobertura (Campos, 2010).

Para cuencas que presentan varios tipos de suelos y diferentes usos de suelos, se calculará un número de curva CN compuesto. El Soil Conservation Service basándose en el tipo de suelo y usos de la tierra tabulados los números de curva en cuatro grupos de suelos: (Chow, Maidment y Larry 1994).

Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.

Grupo B: Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.

Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.

Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos (Chow, Maidment y Larry 1994).

#### Tabla 3

*Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad 11, la = 0.2S)*

Descripción del uso de la tierra		Grupo Hidrológico del Suelo			
		A	B	C	D
Tierra cultivada 1:	Sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
	Con tratamientos de conservación	62	71	78	91
Pastizales:	Condiciones pobres	68	79	86	89
	Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos:	Condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques:	Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas	45	66	77	83
	Cubierta buena	25	55	70	77

Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.	Óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
	Condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)		81	88	91	93
Residencial:					
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable				
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.		98	98	98	98
Calles y carreteras:					
Pavimentados con cunetas y alcantarillados		98	98	98	98
grava		76	85	89	91
tierra		72	82	87	89

*Nota.* Fuente: Adaptado de Ven Te Chow (2010).

#### **Tabla 4**

##### *Condiciones Hidrológicas*

<b>Cobertura Vegetal</b>	<b>Condición Hidráulica</b>
> 75% del área	Buena
Entre 50% y 75% del are	Regular
<50% del área	Pobre

*Nota.* Fuente: Adaptado de Villón (2004)

#### **2.2.4.11. Hietograma de Diseño**

En los métodos tradicionales como es el método racional, solo se utiliza el caudal pico, en los que no se toma en consideración el tiempo de distribución del caudal (hidrograma de caudal) o la repartición transitoria de la precipitación (hietograma de precipitación). Ante esto los métodos desarrollados recientemente se basan en el análisis de flujo no

permanente, los cuales requieren de predicciones validadas del hietograma de diseño para así obtener el hidrograma de diseño (Chow, Maidment y Larry 1994).

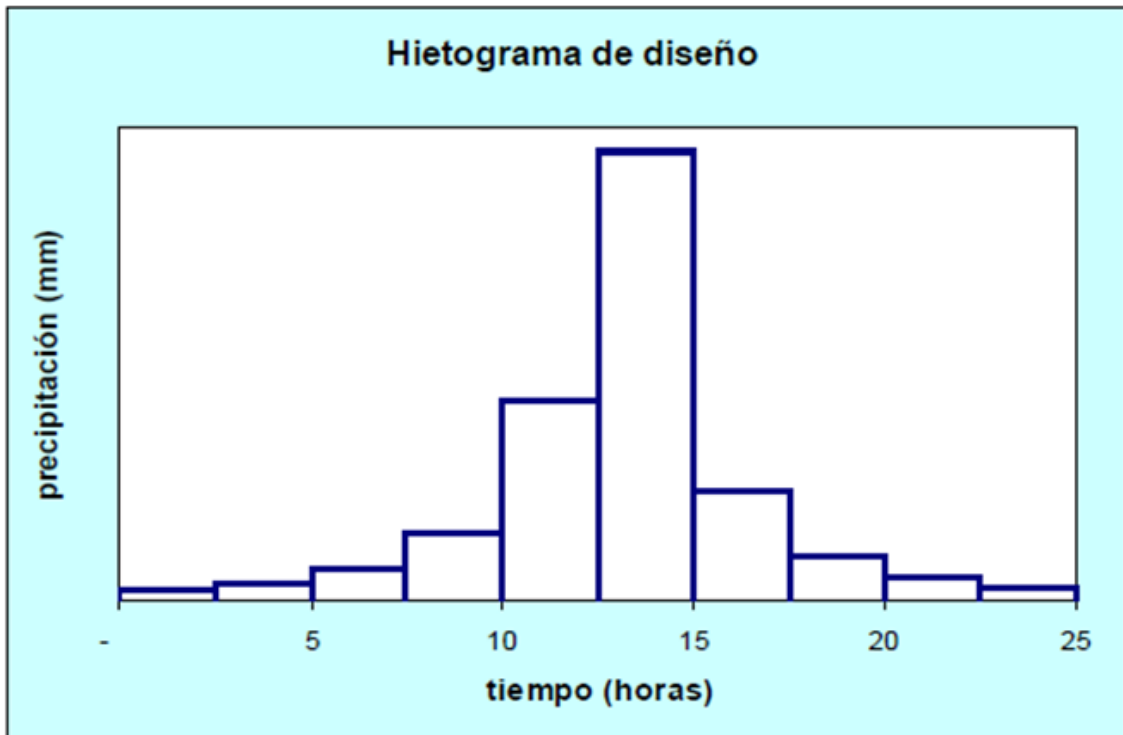
#### 2.2.4.11.1. Método del Bloque Alterno

Este método es la forma más simple para obtener un hietograma de diseño a través de una curva de intensidad – duración – frecuencia. El hietograma obtenido para el diseño especifica la cantidad de precipitación que ocurre en intervalos de tiempos secuenciales, de modo que la intensidad máxima ocurra dentro de la duración analizada (Chow, Maidment y Larry 1994).

En la figura 5 se muestra un ejemplo de hietograma de diseño mediante bloques alternos.

**Figura 4**

*Ejemplo Hietograma de Diseño.*



*Nota.* Fuente: Adaptado del Manual de Hidrología, hidráulica y drenaje del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2011).

#### 2.2.4.12. Precipitación Total y efectiva.

La precipitación que no se infiltra y tampoco se retiene en la superficie es conocida como precipitación efectiva ( $P_e$ ), este exceso de precipitación se convierte en escorrentía superficial. La diferencia entre precipitación total y la precipitación efectiva se conoce



como pérdidas porque es el agua absorbida por infiltración o por almacenamientos superficiales (Chow, Maidment y Larry 1994).

#### **2.2.4.13. Hidrograma Unitario**

Está basado en algunas propiedades de los hidrogramas de escurrimiento directo, tiene como finalidad de transformar una precipitación de diseño en una descarga en un punto de estudio con su distribución en el tiempo. En este estudio del hidrograma unitario en los últimos años se está separando tanto escurrimiento directo como flujo base, en el cual las aguas del escurrimiento directo por tener mayor velocidad de escurrimiento son el componente fundamental de aumento de caudal, en cambio la alteración del agua subterránea se altera muy despaciosamente al ocurrir eventos de grandes magnitudes de precipitaciones (Koolhaas, 2003)

Según el Reglamento Nacional de edificaciones (2006), el hidrograma unitario, deducido o sintético (hidrograma adimensional del SCS, hidrograma de Snyder, entre otros), puede ser empleado para áreas de drenaje mayores que 0,5 km<sup>2</sup>.

#### **2.2.5. Inundaciones Pluviales**

Se produce por la acumulación de agua de lluvia en un determinado lugar o zona geográfica que no necesariamente coincide con el desbordamiento del cauce. Este tipo de crecida se produce tras un régimen de lluvias intensas o persistentes, es decir, por la concentración de una gran cantidad de lluvia en un período de tiempo muy corto o por la ocurrencia de lluvias moderadas y persistentes en un período de tiempo prolongado en suelos poco permeables (INDECI, 2011). Las zonas donde se produce estas inundaciones presentan dificultades de drenaje superficial debido a la incapacidad de las condiciones del terreno para drenar la esorrentía generada por grandes cantidades de lluvia (Ministerio para la Transición Ecológica, 2019)

##### **2.2.5.1. Zonas Inundables**

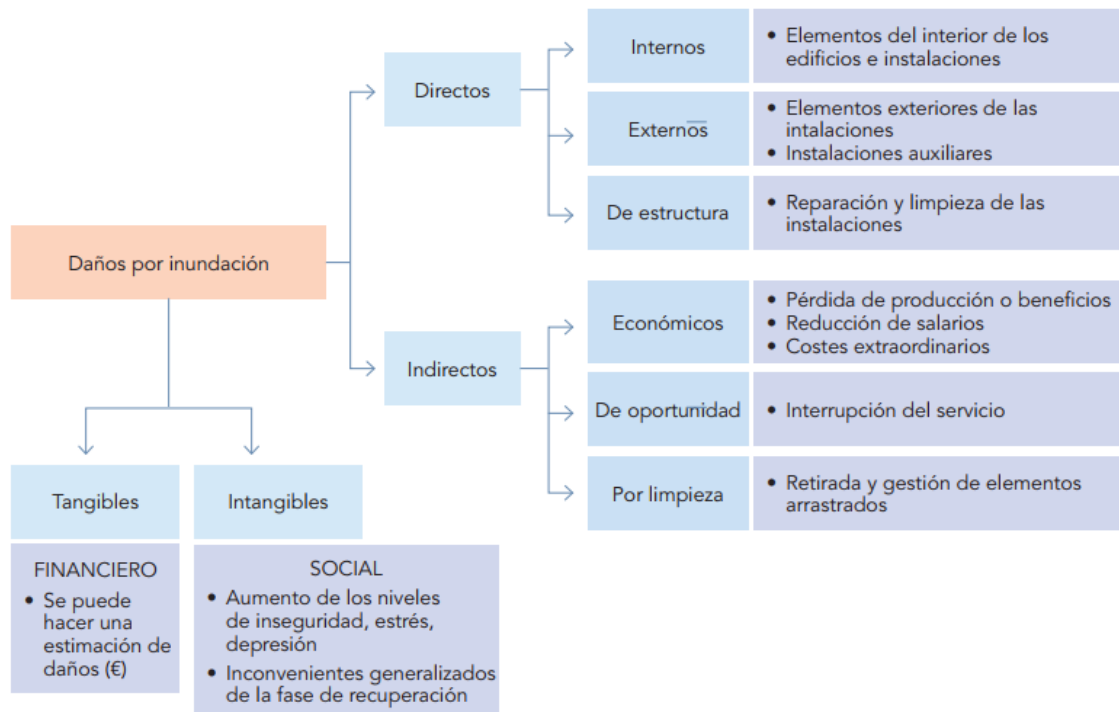
La extensión de la llanura de inundación depende principalmente del caudal de agua recirculante (superior al caudal máximo posible en el canal) y de la topografía y uso del suelo, cuyas condiciones son, entre otras, la profundidad y la velocidad del caudal bruto (Ministerio para la Transición Ecológica, 2019).

## 2.2.6. Daños por inundaciones

Para poder cuantificar los daños ocasionados por las inundaciones pluviales es muy complejo, debido a esto se puede clasificar de manera general de acuerdo a la siguiente figura:

**Figura 5**

*Tipos de daños por inundación.*



*Nota.* Fuente: (Ministerio para la Transición Ecológica, 2019)

### 2.2.6.1. Daños materiales

- **A las viviendas.**

**Tabla 5**

*Daños materiales.*

<b>A las viviendas</b> (Tipo de Material de construcción: Define el material con el cual ha sido	<b>Afectadas</b>	Son los daños menores en la vivienda que no ponen en riesgo la integridad física de las personas, pueden seguir siendo habitadas.
	<b>Destruídas</b>	Viviendas en escombros provocado por la presencia de fenómenos naturales o inducido por acciones humanas.

construido el inmueble.)	<b>Inhabitables</b>	Son las viviendas con daños de consideración, que no pueden seguir siendo habitadas por riesgo de colapso o destrucción en el momento del levantamiento de la información.
	<b>Costo aproximado del daño</b>	Se orienta a cuantificar y valorar los daños ocasionados por el fenómeno a las viviendas.
<b>Total</b>	Es la sumatoria de las columnas tanto de las viviendas calificadas como Afectadas, Destruídas e Inhabitables.	

*Nota.* Fuente: Adaptado de EDAN PERÚ

- **A la Infraestructura de Salud:**

**Tabla 6**

*Daño a la infraestructura de salud.*

<b>A la Infraestructura de Salud</b> (Debe registrarse la afectación por cada establecimiento de salud de la localidad precisando)	<b>Nombre del establecimiento de salud:</b>	Utilizar una fila por cada instalación de salud, y registrar el nombre.	
	<b>Número Total de Ambientes:</b>	Señalar la cantidad total de ambientes que cuenta el establecimiento de salud.	
	<b>Daño:</b>	<b>Afectado</b>	Daños menores en la infraestructura de salud, que no pone en riesgo el normal funcionamiento del nosocomio.
		<b>Destruído</b>	Daños considerables que impiden el funcionamiento del nosocomio.
		<b>Inhabilitado</b>	Nosocomios con daños de consideración que no pueden seguir funcionando por riesgo de colapso o destrucción, debido a la presencia de un fenómeno.
<b>Tipo de Establecimiento/ Categoría:</b>	Se registrará el tipo de servicio y el nivel del mismo.		

	<b>Costo:</b>	Esta columna será llenada por los sectores comprometidos y se colocará el costo total aproximado de los daños.
--	---------------	--

*Nota.* Fuente: Adaptado de EDAN PERÚ

- **A la Infraestructura Educativa:** Debe registrarse la afectación por cada institución educativa de la localidad.

**Tabla 7**

*Daño a la Infraestructura Educativa:*

<b>A la Infraestructura Educativa</b> (Debe registrarse la afectación por cada institución educativa de la localidad precisando)	<b>Nombre de la Institución Educativa:</b>		Utilizar una fila por cada institución educativa, señalando el número o nombre de la institución.
	<b>N° Total de Aulas:</b>		Señalar la cantidad total de aulas que tiene la institución educativa.
	<b>Daño:</b>	<b>Afectado</b>	Daños menores en la institución educativa, que no ponen en riesgo el normal funcionamiento de la I.E.
		<b>Destruído</b>	Daños considerables que impiden el funcionamiento de la institución educativa.
		<b>Inhabilitado</b>	Institución educativa con daños de consideración que no pueden seguir funcionando por riesgo de colapso o destrucción, debido a la presencia de un fenómeno
	<b>Tipo de Nivel Educativo/ Privado Nacional:</b>		Se registrará el tipo de servicio y el nivel del mismo.
<b>Costo:</b>		Esta columna será llenada por los sectores comprometidos y se colocará el costo total aproximado de los daños.	

*Nota.* Fuente: Adaptado de EDAN PERÚ

- **A la infraestructura de transporte:** Daños en las vías de comunicación (carreteras, vías férreas y otros).

**Tabla 8**

*Daño a la infraestructura de transporte:*

<p><b>Daños en puentes, puertos y otros</b> (Debe registrarse la afectación por tipo de infraestructura precisando el daño)</p>	<p><b>Daños:</b> Vías de comunicación que producto del desastre han quedado en condición de:</p>	<p><b>Afectado</b></p>	<p>Daños menores a las vías de comunicación, que no pone en riesgo el normal funcionamiento de la vía, se mide en metros lineales.</p>
		<p><b>Destruído</b></p>	<p>Daños considerables que impiden el funcionamiento de la vía, se mide en metros lineales.</p>
	<p><b>N° de Tramos:</b></p>	<p>Registrar la cantidad de zonas afectadas o destruidas a lo largo de la vía de comunicación.</p>	
	<p><b>Detallar ubicación:</b></p>	<p>Describir la ubicación de la vía de comunicación donde se registra los daños.</p>	
	<p><b>Costo:</b></p>	<p>Esta columna será llenada por lo sectores comprometidos y se colocará el costo total aproximado de los daños.</p>	

*Nota.* Fuente: Adaptado de EDAN PERÚ

- **Daños en puentes, puertos y otros.**

**Tabla 9**

*Daño a la infraestructura de transporte:*

<p><b>Daños en puentes, puertos y otros</b> (Debe</p>	<p><b>Daños:</b> Infraestructura que producto del desastre</p>	<p><b>Afectado</b></p>	<p>Daños menores que no ponen en riesgo el normal funcionamiento del mismo.</p>
---	--	------------------------	---

registrarse la afectación por tipo de infraestructura precisando el daño)	han quedado en condición de:	<b>Destruído:</b>	Daños que impiden su funcionamiento
	<b>Detallar ubicación:</b>	Describir la ubicación donde se registran los daños.	
	<b>Costo:</b>	Esta columna será llenada por los sectores comprometidos y se colocará el costo total aproximado de los daños.	

*Nota.* Fuente: Adaptado de EDAN PERÚ

- **Infraestructura de Riego:** Debe registrarse la afectación por tipo de infraestructura de riego precisando el daño.

**Tabla 10**

*Daño a la infraestructura de transporte:*

Daños en puentes, puertos y otros (Debe registrarse la afectación por tipo de infraestructura precisando el daño)	<b>Unidad de Medida:</b>	Indicar según corresponda si es en metros lineales o unidades.	
	<b>Daños:</b> Infraestructura de riego que producto del desastre han quedado en condición de:	<b>Afectado</b>	Daños menores a la infraestructura de riego, que no pone en riesgo el normal funcionamiento del mismo, se mide en metros lineales
		<b>Destruído:</b>	Daños considerables que impiden el funcionamiento de la infraestructura de riego, se mide en metros lineales.
	<b>Detallar ubicación:</b>	Describir la ubicación de la infraestructura de riego donde se registran los daños.	
	<b>Costo:</b>	Esta columna será llenada por los sectores comprometidos y se colocará el costo total aproximado de los daños.	

*Nota.* Fuente: Adaptado de EDAN PERÚ

- **A los locales públicos:**

**Tabla 11**

*Daño a los locales públicos:*

<p><b>A los locales públicos</b> (Debe registrarse la afectación cuantitativamente por cada local público afectado, destruido o inhabitable, precisando)</p>	<p><b>Cantidad:</b></p>	<p><b>Afectado</b></p>	<p>Daños menores que no ponen en riesgo el normal funcionamiento del local público.</p>
		<p><b>Destruído</b></p>	<p>Daños severos que impiden el normal funcionamiento del local público.</p>
		<p><b>Inhabitable</b></p>	<p>Local público con daños de consideración que no pueden seguir funcionando por riesgo de colapso o destrucción, poniendo en riesgo la vida de las personas.</p>
	<p><b>Tipo de material de construcción:</b></p>		<p>Se registrará el tipo de material con el cual fue construido el local público.</p>
	<p><b>Costo:</b></p>		<p>Esta columna será llenada por los sectores comprometidos y se colocará el costo total aproximado de los daños.</p>
<p><b>Total</b></p>			<p>Es la sumatoria de las cantidades de los locales públicos que resultan afectados, destruidos e inhabitables.</p>

*Nota.* Fuente: Adaptado de EDAN PERÚ

- **A los Servicios Básicos Indispensables:**

**Tabla 12**

*Daño a los Servicios Básicos Indispensables:*

<b>A los Servicios Básicos Indispensables</b>	<b>Servicio:</b>	Se consideran servicios básicos indispensables a: la red de agua potable, energía eléctrica, saneamiento y otros (silos, alcantarillas, baños portátiles, etc.).
	<b>Cuenta con el servicio:</b>	Señalar si se contaba con el servicio correspondiente antes de la ocurrencia del desastre.
	<b>Porcentaje de viviendas sin servicio:</b>	Se registran los daños en forma cualitativa (%) de acuerdo a la población que no cuenta con el servicio.
	<b>Observaciones:</b>	Agregar cualquier otro dato que se estime necesario.

*Nota.* Fuente: Adaptado de EDAN PERÚ

- **A otros Servicios Básicos**

**Tabla 13**

*Daño a otros Servicios Básicos.*

<b>A otros Servicios Básicos</b>	<b>Servicio:</b>	Se consideran servicios básicos existentes en la zona afectada: telefonía fija, móvil, internet y otros.
	<b>Cuenta con el servicio:</b>	Señalar si se contaba con el servicio correspondiente antes de la ocurrencia del desastre.
	<b>Porcentaje de viviendas sin servicio:</b>	Se registran los daños en forma cualitativa (%) de acuerdo con la población que no cuenta con el servicio.
	<b>Observaciones:</b>	Agregar cualquier otro dato que se estime necesario.

*Nota.* Fuente: Adaptado de EDAN PERÚ



### **2.2.7. Sistema de Drenaje Urbano**

Para evacuar las aguas pluviales se pueden considerar dos sistemas de drenaje en las ciudades ya sea planeados o no. Uno de estos sistemas de drenaje es el menor que es diseñada y construido exclusivamente para ese fin y el otro es el mayor que lo conforma calles y avenidas, es el que complementa al sistema de drenaje menor cuando ya este haya sobrepasado su capacidad hidráulica por eventos extremos el cual no ha sido diseñado. Estos dos sistemas se deben diseñar teniendo en cuenta el crecimiento urbano, así como la función específica de cada sistema, a pesar de que el sistema de drenaje primario su función principal es el tránsito de vehículos y personas se debe pensar que este debe evacuar el escurrimiento cuando el sistema menor colapse. Estos sistemas se diseñan con el fin de cumplir tres objetivos básicos: El primero es mitigar los peligros del tránsito de personas y vehículos durante eventos pluviales; el segundo se debe evitar el ingreso de las aguas pluviales a las viviendas y el tercero disminuir los costos de mantenimiento del servicio público, así como evitar la dispersión de contaminantes (Fattorelli y Fernández, 2011).

#### **2.2.7.1. Planes Maestros**

Todas las ciudades deben tener su plan maestro de drenaje urbano, este debe estar planeado y constantemente debe ser actualizado, debido a que el drenaje urbano es un condicionante para el desarrollo urbano este debe incluir:

- Planeamiento del sistema mayor. En este debe estar considerado el comportamiento de las vías de drenaje y avenidas para eventos con un periodo de retorno de 25 años, para evitar daños mayores y pérdidas de vidas.
- Planeamientos del sistema primario o menor (tuberías, canales, etc.)
- El sistema se diseña para flujo gravitacional. (Fattorelli y Fernández, 2011).

#### **2.2.7.2. Capacidad de la tubería**

Se calcula el mínimo diámetro requerido y se selecciona un diámetro comercial (Fattorelli y Fernández, 2011).

$$Q = \frac{0.3116}{n} S_f^{1/2} AR^{2/3} \quad (22)$$

$$D = \left( \frac{3.21Qn}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/8} \quad (23)$$

### 2.2.7.3.Capacidad de cunetas

Para determinar la capacidad hidráulica de las cunetas se debe tener en cuenta el tipo de material del cuerpo de la cuneta, coeficiente de rugosidad, velocidad mínima y máxima, pendiente del canal, taludes, etc. Esta capacidad se puede determinar con una de las ecuaciones más utilizadas que es la ecuación de Manning (Condori, 2010).

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \quad (24)$$

### 2.2.7.4.Problemática del Drenaje Urbano

La urbanización ha causado importantes modificaciones en el ciclo hidrológico natural, debido a que se ha aumentado la impermeabilización del suelo impidiendo que el agua proveniente de las lluvias pueda infiltrarse además de los usos de suelos (viviendas, viales, etc.) reduciendo las áreas de vegetación que contribuyen a la evapotranspiración de las aguas pluviales. Tradicionalmente se ha enfocado en evacuar estas aguas lo más rápido posible de manera que no afecte a los habitantes de las ciudades, pero ante eventos extremos presentan problemas cuando los elementos de drenaje convencional (sumideros, redes colectoras, etc.) no tienen la capacidad hidráulica suficiente para evacuar estos caudales. Debido a que las ciudades están en constante crecimiento y consigo las redes de drenaje, estas se deben de conectar a las redes ya existentes, a causa de que ampliar o mejorar los drenajes son muy costosos si las redes existentes no tienen la capacidad para el nuevo requerimiento de capacidad hidráulica estas empiezan a colapsar y consigo las inundaciones. Por otro lado, las aguas de escorrentías urbanas por lo general presentan un alto grado de contaminación, ya que al recorrer tanto calles como calzadas acarrean consigo sedimentos, hidrocarburos, etc., que suelen ser depositados en épocas de sequía requiriendo un tratamiento previo al vertido a cuerpos receptores (De La Fuente et al., 2021).

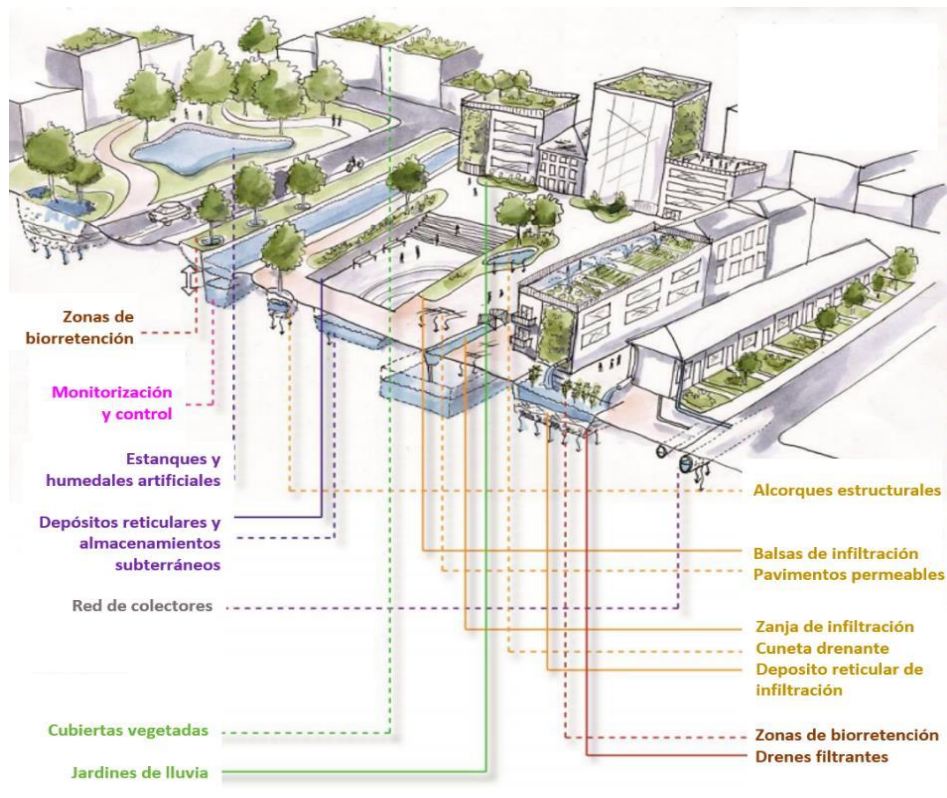
### 2.2.7.5.Soluciones basadas en la naturaleza

Debido a la influencia de la urbanización en la modificación del ciclo hidrológico, alterando procesos naturales se está planteando solución a esta problemática basaba en actuaciones que minimicen los impactos de la urbanización y reproduzcan el

comportamiento hidrológico natural, estas soluciones según la comisión europea deben estar basadas en la naturaleza que son rentables y la vez proporcionan beneficios ambientales, sociales y económicos y que ayuden a la adaptación. Es en tres puntos donde aparecen los SUDS como una alternativa innovadora de gestión de las aguas pluviales, ya que tratan de restablecer los procesos hidrológicos naturales, potenciando la infiltración o filtración y laminación (De La Fuente et al., 2021).

Los SUDS actúan principalmente en el punto de contacto de la lluvia con las superficies urbanas y su principio básico es la retención descentralizada, es decir su principal objetivo es retener e infiltrar en el origen el mayor volumen posible de escorrentía. Además de restablecer el ciclo hidrológico los SUDS buscan obtener valores añadidos al paisaje urbano, como espacios de mejora de la biodiversidad. Gracias a sus funciones hidrológicas, sociales y medioambientales, los SUDS se integran dentro de la infraestructura verde, además los SUDS constituyen una de las medidas más importantes en la transición hacia las Water Smart City, ciudades con una alta eficiencia en la gestión integrada de los recursos hídricos (De La Fuente et al., 2021).

**Figura 6**  
*SUDS integrados en la ciudad.*



*Nota.* Fuente: Adaptado de De La Fuente et al., (2021).

### 2.2.8. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

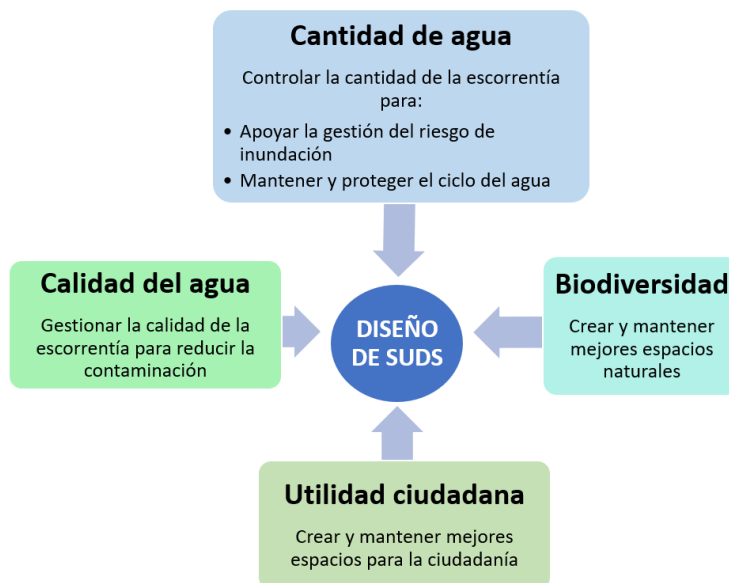
Son un conjunto de técnicas que imitan el proceso hidrológico natural y a su vez complementan el drenaje tradicional para la gestión de la escorrentía, los SUDS se clasifican según su función hidrológica que pueden realizar (De La Fuente et al., 2021). Los SUDS son una herramienta preventiva en la gestión del agua que ayuda a minimizar las inundaciones producidas por estas, estos están basados en dos objetivos principales: reducir el caudal de agua que llega a un punto de descarga y mejorar la calidad que se vierte a un cuerpo receptor. Este aprovechamiento se ve reflejado en el paisajismo urbano y la mejora medioambiental del entorno (Núñez et al., 2019).

La implementación de los SUDS para maximizar su potencial se debe abordar atendiendo a cuatro pilares básicos:

- Control de la cantidad de agua
- Control de la calidad del agua
- Fomento de la biodiversidad
- Utilidad ciudadana (De La Fuente et al., 2021).

**Figura 7**

*Los cuatro pilares en el diseño de los SUDS.*



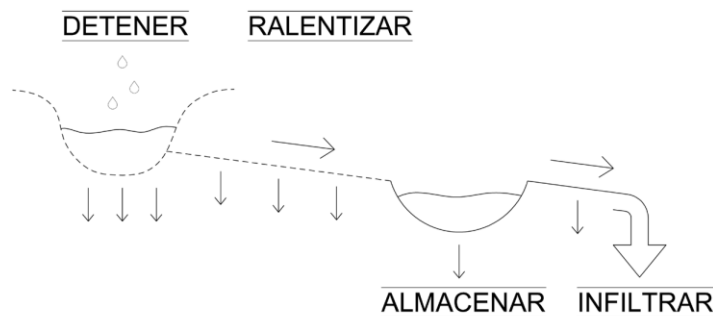
*Nota:* Adaptado de De la fuente et al. (2021).

Entonces teniendo en cuenta a De La Fuente et al. (2021), el diseño de un sistema urbano de drenaje sostenible debe encargarse de las escorrentías en su origen, en cantidad y

calidad, a la vez incorpore beneficios ambientales a la ciudadanía y al fomento de la biodiversidad. Por esta razón Núñez et al., (2019), para conseguir una adecuada gestión del agua de lluvia se va a tener que actuar en cada uno de los tramos de su recorrido, desde que el agua llega a la superficie hasta que es vertida a cuerpos receptores naturales. A este recorrido se le conoce como tren o cadena de gestión del agua de lluvia: como primera acción se debe detener el agua en su lugar de origen, el agua de exceso que va a producir escorrentía se debe ralentizar en su recorrido para disminuir la escorrentía, el agua sobrante se debe almacenar y para que por último se debe infiltrar esta agua en el terreno o pueda ser aprovechada en riego de jardines o áreas verdes. Entonces podemos concluir que se debe abordar la problemática del drenaje urbano desde el concepto de gestión de cadena, es decir, de manera integral y atendiendo al orden sustentado, así que, siguiendo esta estrategia el ciclo del agua en el área urbana se asemeje al ciclo del agua en su manera natural.

### Figura 8

*Esquemas del funcionamiento de la cadena de gestión del agua.*



*Nota:* Fuente: Adaptado de Núñez et al. (2019).
















Entendiendo las funciones hidrológicas que deben cumplir los SUDS podemos realizar una clasificación:

- **Filtración:** atrapa los sedimentos presentes en el agua de lluvia mediante procesos físicos, al permitir su escorrentía a través de medios porosos, suelo o vegetación artificial.
- **Contención:** Almacena temporalmente la escorrentía y elimina múltiples capas de agua hacia la red o punto de descarga, reduciendo así el caudal máximo y promoviendo la sedimentación.

- **Tratamiento:** Procesos físicos y biológicos preferentes, como el tratamiento con plantas o colonias bacterianas, para metabolizar los contaminantes presentes en la escorrentía y mejorar su calidad.
- **Almacenamiento:** Almacenamiento a mediano plazo de agua vertida para fines no potables o recreativos.
- **Infiltración:** se prefiere el flujo vertical y la recarga de acuíferos, permitiendo que el agua fluya a través del subsuelo (De La Fuente et al., 2021).

**Tabla 14**

*Funciones principales (P) y secundaria (S) de cada tipo de SUDS.*

Tipología SUDS	Función principal				
	 Filtración	 Detención	 Tratamiento	 Retención	 Infiltración
 Cubiertas vegetadas		S		P	
 Parterres inundables			P		S
 Balsas de detención e infiltración		P			S
 Cunetas vegetadas			P		S
 Alcorques estructurales		S			P
 Pavimentos permeables	P				S
 Drenes filtrantes	P	S			
 Pozos y zanjas de infiltración	S				P
 Depósitos reticulares		S			P
 Humedales artificiales y estanques		S	P		

*Nota.* Esta tabla nos muestra los principales tipos de SUDS, destacando su función principal (P) y secundaria (S) más habitual. Fuente: Adaptado de De La Fuente et al., (2021).

Atendiendo a la tipología de actuación es necesario clasificarlos en dos grupos: Medidas estructurales, requieren un elemento constructivo para gestionar las aguas pluviales, prevenir su contaminación y/o reducir la generación de escorrentías. Entre ellos se encuentran: aceras permeables, picaduras estructurales o techos verdes. Medidas no estructurales, no precisan una intervención física y permiten una mejor gestión de las aguas pluviales y la optimización de la infraestructura existente. Estas medidas incluyen educación, legislación, planificación y gestión. Sus objetivos principales son optimizar el uso de los sistemas de drenaje existentes, sensibilizar al público sobre la importancia de

los sistemas de drenaje urbano y promover el diseño de infraestructuras futuras (De La Fuente et al., 2021).

### 2.2.8.1. Sistemas que se adaptan a la zona de estudio

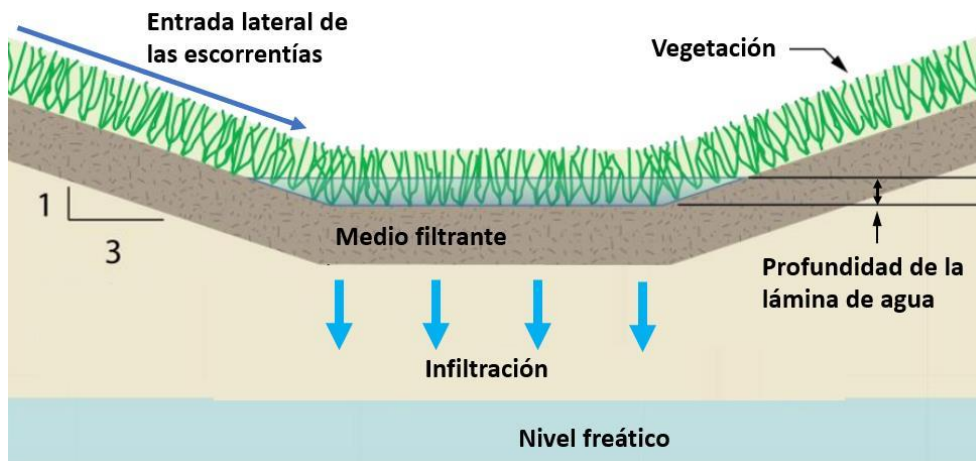
#### 2.2.8.1.1. Cunetas vegetadas

Son canales anchos, poco profundos y con vegetación que reciben la escorrentía de las áreas impermeables adyacentes. Además de permitir el transporte de esta escorrentía, la vegetación promueve la eliminación de contaminantes por sedimentación y filtración. También pueden permitir la entrada al suelo si se recomienda.

A menudo se usan en caminos, aceras y otras superficies alargadas porque el agua fluye hacia ellos horizontalmente. Suelen ser de sección transversal trapezoidal o parabólica. A veces, cuando la pendiente es pronunciada, se pueden introducir represas para optimizar el almacenamiento temporal y promover la infiltración (De la Fuente et al. 2021).

**Figura 9**

*Esquema de una cuneta vegetada.*



*Nota.* Fuente: Adaptado de De la Fuente et al. (2021).

Se pueden implementar diferentes tipos de cunetas verdes según el interés de quien desarrolle el sistema SUDS y las condiciones del sitio (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, 2017).

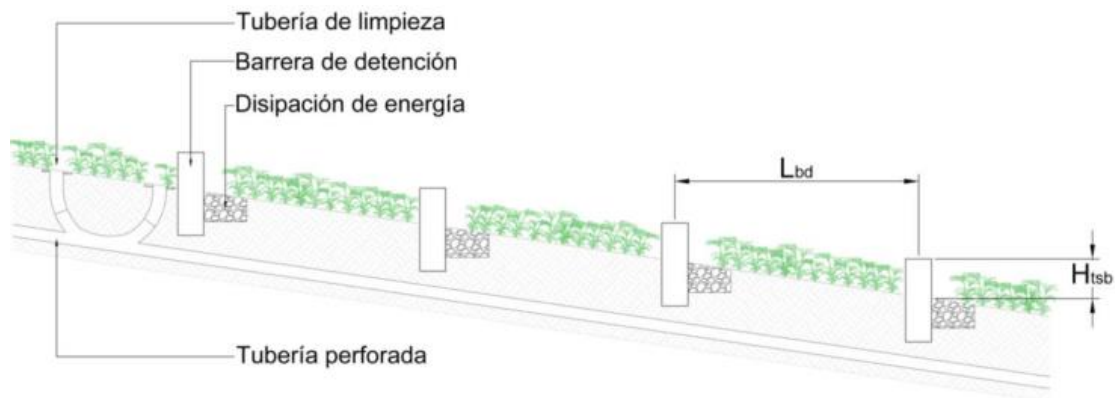
#### **Criterios de diseño**

- Generalmente se considera una sección trapezoidal o parabólica.
- La base generalmente se toma entre 0.5 y 3 m, esta base puede variar dependiendo a las condiciones que se tenga.

- Se recomienda para su implementación que la pendiente debe estar entre 0.5 y 5%. Pero se debe tener en cuenta que para pendientes mayores al 3% se debe considerar elementos de contención transversal, además si se tiene pendientes menores a 1.5% y no se permite la infiltración se considerará conductos drenantes en la base.

**Figura 10**

*Perfil esquemático de una cuneta verde.*



*Nota.* Fuente: Adaptado de Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, 2017

- Para las pendientes laterales se debe considerar de 1V:3H o 1V:4H si es posible.
- Los elementos de contención transversal aumentan la laminación y la infiltración, debido a esto posibilitan la instalación de cunetas vegetadas en zonas con pendientes hasta 10%. Estos embalses se pueden construir con pequeños muros de gaviones, también pueden ser de hormigón o madera, estos pequeños diques deben generar un bypass, además se debe tener en cuenta la instalación de disipadores de energía en la cuneta que minimice la erosión cuando las pequeñas represas rebalse. Estos elementos transversales de contención transversal por lo general se instalan en intervalos de una longitud de 10 a 20 m aguas debajo de los elementos instalados.
- La vegetación a instalarse en la cuneta debe ser la responsable del tratamiento de la escorrentía, por lo que se debe considerar vegetación autóctona, que esté adaptada al clima local, que tenga la capacidad de soportar inundaciones periódicas, sequías y que tenga una densa cobertura y duradera. Para el tratamiento de la calidad de agua esta vegetación debe contar con capacidad fitorremediadora (De Madrid, 2018).



## **Beneficios**

- Proporciona la fundamental función de pretratamiento que consiste en la erradicación de sedimentos gruesos.
- Las superficies impermeables deben ser interrumpidas para reducir la escorrentía.
- El costo de implementación es bajo y requiere mínimo un mantenimiento mínimo una vez instalado.
- Se pueden incluir varias especies de plantas que ayuden a contribuir con la biodiversidad local.
- Estas cunetas pueden encajar en diversos tipos de paisajes, los cuales ofrecen agradables y atractivos paisajes urbanos adornados de estos corredores vegetales (De Madrid, 2018).

## **Requisitos de mantenimiento**

- La altura de la vegetación implementada debe mantenerse entre 5 y 15 cm.
- Debe hacerse una inspección mensual para retirar los sedimentos en la superficie de la cuneta.
- En un periodo de 10 años se debe evaluar si es necesario restaurar la topografía de diseño o si es necesario resembrar o replantar la vegetación (De la Fuente et al., 2021).

## **Limitaciones**

- No se recomienda su implementación en terrenos fácilmente erosionables.
- Posible resuspensión de los sedimentos acumulados en eventos extremos.
- No deben ser localizados en zonas donde hay acumulación de residuos (De Madrid, 2018).

### **2.2.8.1.2. Tanques de almacenamiento**

Estructuras en forma de prisma que se centran en la retención del volumen de escorrentía. El agua retenida es utilizada en actividades que se puede utilizar agua no potable, como es el riego de jardines, lavado de automóviles, limpieza de viviendas, inodoros, limpieza de calles. Esta tipología de SUDS puede diseñarse de diversas formas y su ubicación puede ser de manera superficial o subterránea. Debido a su impacto notable en la reducción de caudales pico y volumen de escorrentía, son recomendables su

implementación en zonas densamente urbanizadas debido a su amplios beneficios y fácil adaptación constructiva (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, 2017).

**Figura 11**

*Ejemplos de tanques de almacenamiento de tipo superficial y subterráneo.*

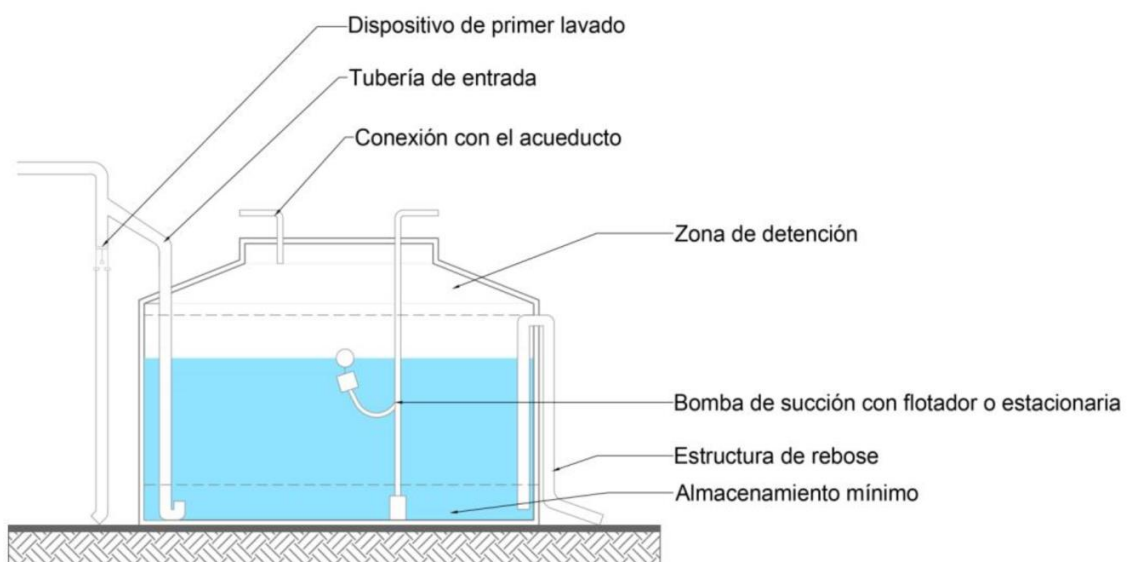


Fuente: Adaptado de Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, (2017).

Los componentes del tanque tipo superficial se detallan en la siguiente figura:

**Figura 12**

*Esquema de un tanque de almacenamiento superficial.*

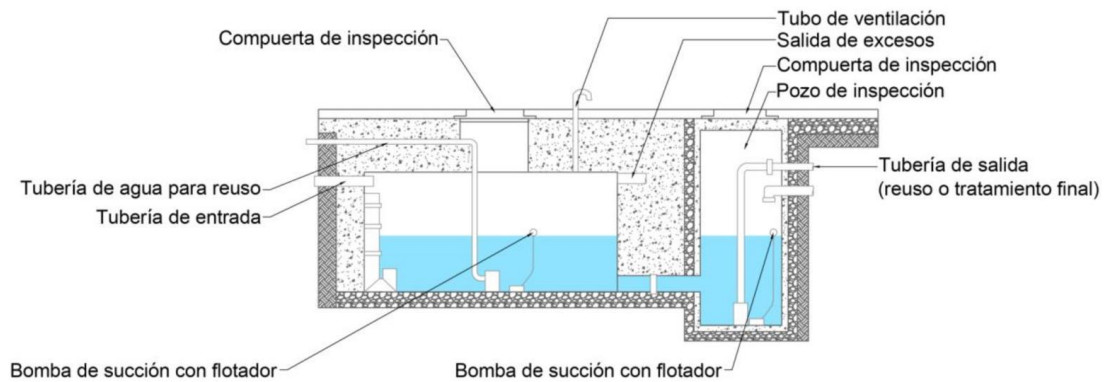


Fuente: Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, (2017).

Los tanques subterráneos son más difíciles en su diseño debido a que presentan mayores componentes y requieren otros estudios:

### Figura 13

*Perfil sintético de un tanque subterráneo.*



Fuente: Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, (2017).

### Beneficios

- Constituyen una nueva fuente de agua como recurso para limpieza, riego, etc. reduciendo la demanda de agua potable ante el déficit que existe hoy en día de este líquido vital.
- Reducen el pico del hidrograma de salida en la red de drenaje pluvial.
- La instalación del sistema es fácil y accesible para su implementación (Abellán 2016).

### Requisitos de mantenimiento

- Requiere una inspección periódicamente (Abellán 2016).

### Limitaciones

- No suelen ser atractivos estéticamente.
- No aporta ecológicamente.
- No hay un tratamiento de la calidad del agua pluvial (Abellán 2016).

## 2.2.9. Dimensionamiento

### 2.2.9.1. Tanques de almacenamiento

El dimensionamiento depende del uso y la calidad del agua. Un factor que influye en la calidad del agua son los materiales que constituyen los techos o las superficies donde entran en contacto con el agua previo al almacenamiento. A continuación, se presenta la metodología de cálculo básico que está asociado a la capacidad del tanque. Esta metodología se centra en utilizar parámetros esenciales como es el volumen de recolección y el volumen del tanque.

#### 2.2.9.1.1. Máximo volumen de recolección

Para el dimensionamiento del volumen de recolección se basa en un análisis hidrológico, debido a que depende de los datos de precipitación recolectados de la estación San Marcos. En este análisis se busca el mayor volumen de recolección para un periodo de retorno de 25 años con el que se va a dimensionar el tanque. Las variables de entrada se detallan en la siguiente tabla:

Parámetro	Descripción
Eficiencia de recolección	Porcentaje que pasa a ser almacenado de manera efectiva, valor recomendado de 80-85%.
Pérdidas por absorción (mm)	Cantidad de agua que no pasa a ser parte del almacenamiento en el tanque, se recomienda un valor cercano a los 2 mm.
Área de drenaje	Área correspondiente a techos o suelos que drenan.
Precipitación	Se requiere una precipitación promedio mensual en el área.

Fuente: Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, (2017).

Con la siguiente ecuación se calcula el volumen de recolección máximo, a partir de este cálculo se puede determinar si es o no apropiado la construcción del tanque, ya que si el volumen de recolección es muy bajo puede que no sea apropiado la implementación del tanque (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, 2017).

$$V_{Rmax} = E_{col} * (P - P_a) * A_d \quad (25)$$

Donde:

V<sub>rmax</sub>: Volumen de recolección máximo (m<sup>3</sup>).

Ecol: Eficiencia de recolección (%).

P: Precipitación (mm).

Pa: Pérdidas por absorción (mm).

Ad: Área de drenaje (m<sup>2</sup>).

### 2.2.9.1.2. Tamaño del tanque

Esta metodología se basa en utilizar información de precipitación mensual y asumir que el volumen de agua en el tanque es cero en el mes más húmedo. La descarga de excesos para cada mes se estima a través de la siguiente ecuación y se tiene que tener la demanda para el uso de agua de lluvia (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, 2017).

$$V_r = V_{r-1} + (Esc - Dem) - Q_{ex} \quad (26)$$

Donde:

V<sub>r</sub>: Volumen de agua remanente al final del mes (m<sup>3</sup>).

V<sub>r-1</sub>: Volumen de agua remanente al final del mes anterior (m<sup>3</sup>)

Esc: Escorrentía (m<sup>3</sup>).

Dem: Demanda (m<sup>3</sup>).

Q<sub>ex</sub>: Descarga de excesos (m<sup>3</sup>).

$$Q_{ex} = V_{r-1} + Esc - Dem - V \quad (27)$$

Donde:

Q<sub>ex</sub>: Descarga de excesos (m<sup>3</sup>).

V<sub>r-1</sub>: Volumen de agua remanente al final del mes anterior (m<sup>3</sup>)

Esc: Escorrentía (m<sup>3</sup>).

Dem: Demanda (m<sup>3</sup>).

V: Volumen de tanque (m<sup>3</sup>)

Estas ecuaciones nos permiten relacionar el volumen del tanque propuesto con una demanda mensual que debe ser cubierta. Para obtener el volumen del tanque se tiene que

realizar un procedimiento iterativo, donde se estime el volumen remanente al final de cada mes con el volumen del tanque y se pueda verificar que el volumen remanente es siempre mayor que cero (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, 2017).

### 2.2.9.2. Cunetas vegetadas

#### 2.2.9.2.1. Diseño hidrológico

El dimensionamiento de las cunetas verdes se realiza mediante los caudales para diferentes periodos de retorno, específicamente se utiliza periodos de retorno frecuentes que son de 2 a 5 años, en cambio para la verificación se utiliza eventos extremos de 10 años a más. Teniendo en cuenta la normativa del ministerio de vivienda recomienda utilizar un periodo de retorno mínimo de 25 años. De esta manera para poder calcular el caudal de diseño es necesario conocer las siguientes variables:

**Tabla 15**

*Variables hidrológicas necesarias para el dimensionamiento de una cuenta vegetada.*

Variable	Definición
Área tributaria ( $A_d$ )	Área que aporta escorrentía a la cuneta verde.
Coefficiente de escorrentía (C)	Coefficiente (de 0 a 1) que representa la permeabilidad de la superficie.

En primer lugar, se tiene que determinar la intensidad de lluvia de la zona de estudio, para los diferentes periodos de retorno que son de 2 y 25 años, se obtienen por medio de las curvas IDF.

En segundo lugar, se define el área de drenaje que está delimitada según los aspectos topográficos. Por otro lado, el coeficiente de escorrentía está definido por el tipo de cobertura dentro del área de drenaje (techos, zonas verdes, parques, etc.)

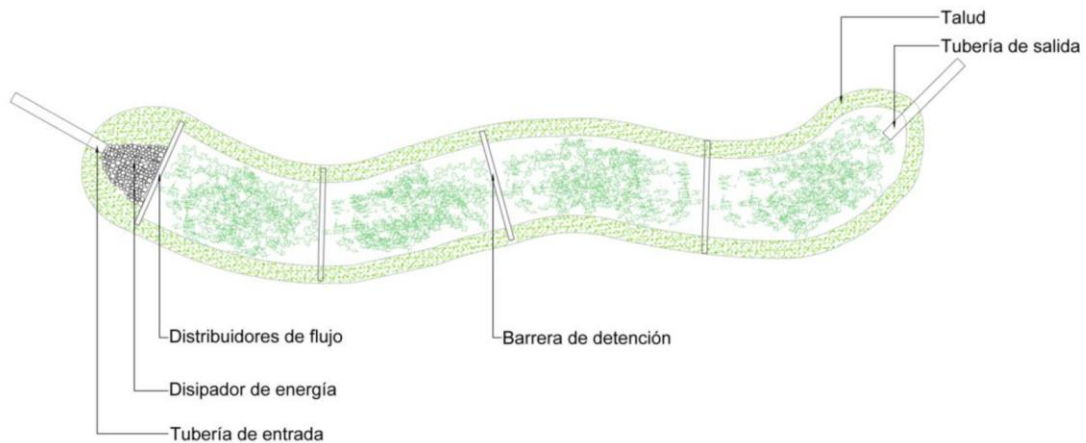
Una vez obtenida la intensidad de la lluvia por medio de las curvas IDF, el área de drenaje y el coeficiente de escorrentía, se procede a calcular el caudal de diseño para los periodos de retorno requeridos (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, 2017).

$$Q = \frac{1}{3600000} I * A_d * C \quad (28)$$

Donde  $Q$  = Caudal de diseño ( $m^3/s$ ),  $I$  = Intensidad de lluvia ( $mm/hs$ ),  $A_d$  = Area tributaria de la cuenca ( $m^2$ ) y  $C$  = coeficiente de escorrentía.

**Figura 14**

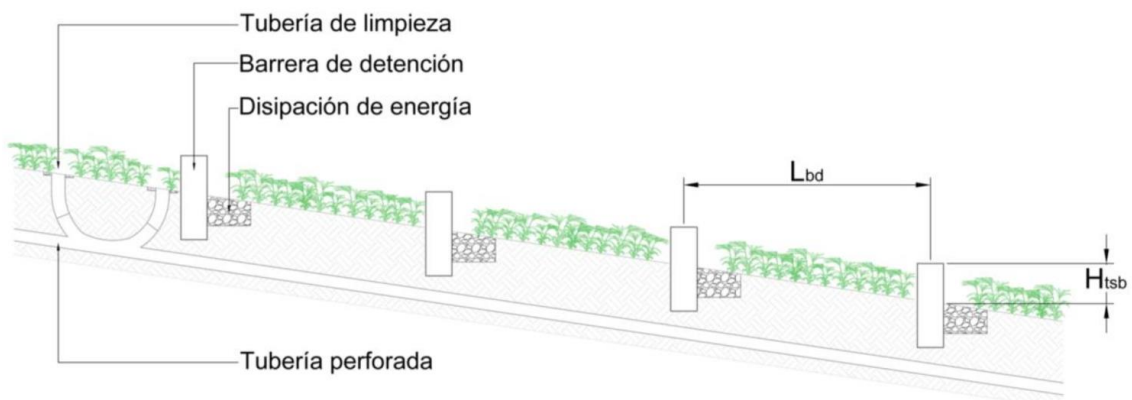
*Planta esquemática de una cuneta vegetada.*



Fuente: Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, (2017).

**Figura 15**

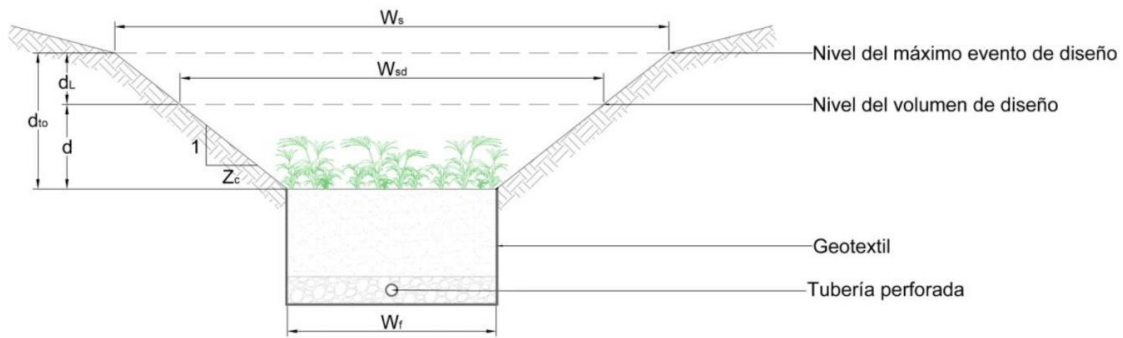
*Perfil de una cuneta vegetada.*



Fuente: Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, (2017).

**Figura 16**

*Corte de una cuneta vegetada con tubería perforada.*



Fuente: Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, (2017).

### 2.2.9.2.2. Dimensionamiento

Esta metodología comprende recomendaciones de diseño y el proceso que se debe seguir para la implementación y el dimensionamiento de cunetas vegetadas. El objetivo de esta metodología gira en torno a maximizar el tiempo de resiliencia hidráulica para aumentar la eficiencia de la misma (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, 2017).

#### 2.2.9.2.2.1. Tiempo de residencia hidráulico

Se ha determinado que tiempos de residencia hidráulica altos aumenta su eficiencia de las cunetas verdes en el tratamiento del agua, lo que permite mejorar la calidad de la escorrentía transportada. Por esta razón es un parámetro determinante al condicionar el tamaño con el cual se diseñará la cuneta (particularmente la longitud (L) de la cuneta). Para encontrar un valor adecuado del tiempo de residencia hidráulico se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$T_{rs} = \frac{L}{V_f} \quad (29)$$

En donde  $T_{rs}$  = Tiempo de residencia hidráulico (h),  $L$  = Longitud de la cuneta (m) y  $V_f$  = Velocidad de diseño (m/s).

La longitud de entrada es un parámetro de entrada ya que debe ser determinada por la disponibilidad del espacio, esta distancia debe tratar de maximizar esta distancia tanto como sea posible. Si las condiciones de la zona de estudio no permiten una gran distancia, se debe disminuir la pendiente y aumentar la sección transversal de la cuneta, con el



objetivo de aumentar el tiempo de residencia hidráulico (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, 2017).

#### 2.2.9.2.2.2. Pendiente longitudinal

Se recomienda pendientes bajas de manera que transporte el flujo lo más lento posible, esto facilita procesos de sedimentación, infiltración y a la misma vez evitar la erosión. La pendiente establecida por medio de criterios como el número de Froude, la velocidad y la profundidad, debe permitir que el caudal fluya hacia aguas abajo. Los parámetros asociados a la pendiente longitudinal de la cuneta:

**Tabla 16**

*Parámetros asociados a la pendiente longitudinal de la cuneta.*

Parámetro	Descripción
Pendiente disponible (Sp)	Pendiente presente en la zona de estudio, sin realizar ninguna modificación.
Pendiente de diseño (S)	Pendiente que se considera óptima para la implementación de la cuneta.

Para un predimensionamiento de manera general se puede recomendar una pendiente de diseño mínima 0.01 m/m, debido a que esta pendiente permite un drenaje apropiado en la estructura. Además, se debe incluir barreras que son una solución útil para controlar limitaciones de la zona de estudio (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, 2017).

#### 2.2.9.2.2.3. Geometría de la cuneta

Se enfoca principalmente en la sección transversal de la cuneta vegetada, se recomienda que la geometría tenga una sección trapezoidal. Como el objetivo principal se centra en aumentar el tiempo de retención se propone un diseño de tal manera que las pendientes laterales tengan una relación horizontal vertical mayor o igual a 3:1.

Parámetro	Descripción
Pendiente lateral de cuneta (Z:1)	Se recomienda pendientes mayores a 3:1
Ancho de fondo de la cuneta ( $W_f$ )	Se recomienda un ancho mínimo de 0.5m.

#### 2.2.9.2.2.4. Velocidad

El parámetro de velocidad es un parámetro que influye directamente en el tiempo de residencia hidráulico. Por lo que una velocidad alta en el flujo de agua impedirá un tratamiento adecuado de la misma, lo que disminuye la eficiencia de la tipología. Por tal motivo se busca tener las velocidades lo más bajas posibles, que no pase los 50 cm/s. Teniendo el caudal en el cálculo hidrológico se puede obtener aplicando la ecuación de continuidad:

$$v_f = \frac{Q_{2-5}}{A_w} \quad (30)$$

Donde  $V_f$  = Velocidad de diseño (m/s),  $Q_{2-5}$  = Caudal de diseño para un periodo de retorno de 2 a 5 años (m<sup>3</sup>/s) y  $A_w$  = Área de flujo (m<sup>2</sup>) (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, 2017).

#### 2.2.9.2.2.5. Diseño

Se obtienen los valores adecuados para los parámetros de interés hidráulico, de control y eficiencia de la cuneta. Como uno de los parámetros más importantes a tener en cuenta es el área de flujo de la cuneta. Debido a que se emplea en el cálculo de la velocidad de diseño, y esta influye de manera directa en el proceso de maximización del tiempo de retención hidráulica.

$$A_w = (d * W_f) + (Z * d^2) \quad (31)$$

Donde  $A_w$  = Área de flujo (m<sup>2</sup>),  $W_f$  = Ancho del fondo de la cuneta (m),  $Z$  = Pendiente lateral de la cuneta (Z:1) y  $d$  = Profundidad del flujo (m).

Los parámetros a diseñarse se deben hacer con el fin de obtener un área con un valor elevado o alto, para disminuir la velocidad y aumentar el tiempo de residencia hidráulico. Se recomienda un valor máximo de 30 cm de profundidad, para promover el tratamiento de la calidad del agua. De esta manera se puede obtener el ancho superior de la cuneta ( $W_{sd}$ ) y se puede realizar la comprobación hidráulica asociada al número de Froude (F).

$$W_{sd} = W_f + (2 * d * Z) \quad (32)$$

$$F = \frac{v_f}{\sqrt{g * \left(\frac{A_w}{W_{sd}}\right)}} \quad (33)$$

Donde  $W_{sd}$  = Ancho de cuneta a la altura del flujo (m),  $W_f$  = Ancho de fondo de la cuneta (m),  $d$  = Profundidad del flujo (m),  $Z$  = Pendiente Lateral del canal (Z:1),  $F$  = Número de Froude,  $v_f$  = Velocidad de diseño (m/s),  $g$  = Gravedad (m/s<sup>2</sup>) y  $A_w$  = Área del flujo (m<sup>2</sup>).

La altura acumulada se calcula como el producto entre la longitud que tendrá la cuneta y la diferencia entre la pendiente longitudinal del lugar y la pendiente escogida óptima. Se recomienda que el número de Froude no exceda un valor de 0.5, de tal manera se puede obtener un flujo subcrítico o lento. La profundidad de diseño representa un parámetro fundamental para el dimensionamiento de las cunetas verdes, por lo que se tiene que realizar un proceso iterativo para el cálculo del caudal de diseño en base a un valor de  $n$  de Manning:

$$Q_{2-5} = \frac{1}{n} \left( A_w R_H^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \right) \quad (34)$$

Donde  $Q_{2-5}$  = Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s),  $n$  = valor del  $n$  de Manning,  $A_w$  = Área de flujo (m<sup>2</sup>),  $R_H$  = Radio Hidráulico (m) y  $S$  = Pendiente de diseño (m/m).

Para el valor del radio hidráulico dependerá con la geometría de la sección transversal de la cuneta vegetada, dado que se recomienda una sección trapezoidal, se puede calcular con la siguiente expresión:

$$R_H = \frac{A_w}{W_f + 2d * \sqrt{1 + Z^2}} \quad (35)$$

Donde  $R_H$  = Radio hidráulico (m),  $A_w$  = Área de flujo (m<sup>2</sup>),  $W_f$  = Ancho del fondo de la cuneta (m),  $d$  = Profundidad de flujo (m) y  $Z$  = Pendiente lateral de la cuneta (Z:1) (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, 2017).

#### **2.2.9.2.2.6. Borde libre**

Para comprobar las condiciones del diseño se cumplan, de tal manera que se asegure el control del drenaje sin inundaciones, se calcula el borde libre requerido que suele recomendarse trabajar para un periodo de retorno de 50 a 100 años, en nuestro caso de estudio se comparará con el caudal de diseño para un periodo de retorno de 25 años el cual nos recomienda la norma CE.040. Para determinar un valor apropiado del borde libre ( $d_L$ ) se realiza una comparación del valor calculado para el evento en análisis con una altura mínima recomendada (0.15 m), con este valor determinado se puede obtener la profundidad de la cuneta ( $d_{t0}$ ).

$$d_{t0} = d_L + d \quad (36)$$

Donde  $d_{t0}$  = Profundidad mínima de la cuneta (m),  $d_L$  = Borde libre recomendado (m) y  $d$  = Profundidad de flujo (m) (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, 2017).

#### 2.2.9.2.2.7. Barreras de detención

Se plantean estructuras de detención las cuales es necesario implementar cuando la pendiente del terreno es muy alta (mayor a 0.02 m/m) y la pendiente óptima de diseño es menor a esta. Para realizar los cálculos se toma en cuenta cinco parámetros, en los que se incluye la pendiente disponible ( $S_p$ ), la pendiente de diseño ( $S$ ), la profundidad del flujo ( $d$ ), el borde libre recomendado ( $d_L$ ) y la longitud de la cuneta ( $L$ ). Con los valores obtenidos se determina la profundidad real de la cuneta ( $d_{t0r}$ ) que es igual o mayor a la profundidad mínima ( $d_{t0}$ ) y a la misma vez se establece la altura total superficial de las barreras ( $H_{tsb}$ ).

$$H_{tsb} \leq d_{t0r} \quad (37)$$

$$H_{tsb} \geq d \quad (38)$$

Donde  $H_{tsb}$  = Altura total superficial de las barreras (m),  $d_{t0r}$  = profundidad real de la cuneta (m) y  $d$  = profundidad del flujo.

A partir de esta información obtenida se puede calcular la distancia máxima entre barreras ( $L_{bd}$ ).

$$L_{bd} = \frac{H_{tsb}}{S_p - S} \quad (39)$$

Donde  $L_{bd}$  = Distancia entre barreras (m),  $H_{maxb}$  = Altura máxima (m),  $S_p$  = Pendiente disponible (m/m) y  $S$  = Pendiente de diseño (m/m).

Para calcular el número de barreras necesarias ( $N_{bd}$ ):

$$N_{bd} = \frac{L}{L_{BD}} \quad (40)$$

Donde  $N_{bd}$  = Número de barreras requeridas, Longitud de la cuneta (m) y  $L_{bd}$  = Distancia entre barreras (m)

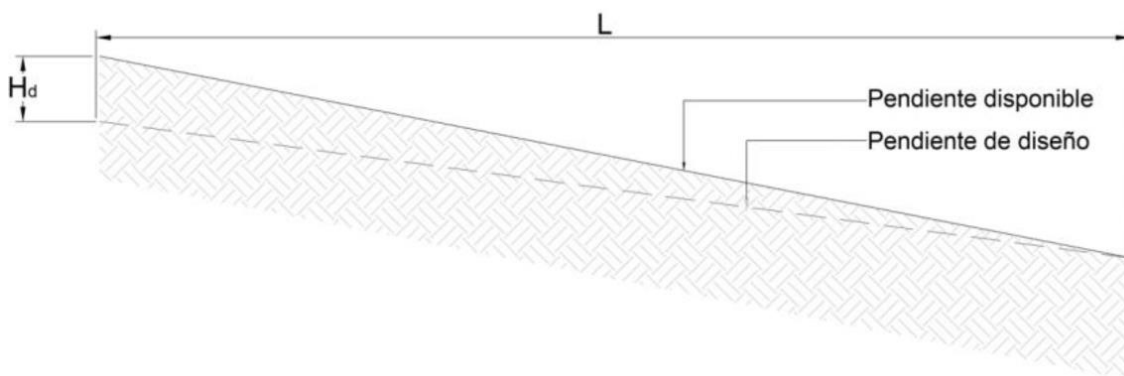
Si se va a realizar una modificación a la pendiente disponible se calculará la altura acumulada para las estructuras de control ( $H_d$ )

$$H_d = (S_p - S) * L \quad (41)$$

Donde  $H_d$  = Altura acumulada requerida (m),  $S_p$  = Pendiente disponible (m/m),  $S$  = Pendiente de diseño (m/m) y  $L$  = Longitud de la cuneta (m) (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, 2017).

### Figura 17

*Esquema de la altura acumulada requerida.*



Fuente: Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, (2017).

### 2.2.10. Modelamiento Hidráulico

Dentro de los principales problemas que enfrenta la ingeniería hidráulica uno de los más importantes es el diseño de las estructuras hidráulicas, debido a que se debe cumplir con el compromiso de resolver armoniosamente los aspectos de seguridad, eficiencia y costo. Ante esta situación y con los conocimientos fundamentales de la hidráulica y Mecánica de Fluidos es necesario para enfrentarse a estos diseños con una alta probabilidad de éxito. Sin embargo, estos resultados no siempre fueron satisfactorios ya que algunos diseños han sido un completo fracaso porque los fenómenos que ocurren en la hidráulica son tan complejos que la idealización de la hidrodinámica y la Mecánica de Fluidos es incapaz de caracterizarlos en su totalidad; como una solución a estos casos se recurre a la investigación en modelos hidráulicos. Modelo hidráulico es toda esquematización de la realidad estableciendo cuales son las variables determinantes del fenómeno y que por lo tanto no pueden ser ignoradas en la idealización que se hace con fines de estudio. Por lo tanto, un modelo hidráulico es una representación esquemática de una fracción de la naturaleza tanto el modelamiento numérico como el modelo físico (Rocha, 1985).

### **2.2.10.1. Modelo Storm Water Management Model (SWMM)**

Los organismos líderes en desarrollo de métodos numéricos y modelos de hidrología urbana la “Environmental Protection Agency” (EPA) de USA. La agencia EPA, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército y el National Weather Service de USA desarrollaron en SWMM, que es un modelo de bloques temáticos, en el cual cada operación se contiene en un block, estos blocks se pueden combinar de acuerdo a las condiciones que le asigne el usuario. El SWMM es un modelo de simulación dinámica de precipitación - escorrentía que calcula tanto la cantidad como la calidad del agua proveniente principalmente de áreas urbanas. El modelo se puede utilizar para simular eventos aislados, así como para simulación continua (Fattorelli y Fernández, 2011).

El modelo de gestión de aguas pluviales (SWMM) de la EPA es un modelo dinámico de simulación de lluvia y escorrentía que se utiliza para simular la cantidad y calidad de escorrentías puntuales (continuas) a largo plazo, principalmente en áreas urbanas. El componente de escorrentía de SWMM opera sobre un conjunto de subcuencas que reciben precipitación y generan escorrentía y cargas contaminantes. La parte del SWMM que maneja el flujo que lo transporta a través de un sistema de tuberías, canales, equipo de tratamiento/almacenamiento, bombas y reguladores. El SWMM rastrea la cantidad y la calidad del flujo generado en cada subcuenca, así como la tasa de flujo, la profundidad del flujo y la calidad del agua en cada tubería y canal durante un período simulado que incluye varios pasos de tiempo (EPA, 2022).

#### **2.2.10.1.1. Aplicaciones típicas de SWMM**

Desde sus inicios, SWMM se ha utilizado en miles de estudios de aguas residuales y pluviales en todo el mundo. Las aplicaciones típicas incluyen:

- Diseño y dimensionamiento de los componentes del sistema de drenaje para el control de inundaciones
- Dimensionamiento de estructuras de contención y sus accesorios para control de inundaciones y protección de la calidad del agua
- Mapeo de llanuras aluviales de sistemas de canales naturales
- Diseñar estrategias de control para minimizar los desbordamientos de alcantarillado combinado
- Evaluación del impacto de la infiltración y la escorrentía dependiente de la lluvia en los desbordamientos del alcantarillado sanitario

- Genere cargas contaminantes a partir de fuentes difusas para estudios de distribución de carga de residuos
- Evaluación de la efectividad de BMP en la reducción de la carga contaminante en clima húmedo (EPA, 2022).

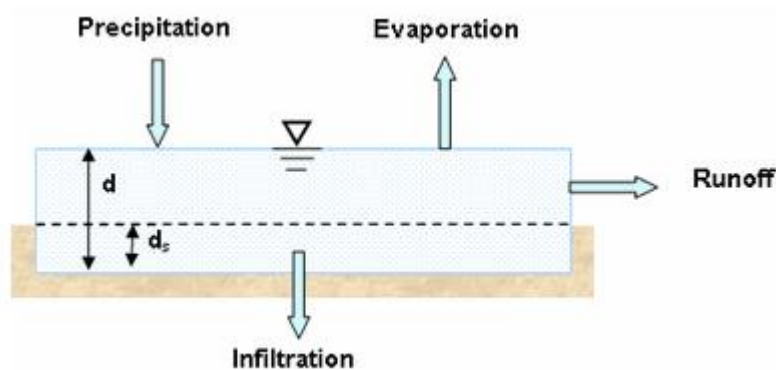
### 2.2.10.1.2. Métodos de modelización y cálculo

#### Procesos lluvia – escorrentía

La vista conceptual del flujo superficial utilizada por SWMM se muestra en la siguiente figura.

**Figura 18**

*Esquema de la modelación de cada subcuenca.*



**Nota.** Fuente: Storm Water Management Model User’s Manual Version 5.2, 2022.

Cada superficie de la subcuenca se considera un depósito no lineal. Las entradas provienen de la lluvia y la escorrentía de las subcuencas designadas aguas arriba. El flujo es la filtración, la evaporación y la escorrentía superficial. La capacidad de este depósito es la capacidad máxima de almacenamiento cóncavo, que es la capacidad máxima de almacenamiento superficial proporcionada por charcos, humectación superficial y bloqueo. El flujo de salida superficial,  $Q$ , ocurre solo cuando la profundidad  $d$  del agua en el "reservorio" excede la reserva máxima en la depresión,  $d_s$ , en cuyo caso el flujo de salida está dado por la ecuación de Manning. La profundidad del agua en la subcuenca ( $d$ ) se actualiza continuamente con el tiempo resolviendo numéricamente la ecuación del balance de agua sobre la subcuenca (EPA, 2022)

A partir del análisis de conservación de la masa se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f - q \quad (42)$$

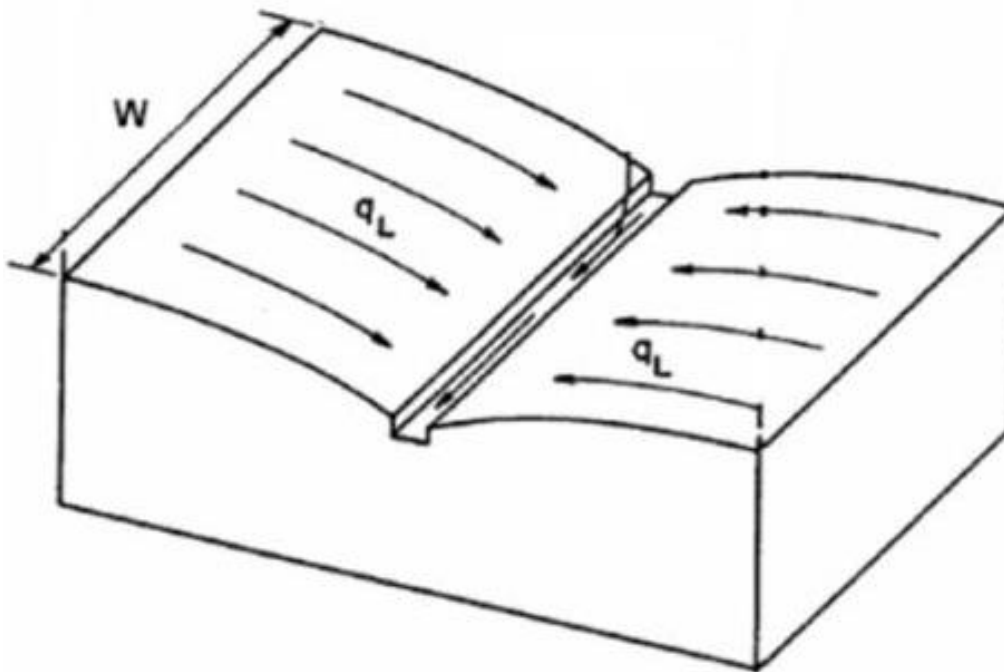
Esta ecuación nos indica el cambio de altura de la lámina de agua “d” en el tiempo como una diferencia de caudales entrantes y salientes como se muestra en la figura N°43.

- i = intensidad de precipitación
- e = evaporación
- f = infiltración
- q = caudal de escorrentía superficial

Para poder calcular el caudal se hizo una idealización y se asumió que el caudal de agua en la superficie de la subcuenca se comporta como un flujo uniforme en un canal rectangular de un ancho W, una altura d – ds, y pendiente S como se especifica en la figura N°44, con esta idealización la fórmula de Manning se puede utilizar para calcular el caudal de escorrentía Q como se detalla en la ecuación (44) (EPA, 2022).

**Figura 19**

*Idealización de una subcuenca.*



*Nota.* Fuente: EPA, (2022).

$$Q = \frac{1}{n} S^{1/2} R_h^{2/3} A \tag{43}$$

En esta ecuación n es el coeficiente de Manning de la superficie de la superficie, A representa el área de la sección transversal de la idealización del supuesto canal rectangular (de altura d – ds y ancho W) y Rh representa el radio hidráulico que este



asociado a esta área. Entonces dado que  $W$  será mayor que  $d$ , entonces se puede aproximar que  $R_h = d - d_s$ , sustituyendo estas consideraciones obtenemos:

$$Q = \frac{1}{n} WS^{1/2}(d - d_s)^{5/3} \quad (44)$$

Además, se sabe que  $q=Q/A$  se reemplaza en la ecuación (28):

$$q = \frac{WS^{1/2}(d - d_s)^{5/3}}{An} \quad (45)$$

De la ecuación de caudal unitario obtenida reemplamos en la ecuación de balance de masas, esta resulta debido a que se realizó un cambio de variable:

$$\alpha = \frac{WS^{1/2}}{An}$$

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f - \alpha(d - d_s)^{5/3} \quad (46)$$

Entonces, obtuvimos que la ecuación anterior es una ecuación diferencial no lineal ordinaria. Dados los valores conocidos de  $i$ ,  $e$ ,  $f$ ,  $d_s$  y  $\alpha$ , se puede resolver numéricamente para cada intervalo de tiempo para obtener la altura de agua acumulada  $d$ . Una vez que se conoce  $d$ , se pueden encontrar los valores de esorrentía  $q$ . En el caso de que  $d$  sea menor que  $d_s$ , el valor del flujo superficial es cero y el balance de masa se simplifica. Esta ecuación se resolverá para cada parte de la superficie impermeable sin retención superficial y zona permeable de cada subcuenca. La diferencia entre tres tipos diferentes de área en una subcuenca, al resolver la ecuación, será el coeficiente de Manning  $n$  y el área de cada tipo; el ancho y la pendiente permanecen constantes en toda la subcuenca (EPA, 2022).

### 2.2.10.1.3. Cálculo hidráulico de la red de colectores

El cálculo que realiza SWMM 5.2 del caudal de agua en los elementos o conductos de la red de drenaje se fundamenta en los principios de conservación de masa y cantidad de movimiento para caudales o flujos gradualmente variado, no permanente; es decir utiliza las ecuaciones de Saint Venant como se detalla a continuación: (EPA, 2022).

Ecuación de conservación de masa:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (47)$$

Ecuación de conservación de la cantidad de movimiento:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} = gA(I_0 - I_f) \quad (48)$$

Donde Q es el caudal circulante, A es la sección transversal del conducto ocupada por el flujo de agua, x es la abscisa en la dirección del conducto, t es el tiempo, q el caudal específico, g la aceleración de la gravedad, y el calado,  $I_0$  es la pendiente del conducto e  $I_f$  es la pendiente de la línea de energía. Este es un caso de sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales, no lineales y de tipo hiperbólico, que carecen de solución analítica. SWMM5 es capaz de representar los siguientes procesos en la red de colectores:

- Captación del flujo de agua proveniente de la escorrentía superficial, infiltración de agua freática, caudales sanitarios y otros caudales entrantes en la red definidos por el usuario.
- Flujo gradualmente variable a través de cualquier tipo de configuración de canal, conducto y depósito.
- Varios posibles regímenes de flujo como rápidos o lentos, entrada en carga, inversión de flujo, etc.
- Regulación del flujo por medio de bombas, orificios, vertederos, etc (EPA, 2022).

#### **2.2.10.1.4. Modelo hidráulico de transporte (Flow Routing)**

Para poder resolver las ecuaciones de Saint Venant, SWMM nos brinda tres metodologías para el cálculo, para la presente investigación se ha utilizado el modelo de la Onda Dinámica.

- **Modelo de Onda Dinámica (Dynamic Wave)**

Este modelo hidráulico resuelve las ecuaciones completas unidimensionales (Intervienen todas las fuerzas actuantes: gravedad, fricción, presión e inercia) de Saint Venant y por ende genera teóricamente los resultados más precisos e los métodos propuestos por el EPA SWMM. Estas ecuaciones suponen la ecuación de continuidad y cantidad de movimiento de las conducciones y la continuidad en los volúmenes en los nodos. SWMM5 resuelve el sistema de ecuaciones mediante un esquema de diferencias finitas explícitas que utiliza intervalos de tiempo reducidos con objetivo de asegurar la

estabilidad de la solución. Para que el proceso de cálculo sea más rápido, SWMM5 resuelve de manera simultánea la altura de la lámina libre solamente en los nodos de la red y el valor del caudal solamente en los conductos.

Este método de cálculo permite representar el flujo a presión cuando se alcanza en un conducto el caudal a tubo lleno. Cuando la altura de la lámina de agua en un pozo de registro excede la altura máxima de este, el flujo de agua desborda y produce inundación.

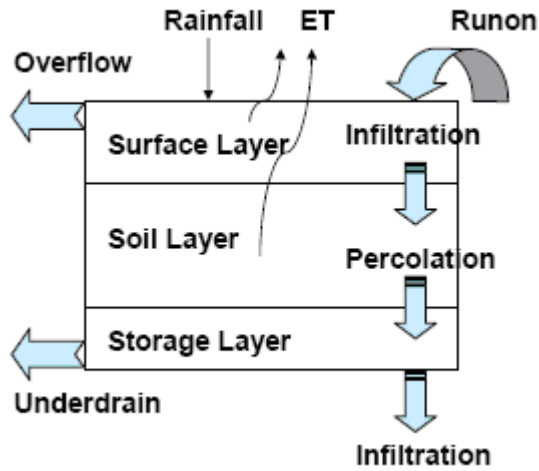
El método de la onda dinámica puede considerar efectos como almacenamiento en los conductos, resaltos hidráulicos, pérdidas en la entrada y la salida en los pozos de registro, el flujo inverso y el flujo presurizado. Este método puede aplicarse en cualquier esquema de red de drenaje, tanto en redes malladas como ramificadas. Además, este método es adecuado para sistemas sujetos a efectos de remansos a causa de restricciones aguas abajo además de tener elementos de regulación como vertederos u orificios. Los intervalos de tiempo deberán ser más reducidos en un orden de 1 minuto o menos. Otro importante inconveniente del uso de la onda dinámica son las inestabilidades de cálculo que aparecen con escenarios de flujo complejos. Como solución a estos obstáculos el cálculo SWMM5 ofrece la posibilidad de simplificar los términos inerciales, que acostumbran a ser los más problemáticos en términos de inestabilidad numérica de la solución. SWMM5 permite ponderarlos de manera que se reduzca su importancia en zonas conflictivas o directamente ignorarlos utilizando una aproximación de onda difusiva (en la que intervienen fuerzas de gravedad, fricción y presión hidrostática) (EPA, 2022).

#### **2.2.10.1.5. Simulación de las técnicas LID o SUDS con SWMM**

Las técnicas SUDS son representadas como una combinación de capas verticales cuyas propiedades se definen por unidad de superficie o área. Esto permite colocar fácilmente LID o SUDS del mismo diseño, pero con diferente cobertura de área en diferentes subcuencas de un área de estudio. Durante la simulación, SWMM realiza un balance de humedad que registra la cantidad de agua que se mueve y se almacena en cada capa de LID. Como ejemplo, a continuación, se muestran las capas utilizadas para modelar una celda de biorretención y las vías de flujo entre ellas:

**Figura 20**

*Esquema de representación de las técnicas SUDS o LID.*



*Nota.* Fuente: EPA (2022).

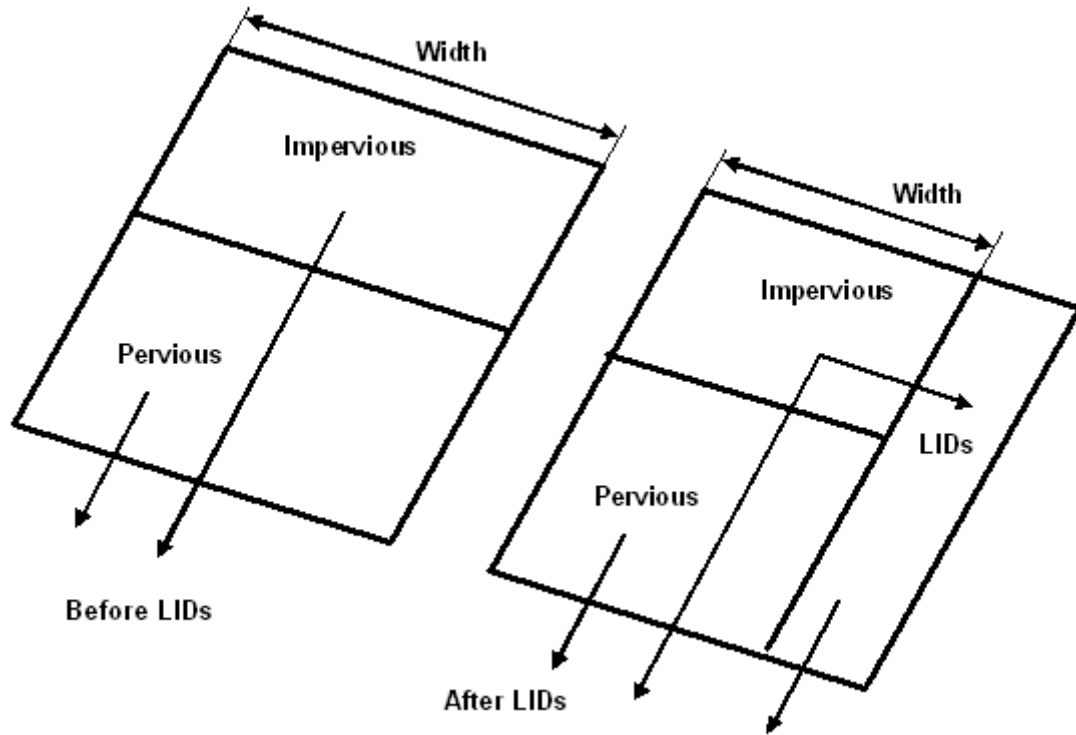
Para asignar los SUDS en SWMM nos brinda dos métodos para ubicar estas técnicas en una subcuenca:

- Colocar una o más técnicas de control en una subcuenca existente, para desplazar una cantidad equivalente de área no cubierta por los SUDS disminuya.
- Crear una subcuenca aparte específicamente para albergar el SUDS que se va a implementar.

En el primer método nos permite implementar un conjunto de diferentes técnicas SUDS en una misma subcuenca, cada una trabajando en paralelo, pero tratando una porción diferente de la escorrentía. El software no permite que trabajen en serie, es decir, la salida del caudal de una técnica LID sea la entrada para la siguiente. Asimismo, el porcentaje de área impermeable y el parámetro de ancho de la subcuenca deberán ser ajustados para compensar el área que ocupa la técnica SUDS a implementar, como se muestra a continuación en la figura N° 21:

**Figura 21**

*Ajuste de los parámetros de porcentaje de área impermeable y ancho después de ubicar un LID en una subcuenca.*



*Nota.* Fuente: EPA (2022).

Este ajuste del área las diferentes SUDS implementados en una misma subcuenca trataran tanto el agua del área que cae sobre ellos como la escorrentía generada por el área impermeable y se direcciona hacia ellos. El segundo método permite que los SUDS trabajen en serie, de la misma forma que derivar la escorrentía generada de una subcuenca hacia un SUDS implementado.

El caudal de salida de los SUDS se deriva por defecto al mismo nodo de conexión de la cuenca con el drenaje pluvial al que forman parte; se considera flujo de salida tanto el flujo de colapso como el caudal que evacua un posible dren situado en una de las capas que lo forma. Sin embargo, se puede escoger devolver a las áreas permeables de la subcuenca todo el caudal de salida de los SUDS (EPA, 2022).

**Tipologías en estudio**

Como los SUDS son prácticas de desarrollo de bajo impacto diseñadas exclusivamente para capturar la escorrentía superficial y proporcionarle alguna combinación de

detención, infiltración y evapotranspiración. SWMM explícitamente los siguientes genéricos de controles de escorrentía SUDS (EPA, 2022).

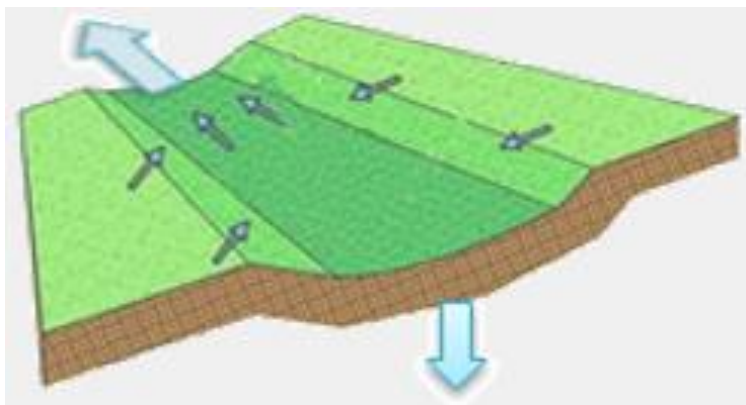
- Rain Barrels
- Cunetas verdes (“Vegetative Swales”)

### **Cunetas vegetadas (Vegetative Swales)**

SWMM considera a las cunetas vegetadas como canales o áreas en deprimidas con una cierta pendiente longitudinal cubiertas de vegetación. Esta vegetación permite ralentizar el transporte de la escorrentía lo que aumenta el tiempo de paso del caudal para que pueda infiltrarse en el terreno natural y disminuya este caudal. Además, proporcionan espacio para almacenar escorrentía, permiten la infiltración en el terreno natural y evapotranspirar la escorrentía que cae en áreas adyacentes como el agua que cae directamente sobre su superficie.

### **Figura 22**

*Esquema de la modelización de las cunetas vegetadas por parte de SWMM.*



*Nota.* Fuente: EPA (2022).

Por lo tanto, la única capa de que disponen las cunetas verdes en SWMM5 es la de superficie. Tal y como representan las flechas de color azul de la ilustración anterior, el agua entra por superficie (ya sea en forma de escorrentía o de precipitación) y puede salir por superficie (en caso de rebose) o infiltrándose en el terreno (EPA, 2022).

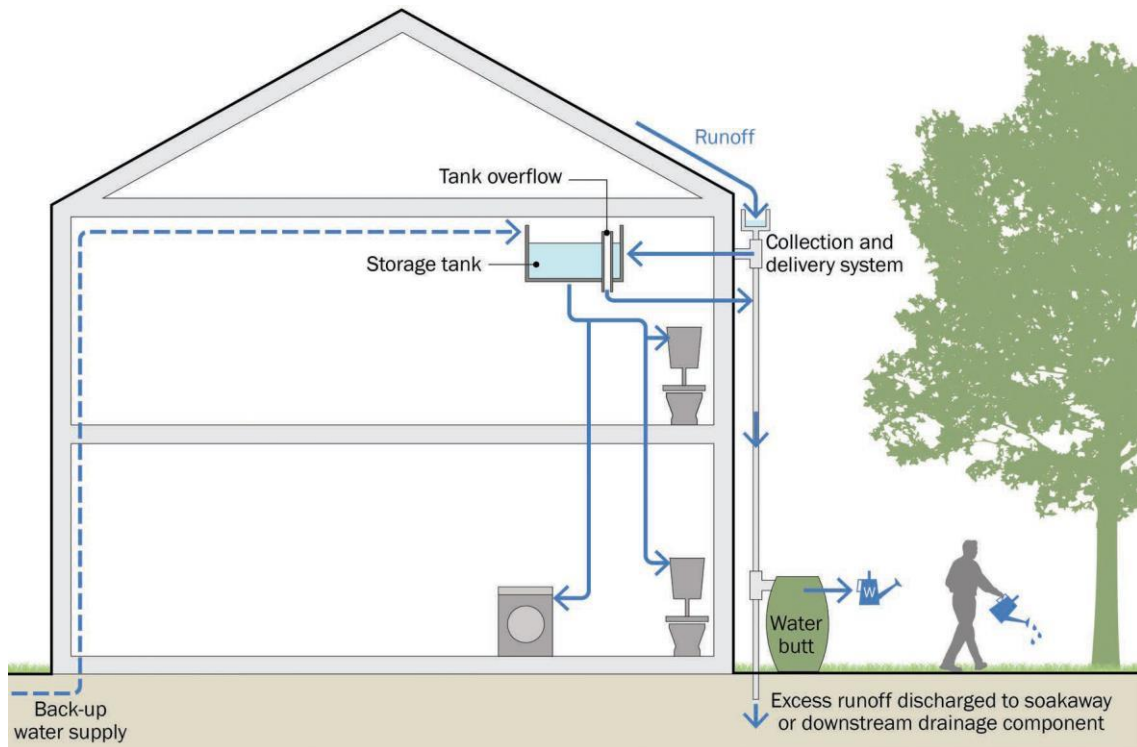
### **Tanques de almacenamiento (Rain Barrels)**

Los tanques de lluvia (o cisternas) son recipientes que recogen el agua de lluvia en los techos durante las tormentas y pueden liberar o reutilizar el agua de lluvia durante los

períodos secos (EPA, 2022). Estas aguas recogidas pueden ser utilizadas para fines no potables como inodoros, lavadoras, para uso de lavado de carros y para riego de jardines.

**Figura 23**

*Sistema conceptual de tanques de almacenamiento.*



Fuente: Woods (2015).

Para el análisis de esta técnica en SWMM utiliza la capa de almacenamiento, y la capa de drenaje.

Según el SWMM nos indica qué combinación de capas se aplica a cada tipo de SUDS (x significa obligatorio, u opcional):

**Tabla 17**

*Combinación de capas para cada tipología de SUDS en SWMM.*

SUDS	Superficie	Pavimento	Suelo	Almacenamiento	Drenaje	Estera de drenaje
Rain Barrel				x	x	
Vegetative Swale	x					

Fuente: Adaptado de EPA (2022).

## Capa de superficie (Surface Layer)

La capa de superficie es utilizada para describir las propiedades de la superficie en la que la cuneta vegetada se va a instalar:

- **Altura de berma:** Cuando se tenga bermas o muros de protección, esta será la altura hasta donde el agua puede almacenarse antes de desbordar esta altura en mm. Para las cunetas verdes esta será la altura de la sección trapezoidal de la cuneta.
- **Volumen de vegetación:** La fracción de volumen de almacenamiento de la técnica SUDS que se encuentra rellena de vegetación, normalmente es un parámetro que no se toma en cuenta, pero en ocasiones alcanza alturas de 0.1 o 0.2 para vegetaciones muy densas.
- **Rugosidad de la superficie:** Es el número de Manning “n” para flujo en superficies. Por lo tanto, este parámetro solo se utiliza en cunetas verdes y otras estructuras por donde haya paso de flujo.
- **Pendiente de la superficie:** Este parámetro solo se utiliza cuando la escorrentía circula por la superficie del SUDS implementado; por lo tanto, este parámetro solo se utiliza para cunetas verdes, superficies en tejados (EPA, 2022).

## Capa de suelo “Soil Layer”

En la capa de suelo se detallan las propiedades de la composición de suelo que se utiliza en la técnica SUDS de bio-retención y tejados verdes. Si se va a implementar pavimento poroso se tiene que detallar debido a que esta se encuentra como capa auxiliar bajo la capa del pavimento. El software analiza cada parámetro dado y los que se debe incluir son los siguientes: (EPA, 2022).

- **Espesor:** se especifica el espesor de la capa de suelos (mm). El valor recomendado para este parámetro es de 450 a 900 mm para las técnicas de bio-retención, para los tejados verdes es de 75 a 100 mm (EPA, 2022).
- **Porosidad:** Das (2015), menciona que es la razón del volumen de vacíos al volumen total. Del mismo modo, EPA (2022), define que es el volumen de huecos relativo al volumen de sólidos (como relación o ratio).
- **Capacidad de campo:** El volumen de agua en los poros en comparación con el volumen total del material cuando está completamente drenado (proporcional).



Por debajo de este nivel, no hay drenaje vertical a través de la capa de suelo (EPA, 2022).

- Punto de marchitez: El volumen de agua en los poros en comparación con el volumen total del material después de que se seca completamente y solo queda agua en el grano (proporcional). La humedad del suelo no puede caer por debajo de este valor (EPA, 2022).
- Conductividad: “Conductividad hidráulica del suelo totalmente saturado (pulg./h o mm./h)” (EPA, 2022, p. 292).
- Pendiente de conductividad: La pendiente de la curva tiene conductividad logarítmica en el eje horizontal y humedad del suelo en el eje vertical (adimensional). Los valores típicos según el "Manual de usuario del modelo SWMM" van de 30 a 60. Este parámetro se puede estimar a partir del análisis del tamaño de las partículas de la siguiente manera:  $0,48*(\% \text{Arena}) + 0,85*(\% \text{Arcilla})$  (EPA, 2022).
- Altura de succión: “Valor medio de la succión capilar del suelo a lo largo del frente de humectación (pulgadas o mm). Es el mismo parámetro que se utiliza en el modelo de infiltración de Green-Ampt” (EPA, 2022, p. 292).

### **Capa de almacenamiento “Storage Layer Properties”**

La pestaña Capa de almacenamiento del Editor de control LID describe las propiedades de las capas de grava o piedra triturada utilizadas como base de almacenamiento/drenaje para celdas de biorretención, sistemas de pavimentación permeable y zanjas de drenaje. También se usa para indicar la altura del barril de lluvia (o cisterna). Se muestran los siguientes campos de datos:

- Espesor (o altura del barril): El espesor de la capa de grava o la altura del tanque de lluvia en pulgadas o mm. Las capas de piedra triturada y grava suelen tener un espesor de 6 a 18 pulgadas (150 a 450 mm), mientras que la altura de un barril de lluvia familiar es de 24 a 36 pulgadas (600 a 900 mm).
- Cubierto: “Especifica si el barril de lluvia está cubierto o no. Un barril de lluvia cubierto no recibe lluvia directa” (EPA, 2022, p. 294).

### **Dren de la capa de almacenamiento “Storage Drain”**

Algunos tanques SUDS pueden contener tuberías de drenaje que recolectan el agua que ingresa a la formación y la dirigen a una red de alcantarillado u otro destino especificado por el usuario, que puede variar según la salida y la red que exista. En el caso de

separación de bajante, la salida corresponde al propio bajante. Los parámetros que debe ingresar para definir las propiedades de salida son:

- Coeficiente de flujo de drenaje  $C$  y Exponente de flujo de drenaje  $n$ : Estos determinan el flujo por unidad de área en función de la altura de agua almacenada en la capa de almacenamiento por encima de la tubería ( $h$ ). (EPA, 2022).

$$q = Ch^n \quad (49)$$

Esta relación proviene del teorema de Torricelli sobre el flujo de un líquido contenido en un recipiente, a través de un pequeño orificio:

$$q = \frac{Q}{A} = C_d \sqrt{2gh} = C_d \sqrt{2g} \cdot h^{0.5} = Ch^{0.5} \quad (50)$$

Donde  $Q$  es el flujo total en mm/h que sale de la tubería,  $A$  es la sección transversal de la tubería,  $g$  es la aceleración de la gravedad y  $C_d$  es el factor de flujo que tiene en cuenta la contracción del flujo a la salida por el orificio y pérdida de velocidad en el proceso. Un valor típico para  $n$  sería 0,5 (haciendo que el desagüe actúe como un orificio). Tenga en cuenta que las unidades de  $C$  dependen del sistema de unidades que se utilice, así como del valor asignado a  $n$ . Si la capa no tiene drenaje, ajuste  $C$  a 0. Un valor típico para  $n$  sería 0. Además, suele ser usual aproximar  $C_d$  con el valor de 0.6, Por lo tanto,  $C = 0,6\sqrt{2g} \approx 2,65$ . Si se quiere estimar el valor de  $C$  en función del tiempo necesario  $T$  para drenar una profundidad  $D$ , se puede utilizar la siguiente expresión: (EPA, 2022).

$$C = \frac{2\sqrt{D}}{T} \quad (51)$$

Esta fórmula es utilizada para determinar el coeficiente de dren del rain barrels.

- Altura del dren: Es la altura por encima del fondo de la capa de almacenamiento a la que se encuentra el dren (en mm).
- Altura de desplazamiento del desagüe: Es la altura de la línea de drenaje por encima del fondo de una capa de almacenamiento o barril de lluvia (pulgadas o mm).
- Retraso del desagüe (sólo para barriles de lluvia): Número de horas de tiempo seco que deben transcurrir antes de que se abra la línea de drenaje de un barril de lluvia. (se supone que la línea se cierra una vez que comienza a llover). Un valor de 0

significa que la línea de drenaje del barril del barril está siempre abierta y desagua continuamente. Este parámetro se ignora para otros tipos de LID (EPA, 2022).

- Nivel abierto: La altura (en pulgadas o mm) en la Capa de Almacenamiento del desagüe que hace que el desagüe se abra automáticamente cuando el nivel del agua sube por encima de ella. automáticamente cuando el nivel del agua sube por encima de ella. El valor predeterminado es 0, lo que significa que esta función está desactivada (EPA, 2022).
- Nivel de Cierre: La altura (en pulgadas o mm) en la Capa de Almacenamiento del desagüe que hace que el desagüe se cierre automáticamente cuando el nivel del agua cae por debajo de ella. automáticamente cuando el nivel del agua cae por debajo. El valor predeterminado es 0 (EPA, 2022).

### **Capa drenante “Drainage Mat”**

Los tejados verdes suelen contener una estera o placa de drenaje situada debajo del suelo y encima de la estructura de la cubierta. estructura de la cubierta. Su función es evacuar del tejado el agua que drena a través de la capa de suelo. La página Estera de drenaje del Editor de control LID para cubiertas verdes enumera las propiedades de esta capa que incluyen:

- Espesor: Espesor de la estera o placa (pulgadas o mm). Normalmente oscila entre 1 y 2 pulgadas. EPA, 2022).
- Fracción de vacío: La relación entre el volumen vacío y el volumen total de la estera. Suele oscilar entre 0,5 y 0,6. EPA, 2022).
- Rugosidad: Es el coeficiente de rugosidad de Manning (n) utilizado para calcular el caudal horizontal del agua drenada a través de la estera. horizontal del agua drenada a través de la estera. No es una especificación estándar del producto proporcionada por fabricantes, por lo que debe estimarse. En estudios de modelización anteriores se ha sugerido utilizar un valor relativamente alto, de 0,1 a 0,4. EPA, 2022).

### 2.3. Definición de términos básicos

- **Escorrentía superficial**

La escorrentía superficial saturada ocurre cuando la escorrentía subterránea satura el suelo cerca de la base de una pendiente, y luego la escorrentía superficial ocurre cuando la precipitación cae sobre el suelo saturado (Chow et al., 1994). Asimismo, Valdivielso (2022), nos dice que la escorrentía es un proceso físico que consiste en que el agua de lluvia fluye a través de una red de drenaje hasta que ingresa a un sistema fluvial. El flujo es uno de los procesos fundamentales que intervienen en el ciclo del agua.

- **Precipitaciones**

Toda agua meteorológica que cae sobre la superficie terrestre es conocida como precipitación lo que incluye: lluvia, granizo y nieve (Sánchez, 2022). Esta precipitación juntos con las características en la cuenca que cae, determinan los caudales en los que se basan los estudios de drenaje pluvial (Federal Highway Administration, 2013)

- **Drenaje urbano**

Es un sistema específicamente encargado de recolectar, transportar y evacuar el agua de lluvia que cae sobre superficies impermeables como techos, terrazas, calles y bermas. Esto es para evitar inundaciones, durante eventos lluviosos; este tipo de sistemas funcionan, permitiendo recolectar agua de lluvia en las calles, a través de estructuras como cunetas, ayudando a mover dicha escorrentía a pozos inspección, gracias que hay colectores en serie, transportan el agua a zonas de evacuación, posiblemente a cauces naturales o canales artificiales (Rojas, et al. 2016)

- **Inundaciones pluviales**

Se produce por la acumulación de agua de lluvia en un determinado lugar o área geográfica sin que este fenómeno coincide necesariamente con el desbordamiento de un cauce fluvial. Este tipo de inundación se genera tras un régimen de lluvias intensas persistentes, es decir, por la concentración de un elevado volumen de lluvia en un intervalo de tiempo muy breve o por la incidencia de una precipitación moderada y persistente durante un amplio período de tiempo sobre un suelo poco permeable (CENEPRED, 2018).

- **Cuneta**

El discurrir del agua pluvial que cae directa o indirectamente sobre las veredas y pistas, así como las provenientes de las instalaciones de drenaje pluvial de edificaciones, deben orientarse hacia las cunetas, las cuales deben conducir el flujo hacia las zonas bajas en las que los sumideros captan el agua pluvial para conducirla en dirección a las alcantarillas pluviales del centro poblado (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011).

- **Sistema urbano de drenaje sostenible**

Los SUDS son un conjunto de técnicas que imitan los procesos hidrológicos naturales, y que complementan al drenaje tradicional para la gestión de las escorrentías (De la Fuente et al., 2021)

- **Rugosidad**

El coeficiente de rugosidad ( $n$ ) representa la resistencia al flujo de agua creada por la pared y el fondo del canal. Cuanto mayor sea el valor de  $n$ , mayor será la rugosidad de la pared del canal y más difícil será que el agua se deslice a través del canal (FAO, 2022).

- **Pendiente**

Es el desnivel que existe entre dos puntos con respecto al plano horizontal. Esta se puede expresar tanto en porcentaje como en m/m.

## CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Ubicación de la zona de estudio

#### 3.1.1. Ubicación geográfica

La zona de estudio está ubicada geográficamente:

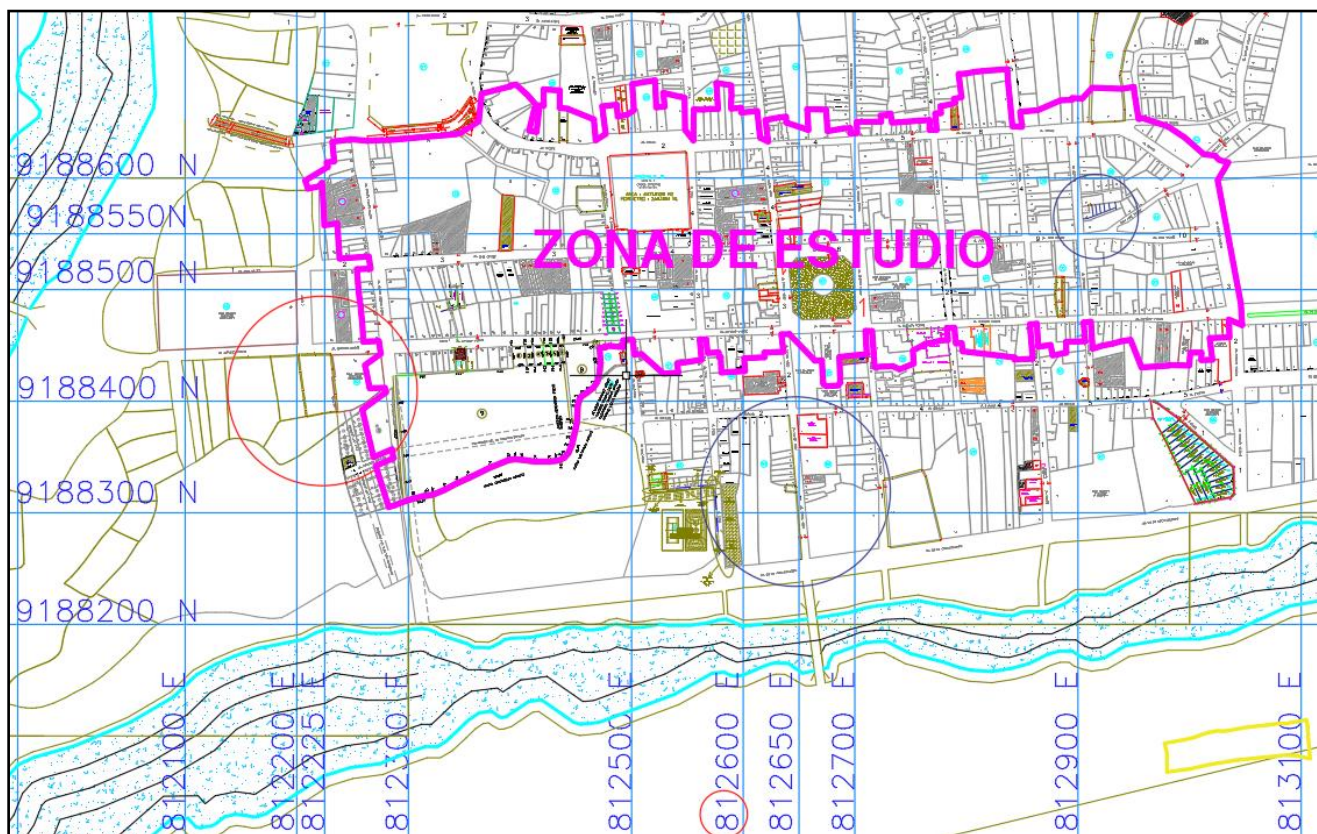
**Tabla 18**

*Ubicación geográfica de la zona de estudio.*

Latitud:	S7° 20' 09.54"
Longitud:	W78° 10' 13.72"
Altitud:	2274.292 m
Este:	812418.42 m
Norte:	9188123.34 m

**Figura 24**

*Ubicación geográfica de la zona de estudio.*

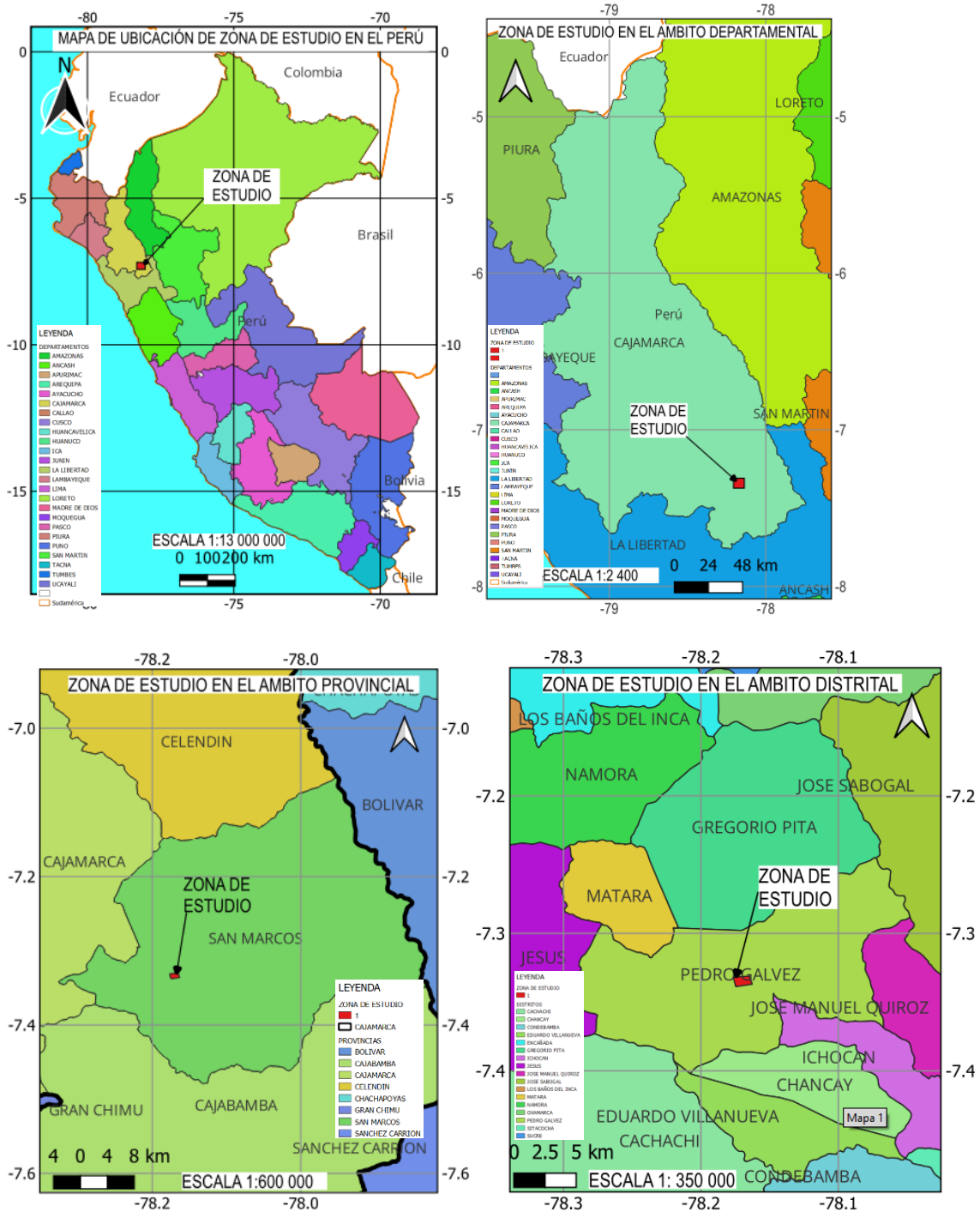


### 3.1.2. Ubicación política

La zona de estudio está ubicada en la provincia de San Marcos, en el departamento de Cajamarca en el norte del Perú. Limita por el norte con la provincia de Celendín, por el sur con la provincia de Cajabamba, por el este y oeste con el departamento de La Libertad.

**Figura 25**

*Ubicación política de la zona de estudio.*



### **3.1.3. Ubicación temporal de la investigación**

La investigación se realizó en el periodo de julio a diciembre de 2022, durante este periodo se ejecutó el proceso de recolección de información necesaria de la zona de estudio. De igual manera, se desarrolló el procesamiento de la información recolectada para modelar con las condiciones de dicha zona.

## **3.2. Materiales y equipos**

### **3.2.1. Materiales**

- Plano catastral de San Marcos.
- Límites nacionales, departamentales, provinciales y distritales de Perú en formato Shp.
- Información de Uso de Suelos en Shp de Perú.
- Información de tipo de suelos en Shp de Cajamarca.
- Información de precipitaciones máximas en 24 horas ANA.
- Información de precipitaciones máximas en 24 horas SENAMHI.
- Software AutoCAD Civil 3D 2021 Student.
- Software QGIS.
- Software Storm Water Management Model (SWMM).
- Software Google Earth Pro.
- Hidroesta 2.
- EasyFit.
- Software Microsoft Office 2019.
- Materiales de escritorio.

### **3.2.2. Equipos**

#### **Para la fase de campo:**

- GPS diferencial Trimble (R12)
- Cámara fotográfica

#### **Para la fase de gabinete:**

- Laptop Lenovo Y7
- Impresora a color



### **3.3. Metodología**

Tipo y diseño de investigación será descriptiva y transversal por que se evaluarán las condiciones de campo para después seleccionar la mejor alternativa que permita controlar las inundaciones pluviales. Los datos de campo se tomarán una sola vez.

#### **Tipo de investigación**

De acuerdo con Carrasco (2006), la presente investigación es **no experimental**, puesto que, no se manipuló ninguna variable ni existe la influencia de una sobre otra, además se analizaron y estudiaron los hechos y fenómenos de las inundaciones después de su ocurrencia. Así mismo, es **descriptiva**, ya que según Hernández (2014), se especificó las características de la zona de estudio, en otras palabras, sólo se recolectó información de las variables analizadas. Además, teniendo en cuenta a Vara (2012), busca detallar con mayor exactitud un fenómeno como es el caso de las inundaciones pluviales, además se utilizaron métodos y técnicas estadísticas para la recopilación de datos como para su análisis.

#### **Diseño de investigación**

El presente estudio responde al nivel transversal, debido a que se realizaron estudios de las inundaciones en un determinado momento; es decir, se tomarán datos para su análisis por única vez. (Carrasco, 2006)

Los instrumentos utilizados en el proceso de la realización de la investigación fueron los modelos probabilísticos, datos descargados de SENAMHI, datos descargados de Minagri herramientas SIG, datos tomados de campo, datos proporcionados por la municipalidad para modelar en el EPA SWMM.

- **Población de estudio**

La población de estudio para esta investigación es la ciudad de San Marcos.

- **Muestra**

Las áreas inundables de la ciudad de San Marcos, por fuertes precipitaciones.

- **Unidad de Análisis**

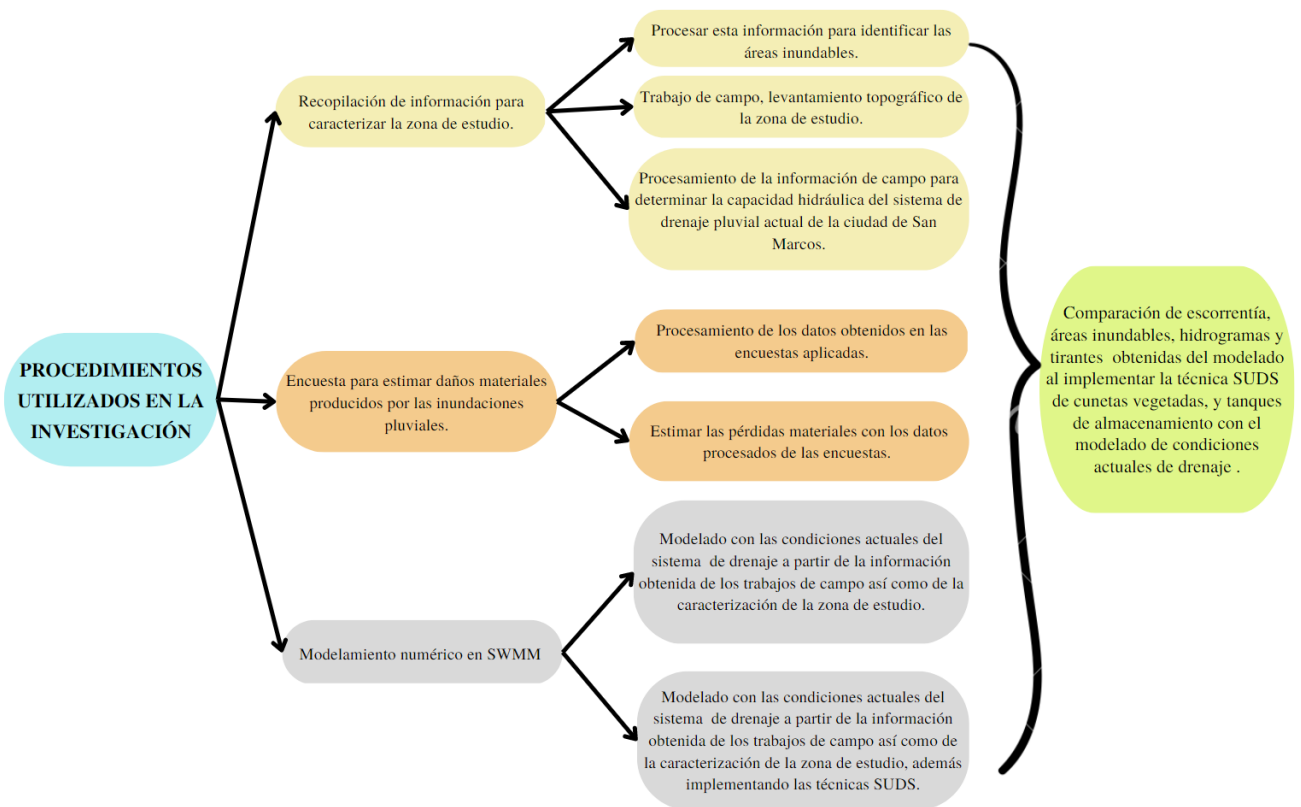
Las áreas inundables de la ciudad de San Marcos.

### 3.4.Procedimiento

Para lograr el objetivo general o principal de la investigación consta de 3 etapas las cuales se detallan a continuación:

**Figura 26**

*Esquema del procedimiento para lograr los objetivos de la investigación.*



#### 3.4.1. Recopilación y procesamiento de información

##### Técnicas de recolección de datos

- **Observación directa**

Esta técnica se utilizó frecuentemente y fue de suma importancia para poder describir las condiciones del sistema de drenaje de la zona de estudio, para la realización y recolección de información hidrológica y el levantamiento topográfico.

- **Análisis documental**

Mediante esta técnica se recopiló y analizó la información necesaria de la zona de estudio para poder realizar la investigación. Esta información consta en la recopilación bibliográfica como son las tesis, guías, artículos científicos, libros, entre otros; relacionados con la problemática de la investigación.

### 3.4.1.1. Recopilación de información

En la primera etapa de la investigación, se realizó la revisión de diferentes fuentes (artículos, tesis, manuales, libros, revistas, etc.) sobre las variables de estudio y las tecnologías SUDS que se basan en la imitación del ciclo hidrológico para poder escoger la mejor técnica SUDS que se adapte a la zona de estudio, se descargó los datos de límites departamentales, provinciales y distritales del Perú, se descargó la información de tipos de suelos, además se solicitó a la municipalidad provincial de san marcos el plano catastral la ciudad de San Marcos, se recopiló información de diferentes medios informativos de las inundaciones ocurridas a lo largo del tiempo, se descargó los datos de precipitaciones máximas del ANA y SENAMHI de la estación San Marcos.

**Tabla 19**

*Información necesaria para el desarrollo de la investigación.*

<b>Información</b>	<b>Formato</b>	<b>Fuente</b>
Límites departamentales, provinciales y distritales	Shp	GEO GPS Perú/INEI
Tipo de suelo	Shp	GEO GPS Perú/MINAGRI
Plano Catastral	CAD	Municipalidad Provincial de San Marcos
Información Hidrometeorológica	Xls.	SENAMHI/ANA

- **Encuesta para estimar daños materiales.**

Se aplicó una encuesta a los afectados de las inundaciones pluviales en la zona de estudio para poder estimar las pérdidas materiales.

- **Levantamiento topográfico**

Se realizó el levantamiento topográfico de la zona en estudio con el equipo GPS diferencial Trimble R12 que nos permitió identificar los patrones de drenaje que es un drenaje de evacuación por gravedad, puntos bajos, pendientes del terreno, cotas de las estructuras de drenaje existentes, además se identificó las tipologías edificatorias existentes en la ciudad de San Marcos.

- **Información Pluviográfica**

La información pluviográfica proviene de la estación San Marcos que está activa por más de 50 años brindando información hidrometeorológica, la información que necesitamos son precipitaciones máximas en 24 horas para ello se tiene que realizar un preprocesamiento de la información descargada. Este preprocesamiento se lo realizó como se detalla a continuación:

- La información descargada de ANA y SENAMHI está cada 12 horas, como necesitamos precipitaciones máximas en 24 horas, se sumó la precipitación del dato de las 7 de mañana con el dato de las 7 de la noche.
- Con los datos de precipitación máxima en 24 obtenida encontramos la precipitación máxima en 24 horas mensual, que será el dato mayor de la precipitación máxima en 24 horas de todo el mes.
- Como se está analizando data histórica, el dato que se necesita es el de precipitación máxima en 24 horas anual, para ello teniendo la precipitación máxima mensual, se escogerá el dato con mayor precipitación máxima en 24 horas mensual y ese dato representará la precipitación máxima en 24 horas para el año en análisis (Anexo 1).

#### **3.4.1.2. Procesamiento de la Información**

En esta etapa de la investigación se obtuvieron datos que no requieren un análisis minucioso y son proporcionados directamente al software, en cambio otros datos recopilados necesitaron ser procesados y se obtuvo la información que el software lo requiere:

- **Cuantificar datos de la encuesta realizada**

Se contabilizó los datos obtenidos de las encuestas para determinar los daños producidos por las inundaciones pluviales y se organizó en una tabla con estos datos.

- **Topografía**

Del levantamiento realizado el equipo nos da la información levantada en formato csv.

El procesamiento de esta información se lo realizó en el Software AutoCAD Civil 3d. Donde se obtuvo las áreas, elevaciones para cada punto, porcentajes de áreas impermeables, capacidad hidráulica del drenaje pluvial, longitud de cunetas, pendientes para cada subcuenca.

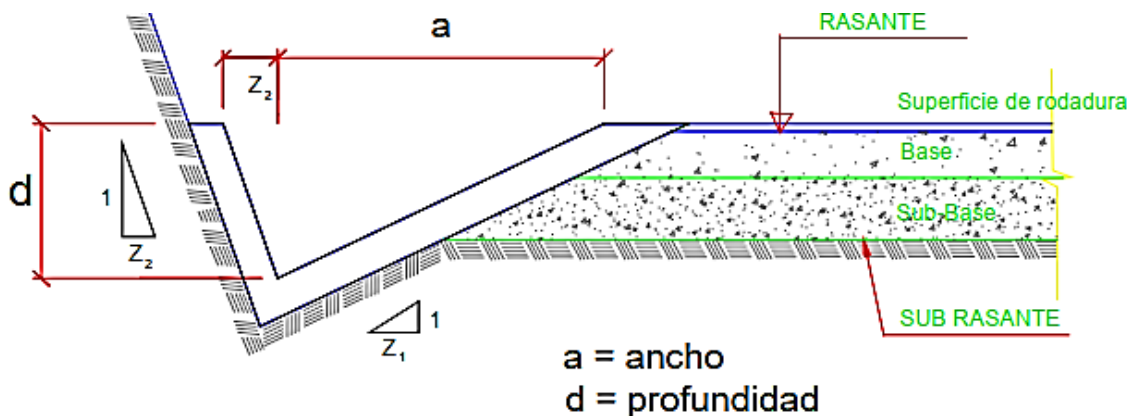
- **Elementos principales del drenaje pluvial**

**Cuneta:** Estructura hidráulica que recoge y transporta las aguas pluviales provenientes de las veredas, pistas, edificaciones.

La capacidad se obtuvo aplicando la fórmula de Manning.

**Figura 27**

*Dimensiones para obtener la capacidad hidráulica de una cuneta.*



*Nota.* Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones).

A través de la siguiente fórmula se determinó el radio hidráulico.

$$R = \frac{d(Z_2 + Z_1)}{2(\sqrt{1 + Z_2^2} + \sqrt{1 + Z_1^2})}$$

La sección transversal que ocupa cuando el agua pluvial escurre por la cuneta se calculó con la siguiente fórmula:

$$A = \frac{d^2(Z_0 + Z_1)}{2}$$

La cantidad de agua pluvial (Caudal Q) que escurre a través de la cuenta se lo determinó a través de la ecuación de Manning:

$$Q = \frac{(AxRh^{2/3}xS^{1/2})}{n}$$

También se puede determinar la velocidad con la que fluye a través de la cuneta.

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

- **Tiempo de concentración**

**Kirpich (1940)**

Tramo	L	S	Tc
1	69.05	0.073	1.39
2	96.411	0.034	2.41
3	73.065	0.009	3.25
4	153.093	0.014	4.85
5	94.213	0.005	4.96
6	351.709	0.01	10.47
7	211.253	0.017	5.76
Tc Total			33.09

**California Culverts Practica (1942)**

Tramo	L	H	Tc
1	69.05	5.03	1.394
2	96.411	3.33	2.402
3	73.065	0.66	3.252
4	153.093	2.16	4.841
5	94.213	1.5	3.179
6	351.709	2.34	12.267
7	211.253	3.23	6.014
Tc Total			33.347

Tramo	L	H	Tc
1	69.05	5.03	1.394
2	96.411	3.33	2.402
3	73.065	0.66	3.252
4	153.093	2.16	4.841
5	94.213	1.5	3.179
6	351.709	2.34	12.267
7	211.253	3.23	6.014
Tc Total			33.347

**Federal Aviation Administration (1970)**

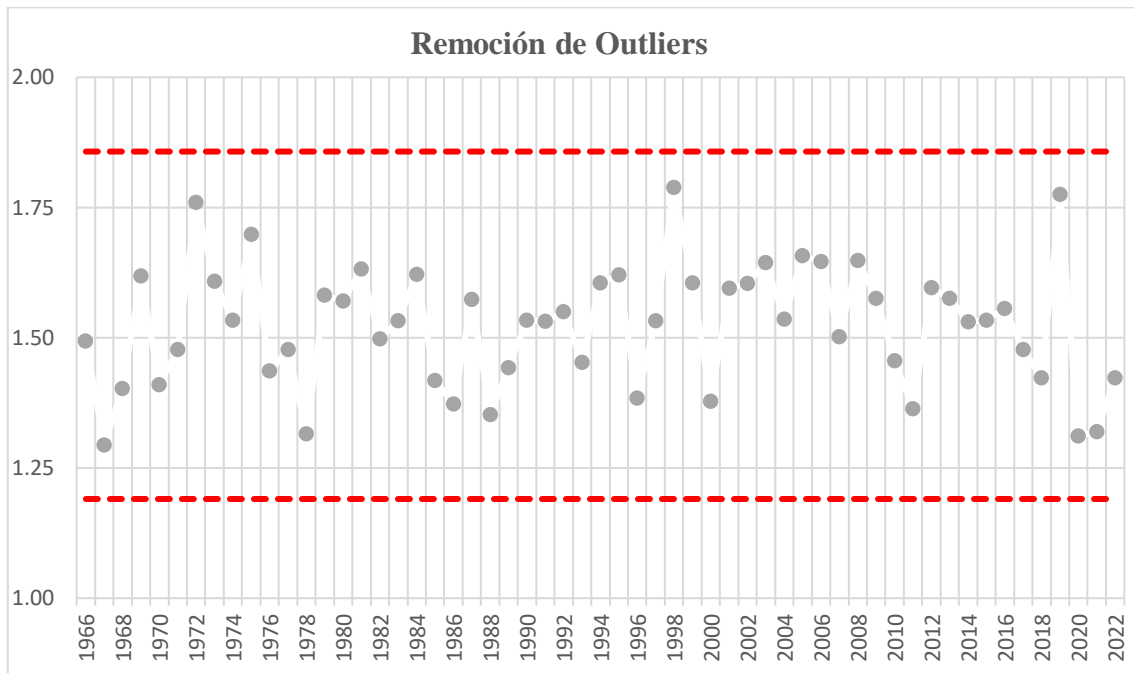
Tramo	L	S	C	Tc
1	69.05	0.073	0.9	2.80
2	96.411	0.034	0.9	4.26
3	73.065	0.009	0.9	5.77
4	153.093	0.014	0.9	7.21
5	94.213	0.005	0.9	7.97
6	351.709	0.01	0.9	12.23
7	211.253	0.017	0.9	7.94
Tc Total				48.18

- **Hietograma**

La construcción del hietograma de diseño nos dará información de las horas más lluviosas a través de la distribución de precipitaciones, que se producen en el área de estudio con un periodo de retorno de 25 años.

- Con la precipitación obtenida del preprocesamiento se obtuvo un dato de precipitación máxima en 24 horas para cada año del periodo en análisis que sería 57 años desde 1966 hasta el 2022 se realizó un análisis de Outliers para eliminar datos atípicos teniendo en cuenta los fenómenos ocurridos a lo largo del periodo en análisis de la data histórica de la estación San Marcos.

**Figura 28**  
*Análisis de Outliers.*



- Seguidamente se realizó la corrección de la precipitación multiplicándose por un factor de corrección de 1.13 debido a la corrección por intervalo fijo de observación o toma de datos.
- A continuación, se realizaron las pruebas de distribución de probabilidades en el Software HIDROESTA y se escogió la función Normal que fue la que más se ajustó según su valor teórico.

**Tabla 20**  
*Prueba todas las funciones de distribución de probabilidades.*

DISTRIBUCION	$\Delta$ TEORICO
Normal	0.06560
Log Normal 2	0.09030
Log Normal 3	0.09600
Gamma 2	0.07260
Gamma 3	0.08748
Log Pearson III	-
Gumbel	0.1070
Log Gumbel	0.1610

Como el  $\Delta$  tabular es 0.1801 y la función de distribución Normal tiene el menor  $\Delta$  que es 0.06560 es la función que más se ajusta a nuestros datos.



- Luego se obtuvo la precipitación para diferentes periodos de retorno en el software HIDROESTA como en el EasyFit para verificar los valores obtenidos.

**Tabla 21**

*Precipitación obtenida para diferentes periodos de retorno.*

Tr (años)	Probabilidad de excedencia	Probabilidad de no excedencia	Pebas P24 (mm)- Hidroesta	Pebas P24 (mm)- EasyFit
2.33	0.429	0.571	41.04	41.03
5	0.200	0.800	48.14	48.13
10	0.100	0.900	52.85	52.84
20	0.050	0.950	56.74	56.73
25	0.040	0.960	57.87	57.86
50	0.020	0.980	61.12	61.10
100	0.010	0.990	64.03	64.02
140	0.007	0.993	65.36	65.34
175	0.006	0.994	66.21	66.19
200	0.005	0.995	66.70	66.69
500	0.002	0.998	69.94	69.93

Fuente: Elaboración propia.

- Obtenida la precipitación de 57.86 mm para un periodo de retorno de 25 años mediante la metodología de Dick Peschke se obtiene la precipitación para diferentes duraciones.

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

Pd = precipitación total (mm)

d = duración en minutos

P24h = precipitación máxima en 24 horas (mm)

**Tabla 22***Precipitación para diferentes duraciones.*

d (min)	P <sub>d</sub> (mm)
5	14.05
10	16.70
15	18.48
20	19.86
25	21.00
30	21.98
35	22.85
40	23.62
45	24.33
50	24.98
55	25.58
60	26.14
120	31.09
180	34.40
240	36.97
300	39.09
360	40.91
420	42.52
480	43.96
540	45.28
600	46.49
660	47.61
720	48.65
780	49.64
840	50.57
900	51.44
960	52.28
1020	53.08
1080	53.84
1140	54.58

d (min)	P <sub>d</sub> (mm)
1200	55.28
1260	55.96
1320	56.61
1380	57.25
<b>1440</b>	57.86

- Encontramos la intensidad, los valores para las variables de la fórmula de intensidad y construimos el hietograma de diseño por el método de bloques alternos.

$$I = \frac{KT^m}{t^n}$$

Donde:

I = Intensidad máxima (mm/h)

K, m, n = factores característicos de la zona de estudio

T = período de retorno en años

t = duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min).

Valores obtenidos para la fórmula.

$$I = \frac{399.404 \times T^{0.0904}}{D^{0.750}}$$

**Tabla 23**

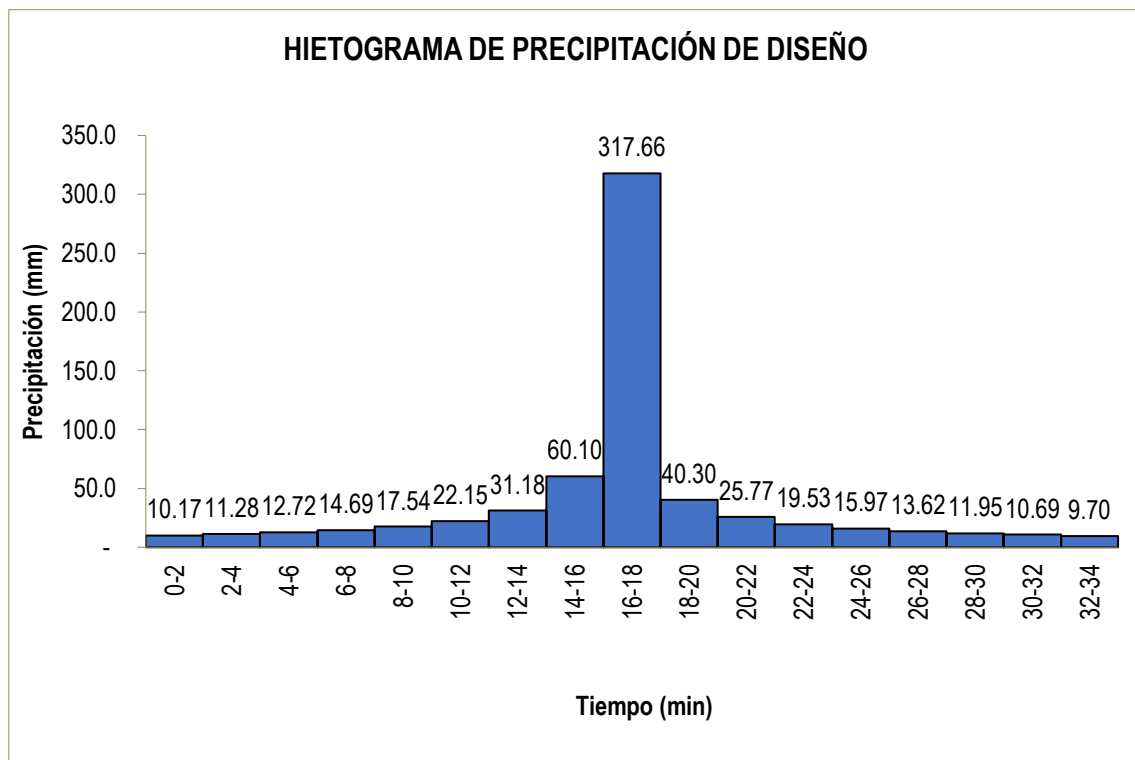
*Construcción del hietograma.*

T min	T (hr)	I (mm/hr)	P (mm)	Δ P	Δ Ord.	Δ I (mm/hr)	Δ I Ord.
2	0.0333	317.66	10.589	10.589	0.339	317.66	10.17
4	0.0667	188.88	12.592	2.003	0.376	60.10	11.28
6	0.1000	139.36	13.936	1.343	0.424	40.30	12.72
8	0.1333	112.31	14.975	1.039	0.490	31.18	14.69
10	0.1667	95.00	15.834	0.859	0.585	25.77	17.54

T min	T (hr)	I (mm/hr)	P (mm)	$\Delta P$	$\Delta$ Ord.	$\Delta I$ (mm/hr)	$\Delta I$ Ord.
12	0.2000	82.86	16.572	0.738	0.738	22.15	22.15
14	0.2333	73.81	17.223	0.651	1.039	19.53	31.18
16	0.2667	66.78	17.808	0.585	2.003	17.54	60.10
18	0.3000	61.13	18.340	0.532	10.589	15.97	317.66
20	0.3333	56.49	18.830	0.490	1.343	14.69	40.30
22	0.3667	52.59	19.284	0.454	0.859	13.62	25.77
24	0.4000	49.27	19.708	0.424	0.651	12.72	19.53
26	0.4333	46.40	20.106	0.398	0.532	11.95	15.97
28	0.4667	43.89	20.482	0.376	0.454	11.28	13.62
30	0.5000	41.68	20.839	0.356	0.398	10.69	11.95
32	0.5333	39.71	21.177	0.339	0.356	10.17	10.69
34	0.5667	37.94	21.501	0.323	0.323	9.70	9.70

- Finalmente graficamos la precipitación obtenida donde se muestra el desarrollo de la lluvia.

**Figura 29**  
*Hietograma de diseño.*



- **Modelamiento Numérico**

### **Escenario 1**

Con toda la información obtenida anteriormente se procedió a modelar con las condiciones actuales del drenaje pluvial caracterizado en el EPA SWMM y poder identificar las áreas inundables, las velocidades, el hidrograma de salida.

### **Escenario 2**

Además de la información brindada en el primer modelamiento, se incluyó las técnicas SUDS y poder identificar en cuanto disminuyen las áreas inundables, la escorrentía superficial, las velocidades, el hidrograma de salida.

### **3.4.2. Tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados**

El tratamiento de la información se inició con la revisión bibliográfica para poder tener claro la información necesaria que se va a recolectar.

En la etapa de recolección de información se descargó los mapas de tipos de suelos de la zona de estudio, información Pluviográfica que seguidamente se realizó el tratamiento a través de la metodología de Deck Peshke para poder obtener el hietograma mediante bloques alternos que es información necesaria e indispensable para el modelamiento.

Para poder estimar los daños materiales producidos por las inundaciones pluviales se aplicó una encuesta a los afectados en las áreas inundables, de la información recogida se evaluó a través de tablas.

La información del levantamiento topográfico se realizó el tratamiento en el software Civil 3d para poder obtener las cotas de los nodos, longitudes de cunetas, pendientes longitudinales. Además, se determinó la capacidad hidráulica del drenaje pluvial existente.

Teniendo toda esta información de la caracterización del drenaje pluvial de la zona de estudio se continuó con el modelamiento a través del software EPA SWMM. En un primer modelamiento con las condiciones actuales de drenaje pluvial para determinar las áreas inundables; el segundo modelamiento se incluyó las técnicas SUDS de cunetas vegetadas, techos verdes y tanques de almacenamiento y poder comparar en cuanto se reduce las áreas inundables, la escorrentía, las velocidades. El análisis de resultados se presenta en gráficos, planos y tablas que serán descritas en el ítem posterior.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

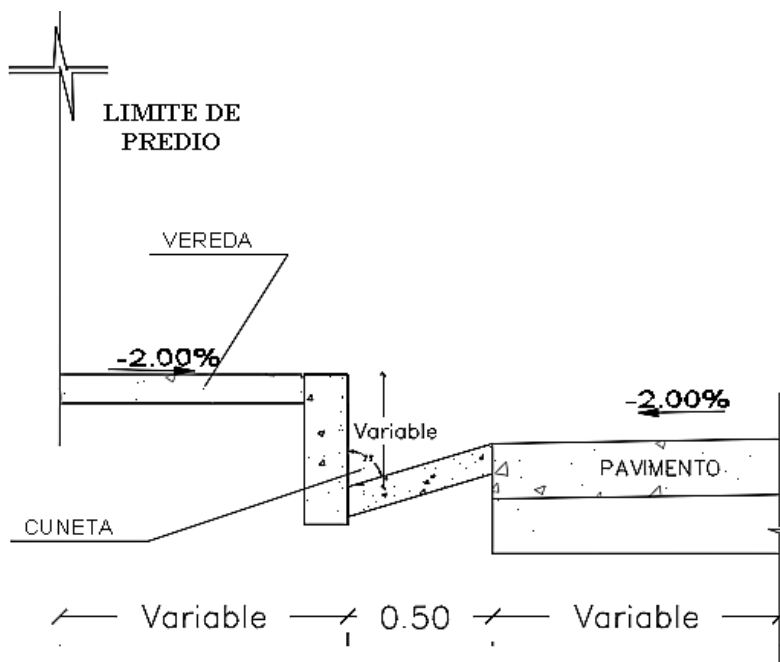
### 4.1. Sistema de drenaje pluvial.

La zona de estudio presenta 3 calles principales: Jr. Inclán, Jr. José Gálvez y el Jr. Alfonso Ugarte, cuyas calles mediante la técnica de la observación se obtuvo los siguientes detalles:

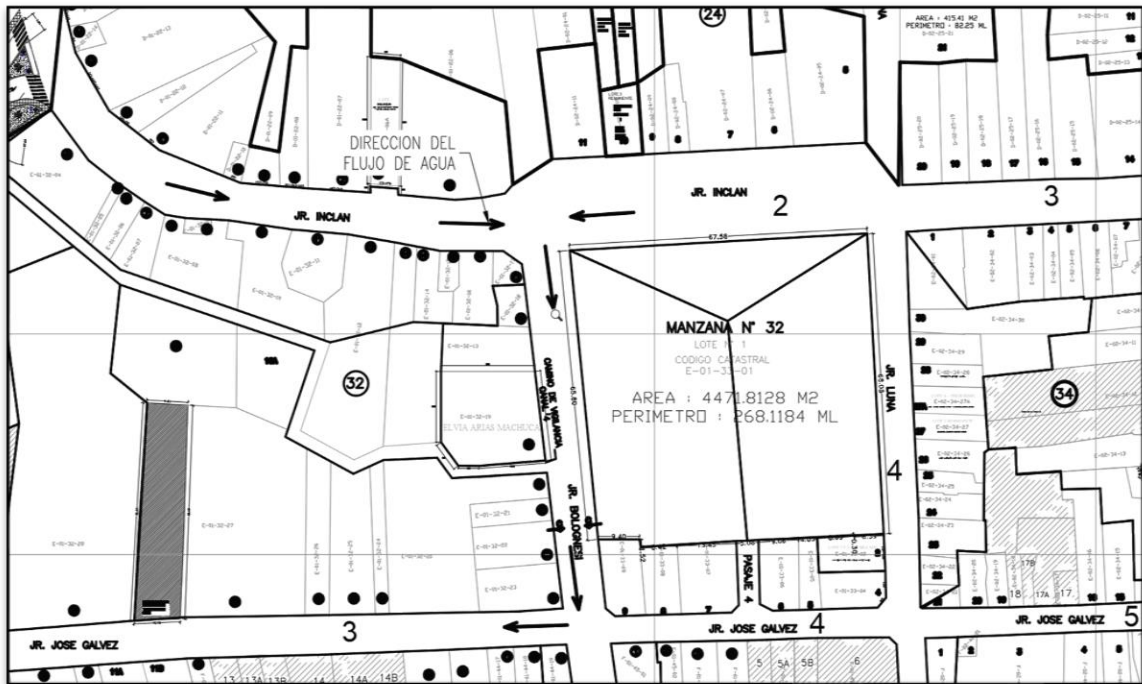
Las cunetas están revestidas de concreto, generalizando tienen las siguientes dimensiones de 50 cm de ancho y 15 cm de altura, en algunos tramos de las calles cuenta con cunetas ambos lados y en otros no cuenta con cunetas; las longitudes de las cunetas en la zona estudiada son las siguientes: Jr. Inclán tiene una longitud de 655.41 m, el Jr. José Gálvez con una longitud de 744.43 m y el Jr. Alfonso Ugarte con una longitud de 748.89 m.

Las calles Jr. José Gálvez y Jr. Alfonso Ugarte conducen al agua pluvial al Jr. Alfonso Amorín Bueno, el Jr. Inclán concentra sus aguas en la intersección con el Jr. Luna por la cual son conducidas hasta el Jr. José Gálvez como se detalla en la figura 57, la cual recolecta el agua pluvial dirigiéndose al cuerpo de agua del río cascasen donde se produce la descarga de estas aguas

**Figura 30**  
*Sección típica de cuneta existentes en las calles.*



**Figura 31**  
Vertido de las aguas del Jr. Inclán al Jr. José Gálvez.



*Nota.* Se detalla como las aguas pluviales del Jr. Inclán pasan por el Jr. Bolognesi al Jr. José Gálvez.

Además, las calles transversales también aportan al caudal transportado por las tres calles principales, como se detalla a continuación:

**Tabla 24**

*Dimensiones del drenaje y calles aportantes con caudal a las calles principales.*

Calle principal	Dimensiones		Calles Aportantes	Dimensiones del drenaje	
	Ancho (m)	Alto (m)		Ancho (m)	Alto (m)
Jr. Inclán	0.38	0.15	Jr. Moore cdra. 4	0.24	0.10
			Jr. Blondet cdra. 4	0.20	0.08
Jr. José Gálvez	0.34	0.16	Jr. Bolognesi cdra. 4	0.36	0.12
			Jr. Luna cdra. 4	0.40	0.13
			Jr. Miguel Grau cdra. 3 y 4	0.35	0.14
			Jr. Leoncio Prado cdra. 3 y 4	0.20	0.10

		Jr. La Valle cdra. 2 y 3	0.16	0.07
		Jr. Moore cdra. 3	Sin drenaje	
		Jr. Blondet cdra. 3	Sin drenaje	
		Psje José Gálvez	0.16	0.08
Jr. Alfonso Ugarte	Sin drenaje	Jr. Luna cdra. 3	Sin drenaje	
		Jr. Bolognesi cdra. 3	0.36	0.12

En la tabla 23 se detalla las dimensiones y las calles que aportan con caudal a las tres calles principales. Los caudales recolectados son conducidos a la calle Jr. Alfonso Amorín Bueno, que recolecta toda la escorrentía generada por la cuenca en estudio, no presenta obras de drenaje por lo que es la calle más afectada por las inundaciones; esta calle conduce todo el caudal recolectado hacía en punto de descarga que es el río Cascasen.

#### 4.2. Daños materiales ocasionados

La recolección de datos que a continuación se presenta se obtuvo al cuantificar la encuesta aplicada:

**Tabla 25**

*Estimación de daños materiales (A las viviendas).*

Tipo de Material de construcción	Viviendas			
	Afectadas	Destruidas	Inhabitables	Costo S/. Aproximado del daño
Material noble	16			22249
Adobe	5			4696
Total	21			26945

Cuando ocurren inundaciones genera un gasto aproximado de S/. 26945 por daños a las viviendas de los pobladores de la zona afectada.

Los principales servicios afectados son:



**Tabla 26***Daños a la infraestructura de servicios básicos.*

Infraestructura	Cuenta con el servicio		Sin servicio (%)	Afectado	Destruído	Observaciones
	Sí	No		(ml)	(ml)	
Agua Potable	x		28.57	6		Rotura de tuberías y medidores.
Red de Desagüe	x		90.48	19		Salida del agua de desagüe por los inodoros.
Red de Energía eléctrica	x					
Otros						
Total	21	0	100	21	0	

Los servicios básicos afectados por las inundaciones son la red de agua potable y la red de desagüe, el colapso de la red de desagüe es principalmente afectada por la entrada del agua pluvial a la red de alcantarillado sanitario. Al entrar el agua pluvial sobrepasa su capacidad de las tuberías, por ello es por lo que se produce la salida en los baños de las viviendas. En el tema ambiental es preocupante porque esta agua es vertida directamente por la calle del Jr. Amorín Bueno hacia el cuerpo de agua del río Cascasen.

#### 4.3. Capacidad hidráulica de los elementos de drenaje

La capacidad hidráulica del drenaje de San Marcos se determinó con la ecuación de Manning:

**Tabla 27***Determinación de la capacidad hidráulica del drenaje de la zona de estudio.*

Calle	Cuadra	Ancho (m)	Alto (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Rh (m)	S (m/m)	n	Q (LPS)
Jr. Moore	3	Sin drenaje.						
	4	0.24	0.10	0.012	0.0333	0.020	0.016	10.97

<b>Calle</b>	<b>Cuadra</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Alto (m)</b>	<b>Área (m2)</b>	<b>Rh (m)</b>	<b>S (m/m)</b>	<b>n</b>	<b>Q (LPS)</b>
Jr. Blondet	3	Sin drenaje.						
	4	0.20	0.08	0.008	0.0271	0.030	0.016	7.80
Jr. Bolognesi	3	0.36	0.12	0.022	0.0433	0.010	0.016	16.49
	4	0.36	0.12	0.022	0.0433	0.044	0.016	34.80
Jr. Luna	3	Sin drenaje.						
	4	0.40	0.13	0.026	0.0472	0.011	0.016	22.64
Jr. Miguel Grau	3	0.35	0.14	0.025	0.0474	0.012	0.016	21.63
	4	0.35	0.14	0.025	0.0474	0.008	0.016	17.49
Jr. Leoncio Prado	3	0.20	0.10	0.010	0.0309	0.020	0.016	8.71
	4	0.20	0.10	0.010	0.0309	0.006	0.016	4.65
Jr. La Valle	2	0.16	0.07	0.006	0.0229	0.021	0.016	4.06
	3	0.16	0.07	0.006	0.0229	0.003	0.016	1.65
Jr. Inclán	2	0.36	0.12	0.022	0.0433	0.019	0.016	22.96
	3	Sin drenaje.						
	4	0.38	0.15	0.029	0.0510	0.008	0.016	21.90
	5	0.16	0.07	0.006	0.0229	0.012	0.016	3.05
	6	0.20	0.10	0.010	0.0309	0.003	0.016	3.18
Jr. José Gálvez	3	0.34	0.16	0.027	0.0507	0.006	0.016	17.31
	4	Sin drenaje.						
	5	Sin drenaje.						
	6	0.34	0.16	0.027	0.0507	0.015	0.016	28.85
Jr. Alfonso Ugarte	1	Sin drenaje.						
	2	Sin drenaje.						
	3	Sin drenaje.						
Jr. Alfonso Amorín Bueno	1	Sin drenaje.						
	2	Sin drenaje.						
	3	Sin drenaje.						

#### 4.4. Modelamiento numérico

##### 4.4.1. Escenario 1

El escenario 1 fue el análisis de la zona de estudio previo a la implementación mediante técnicas de drenaje urbano sostenible específicamente la técnica de cuneta vegetada. Se calculó mediante SWMM, la situación actual de la red de drenaje urbano tradicional que presenta la zona de estudio.

##### 4.4.1.1. Resultados del Escenario 1

Los resultados obtenidos como ya se pronosticaba, demuestran que el estado de drenaje pluvial convencional en la zona de estudio es muy deficiente. Las intensidades para un periodo de retorno de 25 años que nos propone la norma CE.040 pone en evidencia las graves carencias y la mala planificación tanto hidráulica como urbanística del sistema de drenaje actual. Ya que cualquier drenaje urbano debe tener la capacidad al menos de evacuar la esorrentía generada para esta frecuencia de repetición con la filosofía convencional. Al realizar la simulación para este escenario en SWMM se obtuvo que 26,564,000 litros de agua pluvial que deberían de haber sido evacuados por el sistema de drenaje pluvial hacia el punto de descarga salen a las superficies inundando las viviendas como las calles que se vuelven intransitables.

Como se muestra en la figura a continuación se muestra la capacidad de los colectores en el instante más desfavorable de la simulación (30 min después de iniciada la simulación).

#### Figura 32

*Representación por colores la carga en el sistema y la inundación en los nodos en la zona es estudio (30 minutos después de haber iniciado el evento pluvial).*

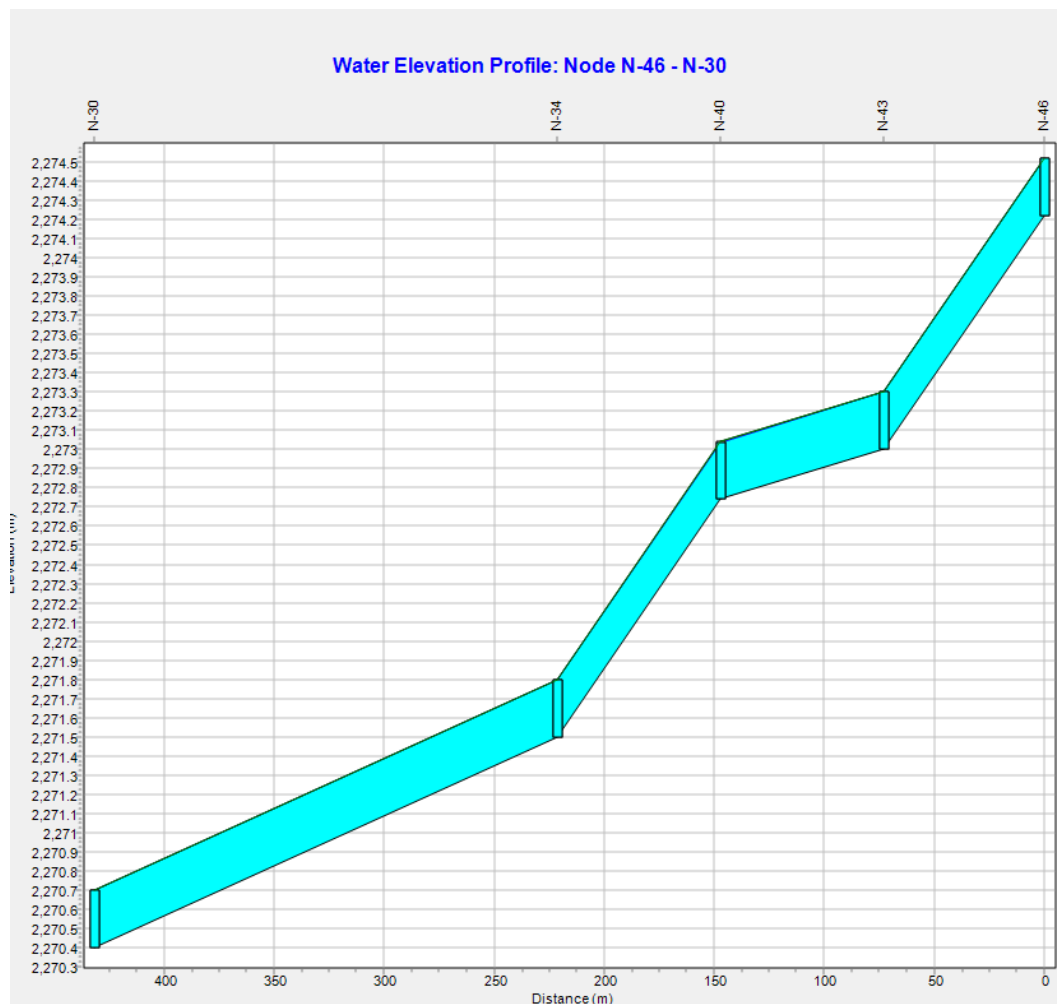


En el mapa se representan coloreados según la escala que se especifica en la leyenda tanto en los nodos como en los conductos al momento de un evento pluvial o la carga de agua sobre este. Obtenemos que, los caudales más importantes se concentran en las cuadras 3,4 y 5 del Jr. José Gálvez, la cuadra 3 del Jr. Alfonso Ugarte y el Jr. Inclán (cuadras 3 y 4). En las calles transversales las calles afectadas son el Jr. Adolfo Amorín Bueno el Jr. Bolognesi, Jr. Miguel Grau (cuadra 4) y la cuadra 4 del Jr. Leoncio Prado, en estas calles se concentra la escorrentía de la zona de estudio, entonces podemos concluir que, estas zonas son las que más deficiencias presenta el sistema de drenaje de la zona de estudio, por lo tanto, estas zonas son las más propensas a las inundaciones pluviales. Para un mayor análisis se recurrió al apoyo de la vista de perfil en estas calles:

- **Calle Jr. José Gálvez**

**Figura 33**

*Vista de perfil del sistema de drenaje de la calle Jr. José Gálvez (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).*



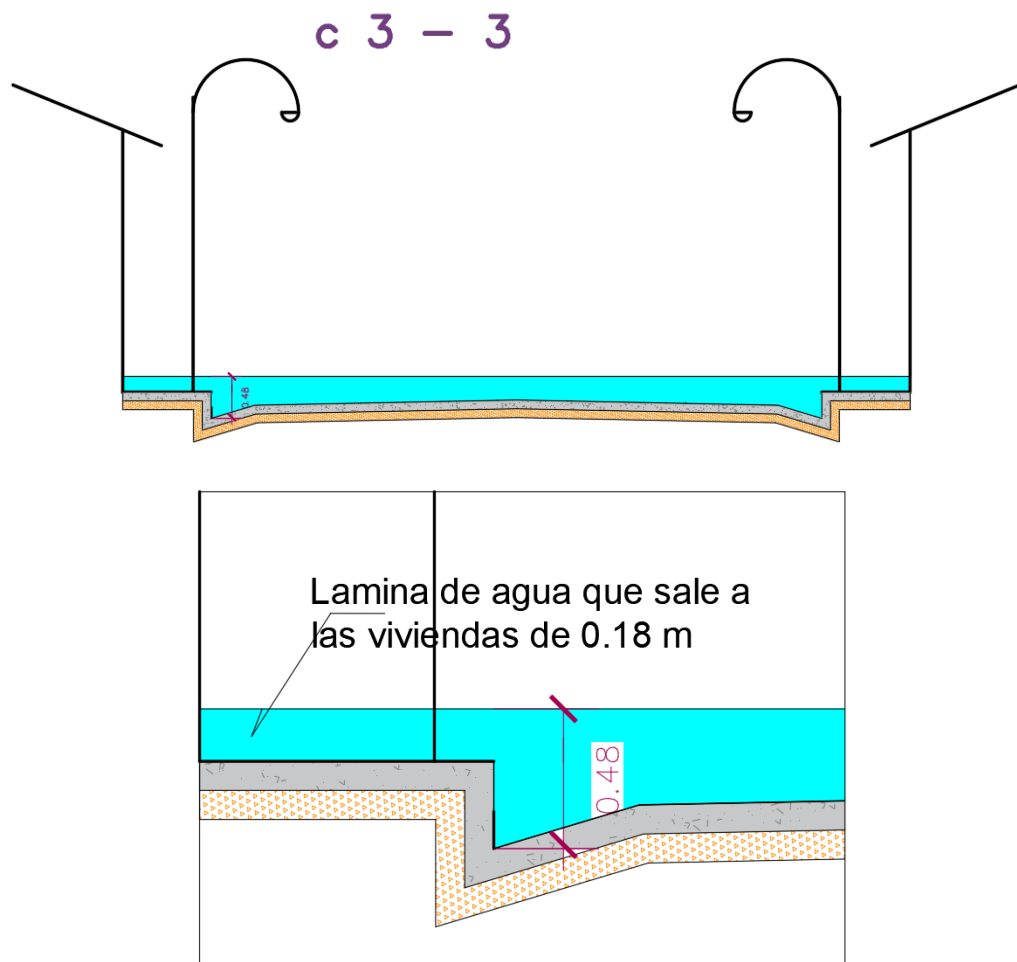
Como se puede notar, las deficiencias en esta calle analizada se presentan en las cuadras 3, 4, 5 y 6, para este instante crítico de simulación (después de 30 minutos de haber iniciado el evento de lluvia), prácticamente estas calles son inundadas. El problema principal está en que siendo una de las calles principales que evacua gran parte del caudal de la cuenca urbana en estudio, sus dimensiones de las cunetas siguen siendo iguales al resto del sistema y en tramos no hay drenajes es por ello que se producen las inundaciones en esta calle.

Para una mejor visualización de la inundación se presenta a continuación tanto el perfil y el corte de cada cuadra de la calle Jr. José Gálvez cuadras 3, 4, 5 y 6:

- La cuadra 3 del Jr. José Gálvez se muestra en el perfil desde el nodo N-30 al N-34, el corte de la calle con el nivel de agua para un periodo de retorno de 25 años es de 0.48 m lo que genera que 0.18m de agua entre a las viviendas.

**Figura 34**

*Sección transversal de la cuadra 3 del Jr. José Gálvez (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).*

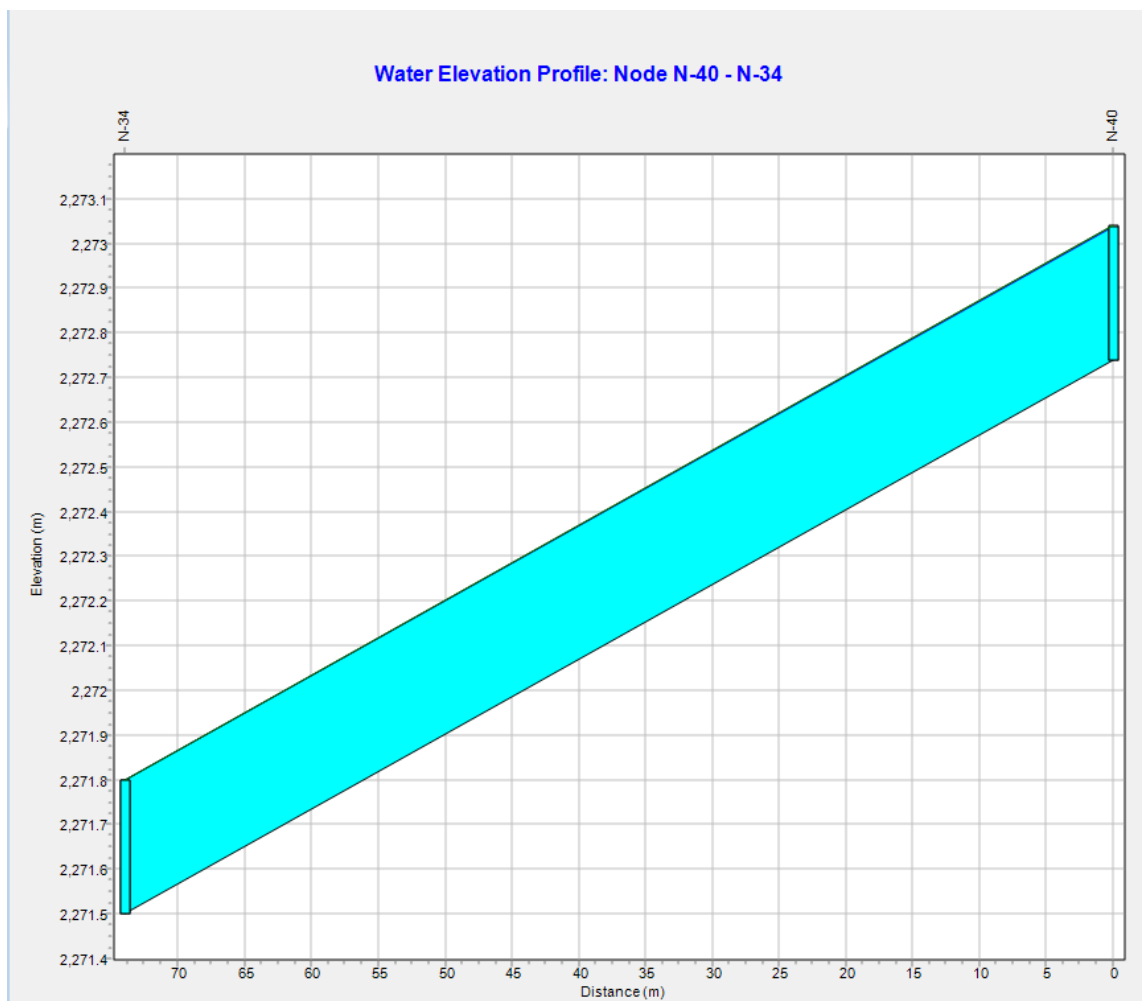


Tirantes máximos en la cuadra 3 del Jr. José Gálvez. En esta sección podemos evidenciar que una lámina de 18 cm de agua sale a las viviendas lo que genera pérdidas materiales en sus viviendas.

- La cuadra 4 del Jr. José Gálvez tiene un ancho de 6.73m, esta calle no cuenta con drenaje. Los tirantes obtenidos son de 0.345m (30 minutos de haber iniciado el evento de lluvia), debido a que hay acumulación de la escorrentía en esta calle por condiciones de topografía. Los tirantes se pueden observar en el perfil mostrado a continuación:

**Figura 35**

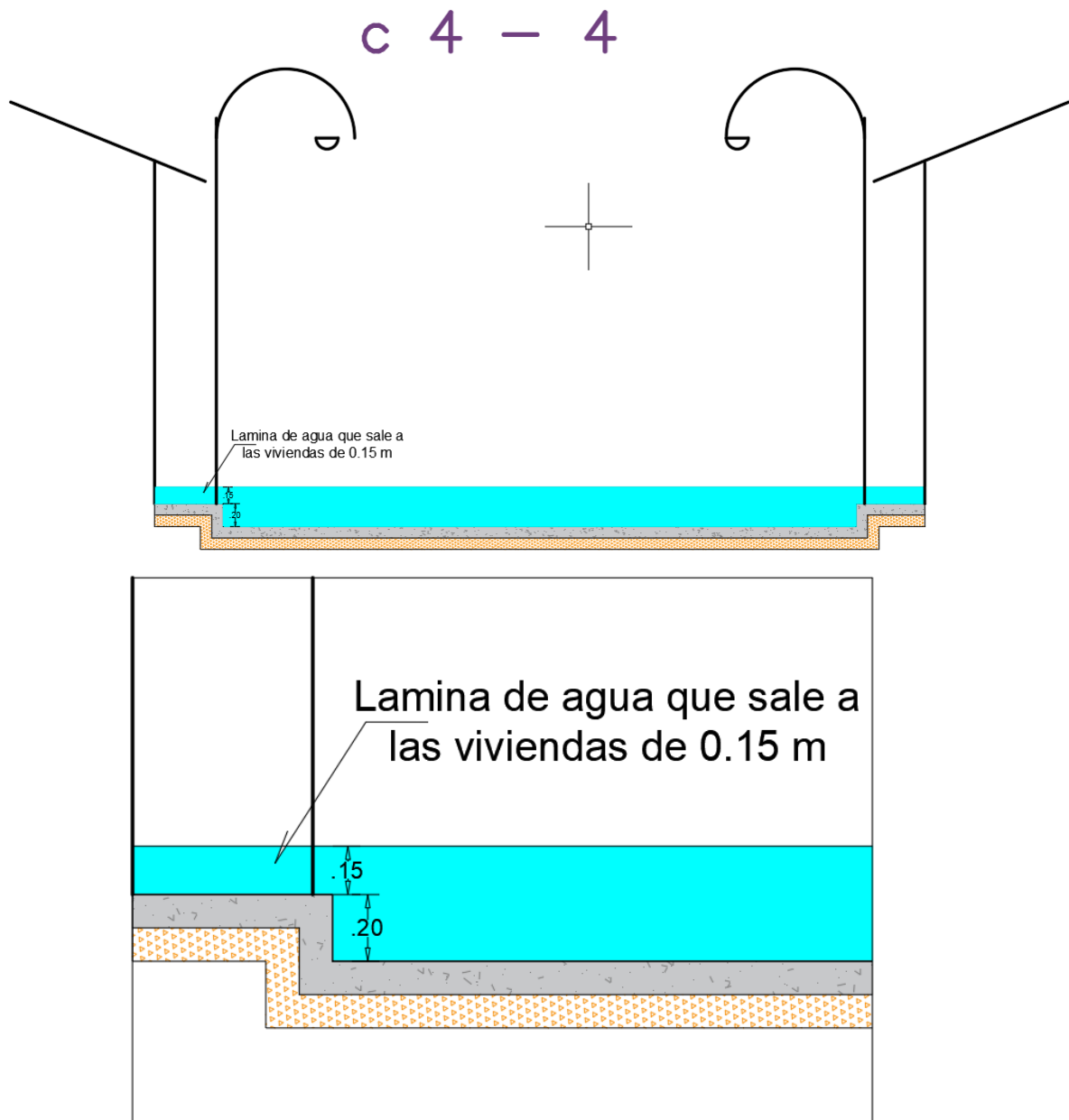
*Tirantes en la cuadra 4 del Jr. José Gálvez (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).*



Este tirante se puede ver con más detalle la sección transversal:

**Figura 36**

*Sección transversal de la cuadra 4 del Jr. José Gálvez (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).*

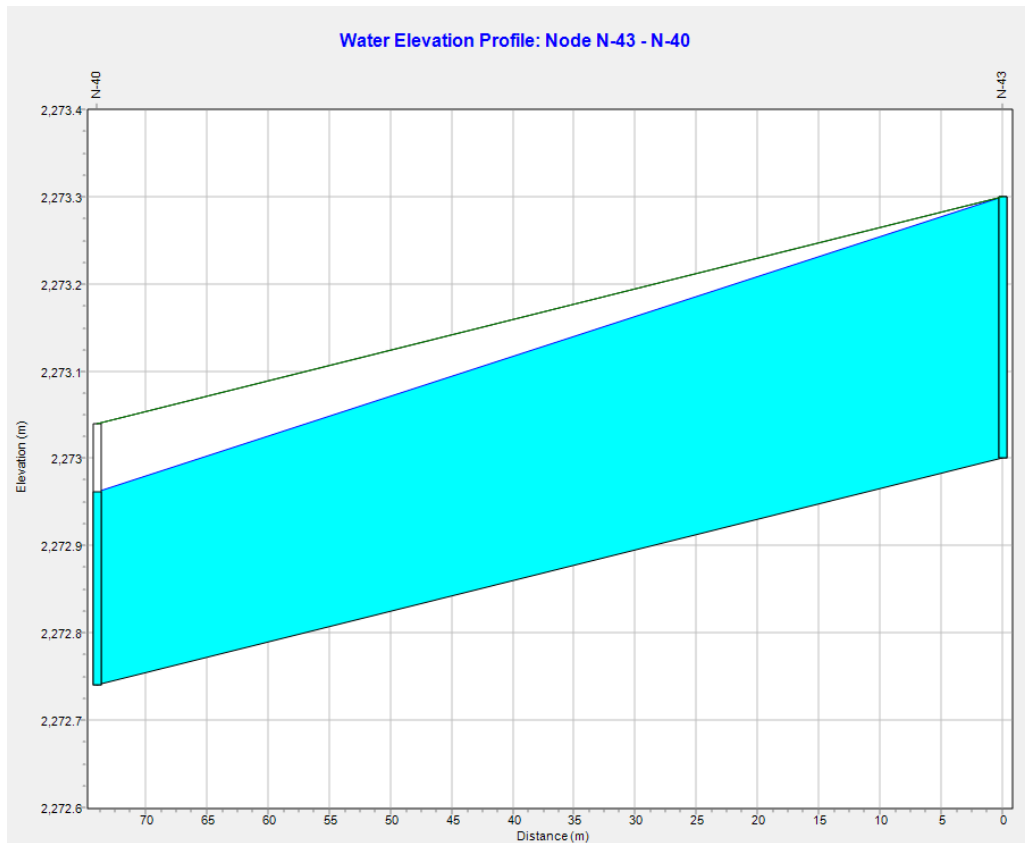


En esta sección podemos ver que 0.15 m de lámina de agua sale del sistema de drenaje pluvial la cual entra a las viviendas.

- La cuadra 5 del Jr. José Gálvez tiene un ancho de 6.82m, esta calle no cuenta con drenaje. Al modelar en el software SWMM se obtuvo un tirante de 0.28 m. Como se puede observar en el perfil a continuación:

**Figura 37**

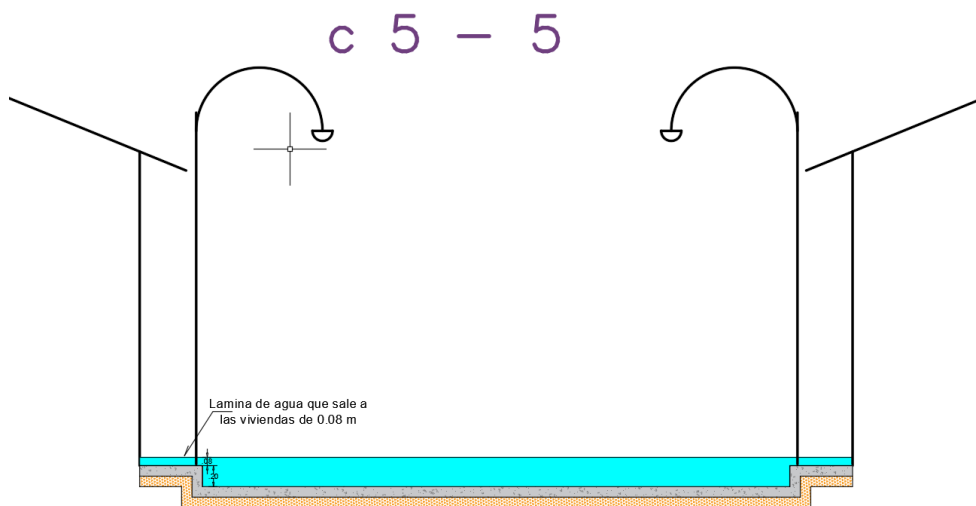
*Perfil de la cuadra 5 del Jr. José Gálvez (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).*



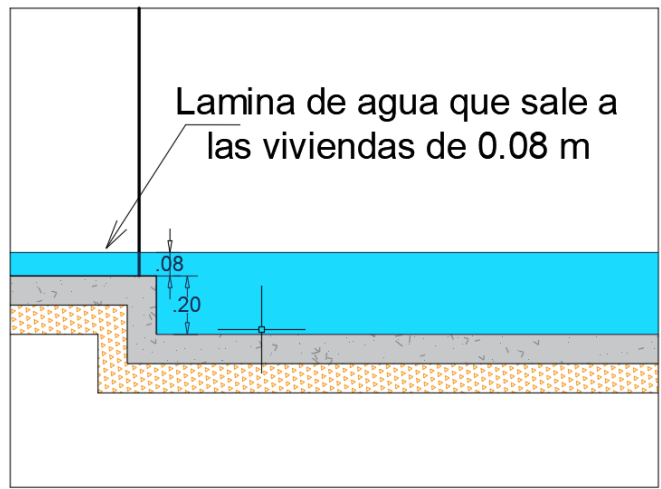
En este perfil podemos observar que el tirante de agua es de 0.28, el cual pasa al nivel de la vereda que tiene una altura de 0.20m, por lo que una lámina de 8 cm de agua ingresa a las viviendas como se muestra en la sección transversal.

**Figura 38**

*Sección transversal de la cuadra 5 del Jr. José Gálvez (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).*





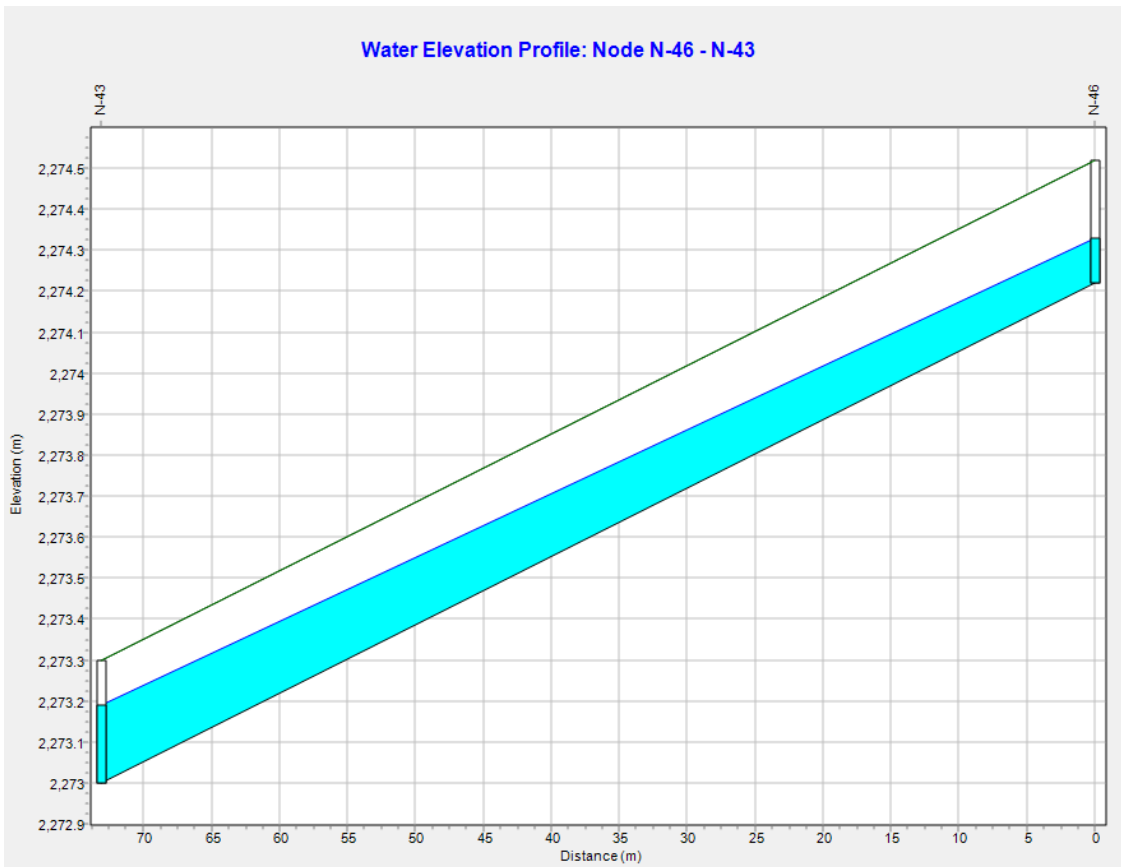


En esta sección se puede ver mejor la lámina de agua que sale de las calles a las viviendas de esta cuadra.

- La cuadra 6 del Jr. José Gálvez tiene un ancho de 12.41m, esta calle cuenta con una cuneta al lado izquierdo. Después de modelar con estas condiciones podemos ver que el tirante es de 0.18m como se puede ver el perfil:

**Figura 39**

*Perfil de la cuadra 6 del Jr. José Gálvez (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).*

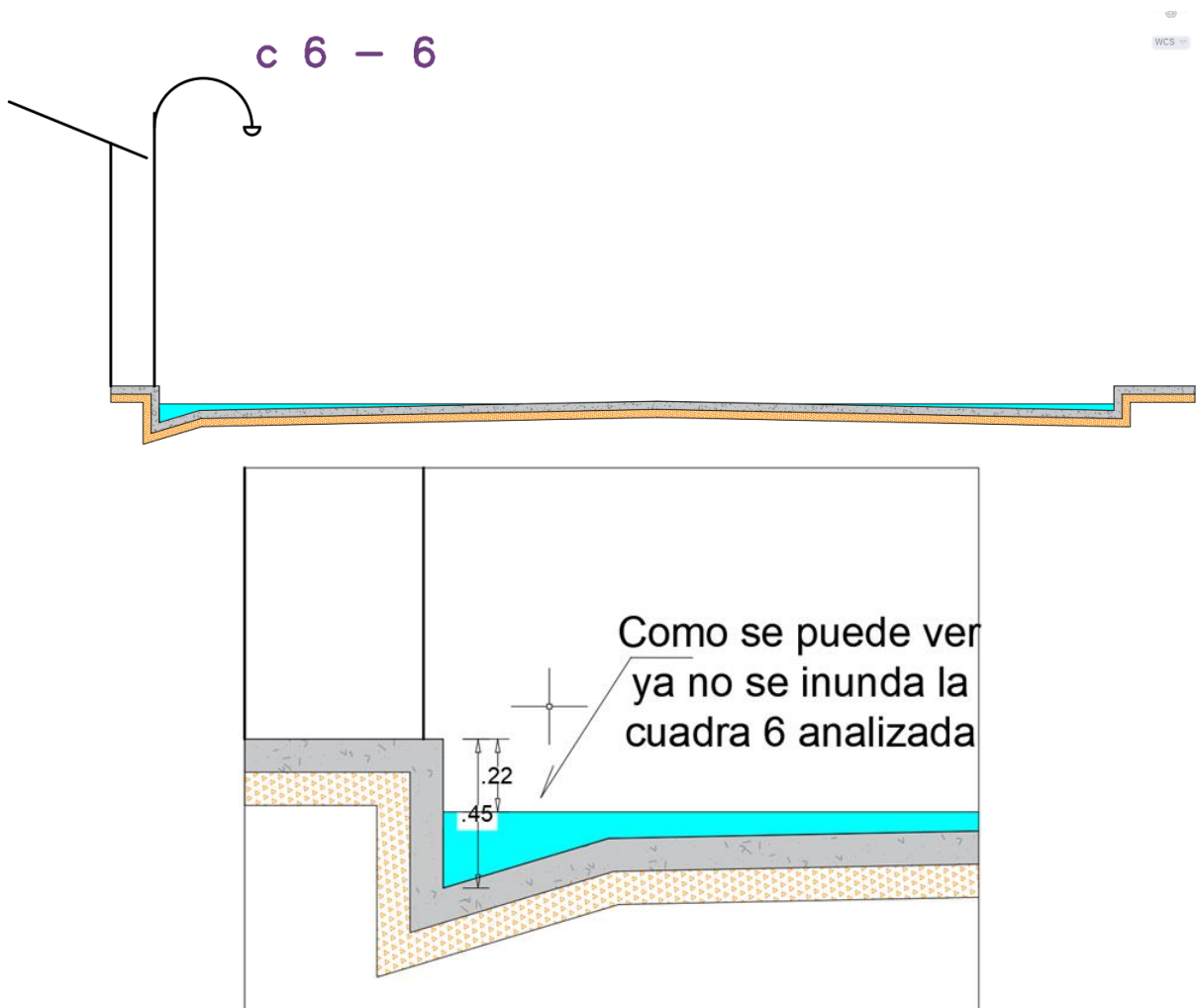


En el análisis de este perfil podemos ver que el tirante es de 0.18m, el cual es menor que la altura de vereda de 0.45 m:

**Figura 40**

*Sección de la cuadra 6 del Jr. José Gálvez con el tirante 30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia.*

Sección de la cuadra 6 del Jr. José Gálvez con el tirante 30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia.

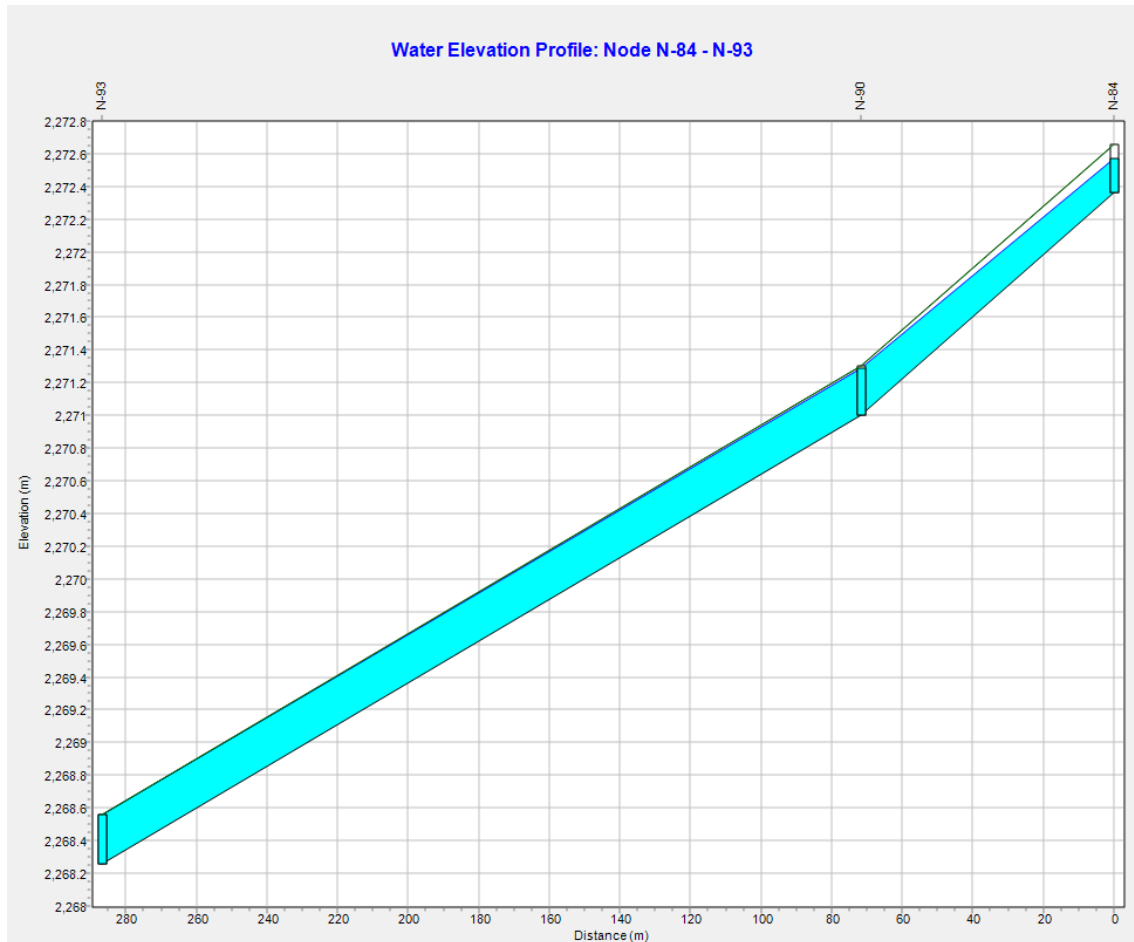


entonces esto indica que ya no ocurren inundaciones en esta cuadra. Por lo que las inundaciones ocurren en la cuadra 3, 4 y 5 del Jr. José Gálvez.

- **Jr. Alfonso Ugarte**

**Figura 41**

*Vista de perfil del sistema de drenaje de la calle Jr. Alfonso Ugarte cuadras 3 y 4 (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).*

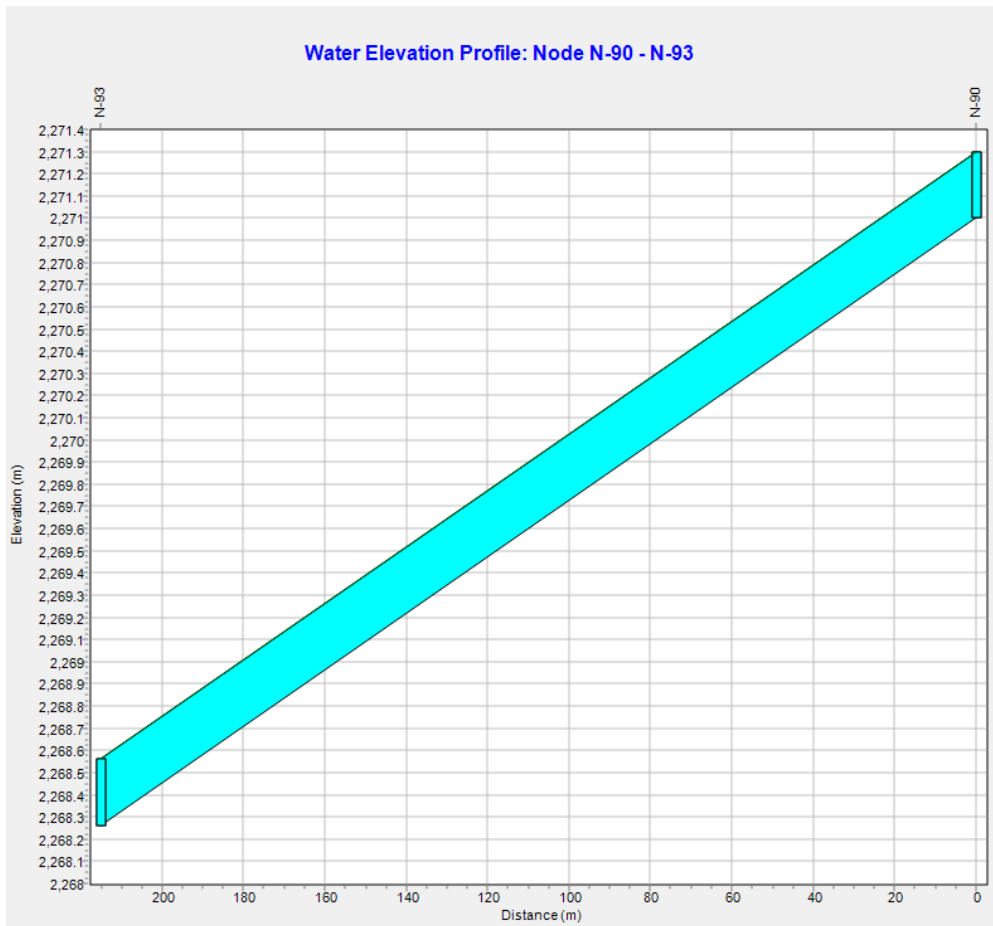


Analizando este perfil de la calle Alfonso Ugarte podemos ver que la zona afectada por la acumulación del caudal es la cuadra 3 (N-93 al N-90) del Jr. Alfonso Ugarte en el instante crítico (después de 30 minutos de haber iniciado el evento de lluvia). El problema principal en esta calle es que no se cuenta con drenaje pluvial, es por ello que se producen inundaciones en esta zona de la calle.

- Analizando la cuadra 3 del Jr. Alfonso Ugarte con una longitud de 6.53m, después de modelar se obtuvo tirantes en la cuadra 3 del Jr. Alfonso Ugarte en el instante crítico de 0.29m como se muestra a continuación:

**Figura 42**

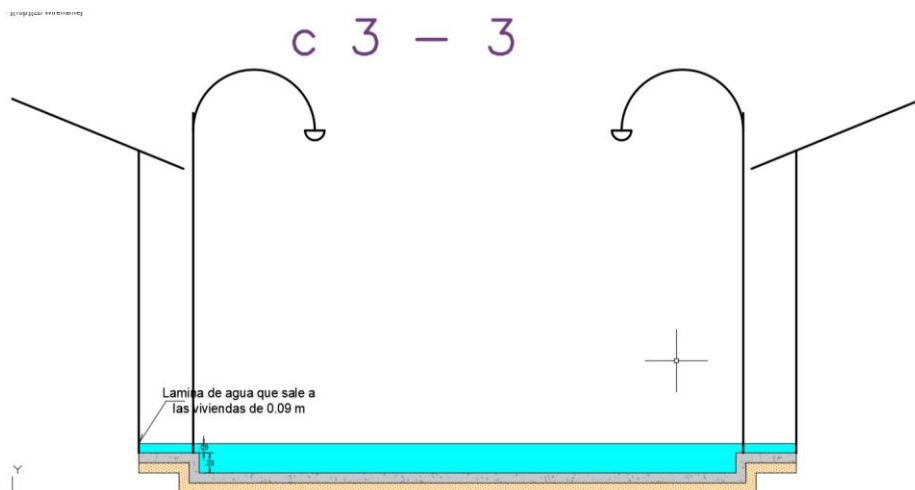
*Perfil de la cuadra 3 del Jr. Alfonso Ugarte (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).*

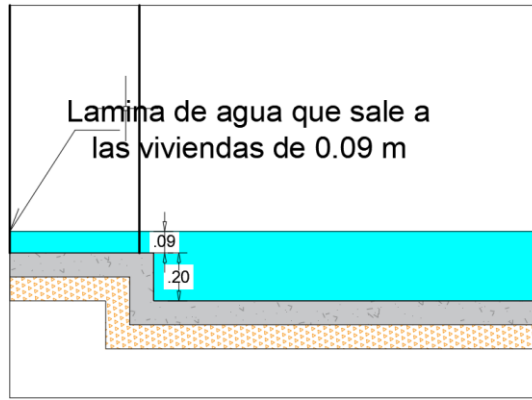


En este perfil podemos ver los tirantes son de 0.29 m para poder evidenciar el nivel hasta dónde llega en sección de la cuadra 3 del Jr. Alfonso Ugarte.

**Figura 43**

*Perfil de la cuadra 3 del Jr. Alfonso Ugarte (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).*



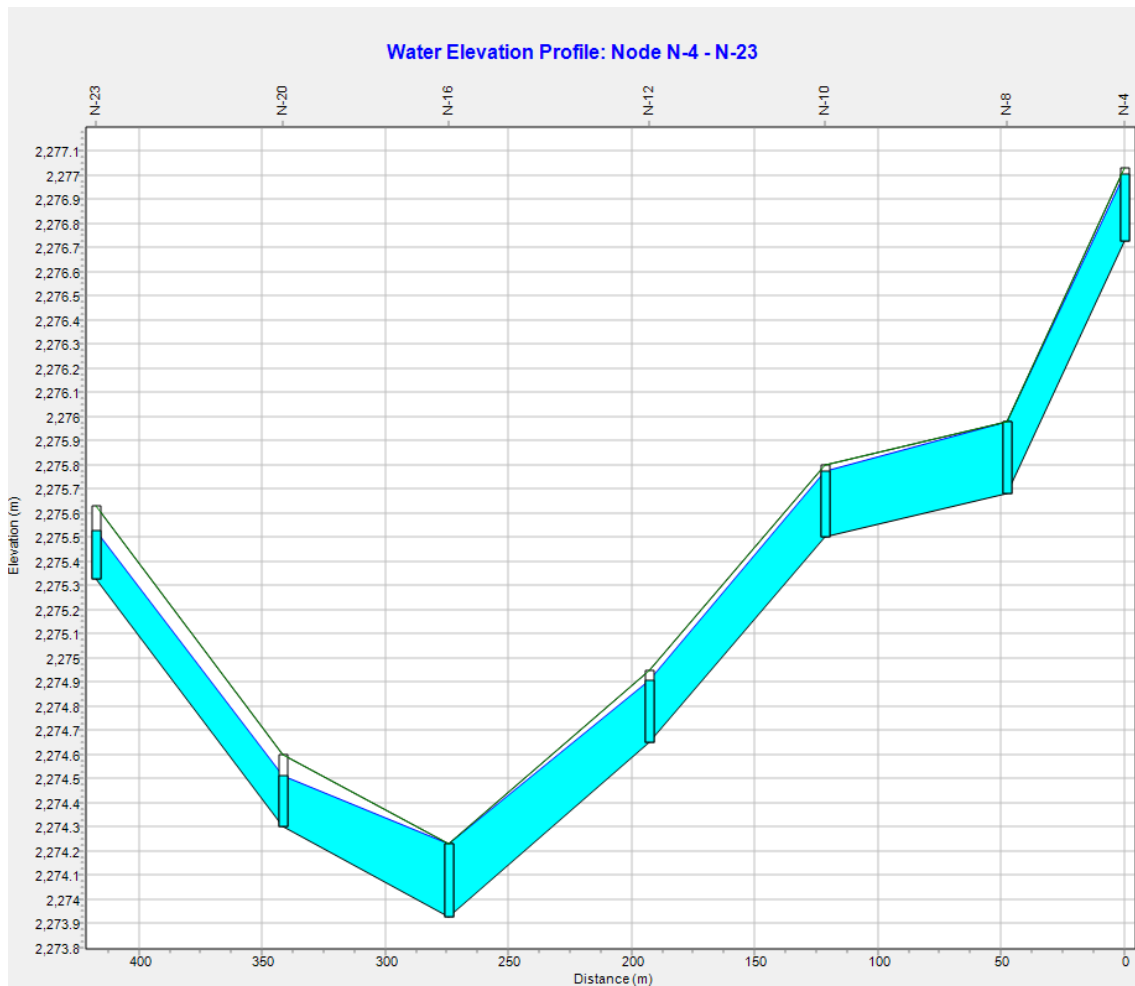


Como podemos observar que una lámina de 9 cm está entrando a las viviendas de la cuadra 3 del Jr. Alfonso Ugarte.

- **Jr. Inclán**

**Figura 44**

*Vista de perfil del sistema de drenaje de la calle Jr. Inclán (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).*

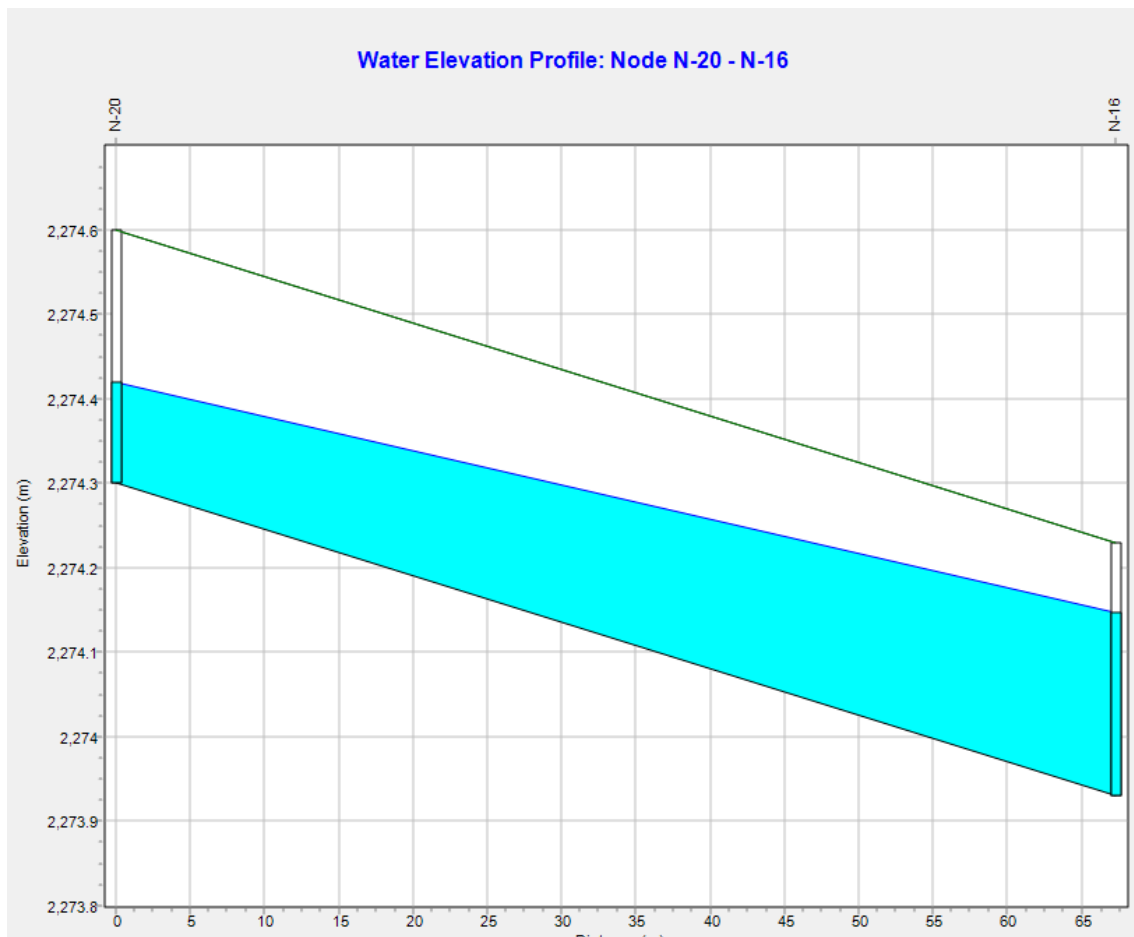


En esta vista de perfil podemos observar con mayor detalle que la calle Jr. Inclán en el instante más crítico (después de 30 minutos de haber iniciado la lluvia), se observa que las cuadras 3 y 4 son las que presentan mayor deficiencia en su sistema de drenaje. Este problema en esta zona son las dimensiones del drenaje que es igual que el resto del sistema a pesar de que en esta zona se concentra el caudal, por lo que necesita mayores dimensiones debido a que recoge gran cantidad de caudal proveniente de las zonas más elevadas de la zona de estudio.

- La cuadra 3 del Jr. Inclán tiene un ancho de 9.76, como resultado del modelamiento se obtuvo que los tirantes en el instante más crítico 30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia son de 0.267m. cómo se puede ver en la vista de perfil de la cuadra 3 del Jr. Inclán.

**Figura 45**

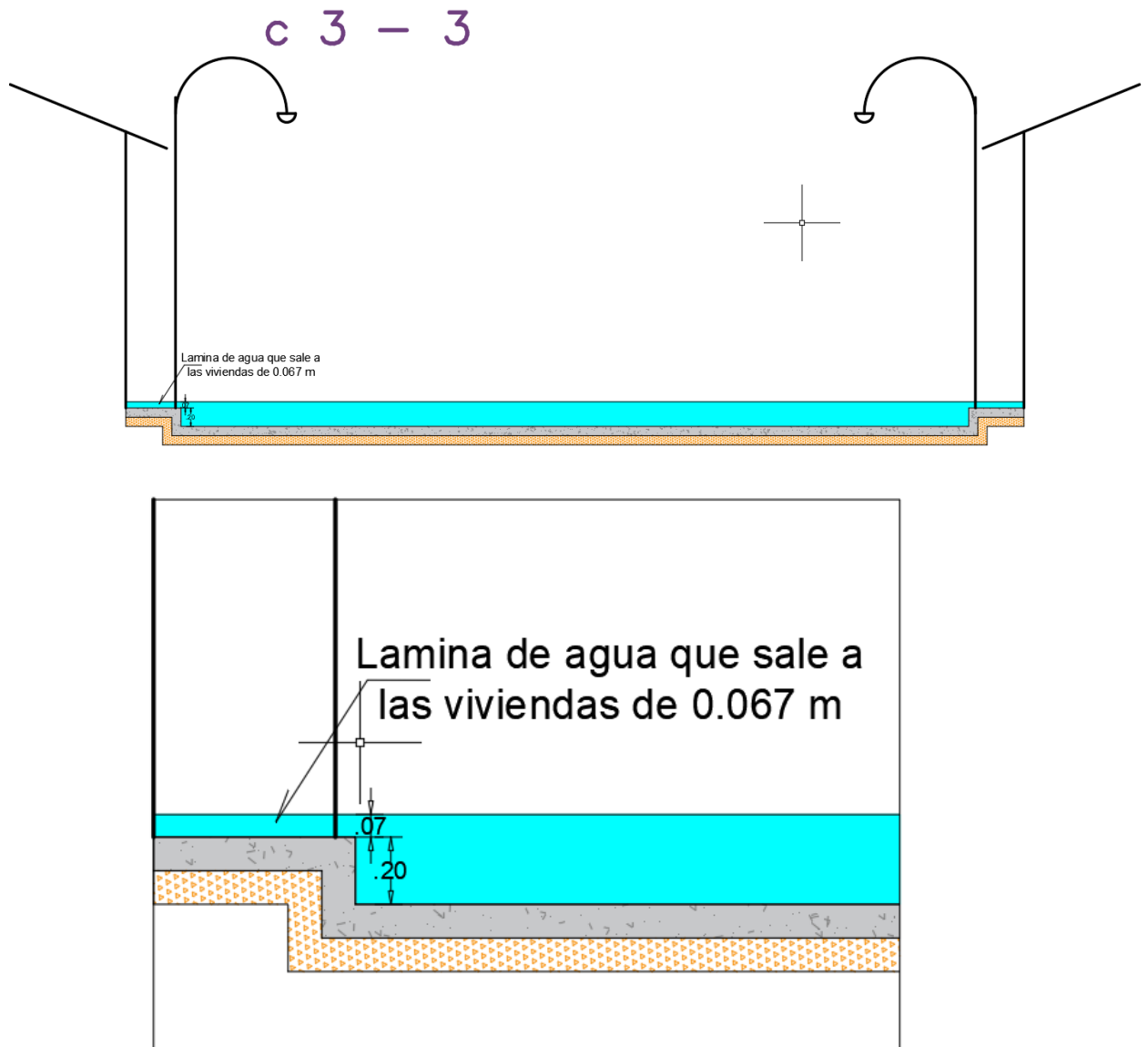
*Perfil de la cuadra 3 del Jr. Inclán (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).*



Como la altura de la vereda es de 0.20 m, el tirante es mayor es por ello que el agua ingresa a las viviendas con una lámina de 6.7 cm de agua. En la sección de la cuadra 3 del Jr. Inclán se muestra los niveles la altura del nivel de agua.

**Figura 46**

*Sección de la cuadra 3 del Jr. Inclán (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).*

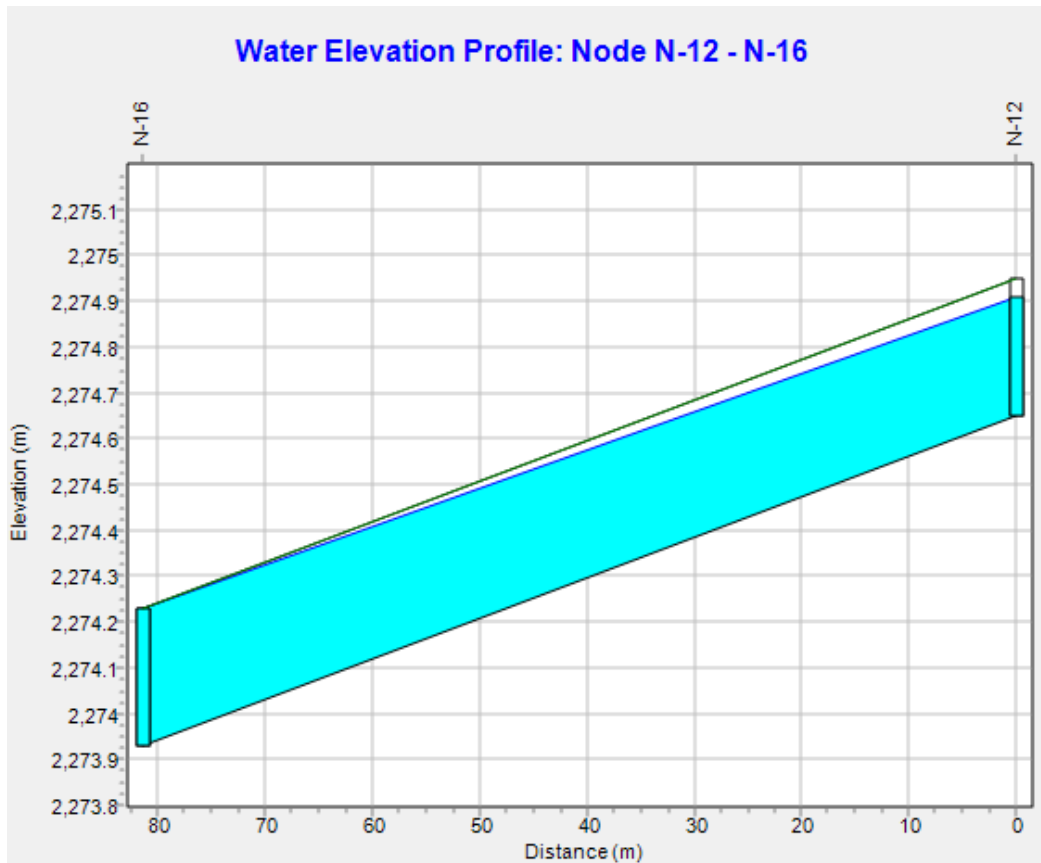


En la sección se ve más claro el nivel de agua en la cuadra 3 del Jr. Inclán.

- La cuadra 4 del Jr. Inclán tiene un ancho de 6.46m, y se obtuvieron tirantes de 0.31m, para más detalle se muestra el perfil:

**Figura 47**

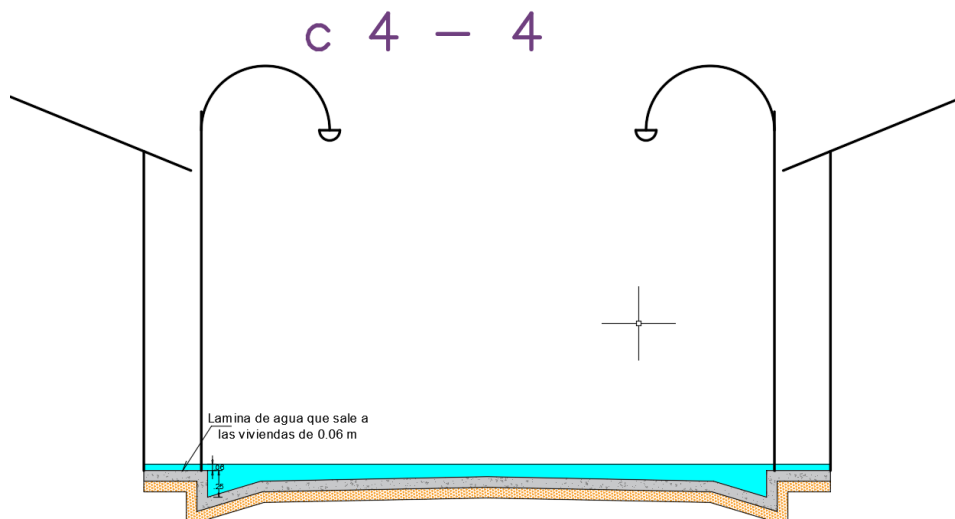
*Perfil de la cuadra 4 del Jr. Inclán (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).*



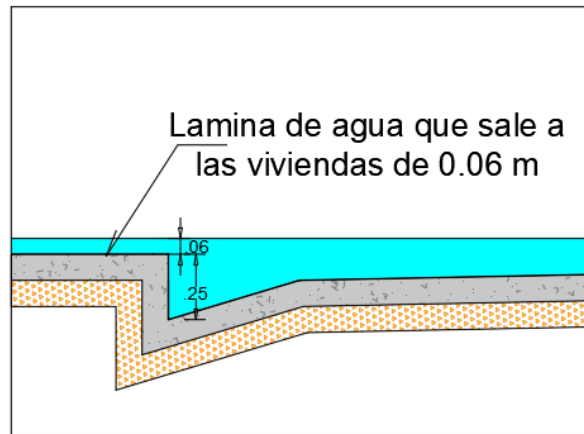
Como se puede ver el tirante máximo en el instante crítico es de 31 cm por lo que pasa el nivel de la vereda entrando a las viviendas.

**Figura 48**

*Sección de la cuadra 4 del Jr. Inclán (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).*







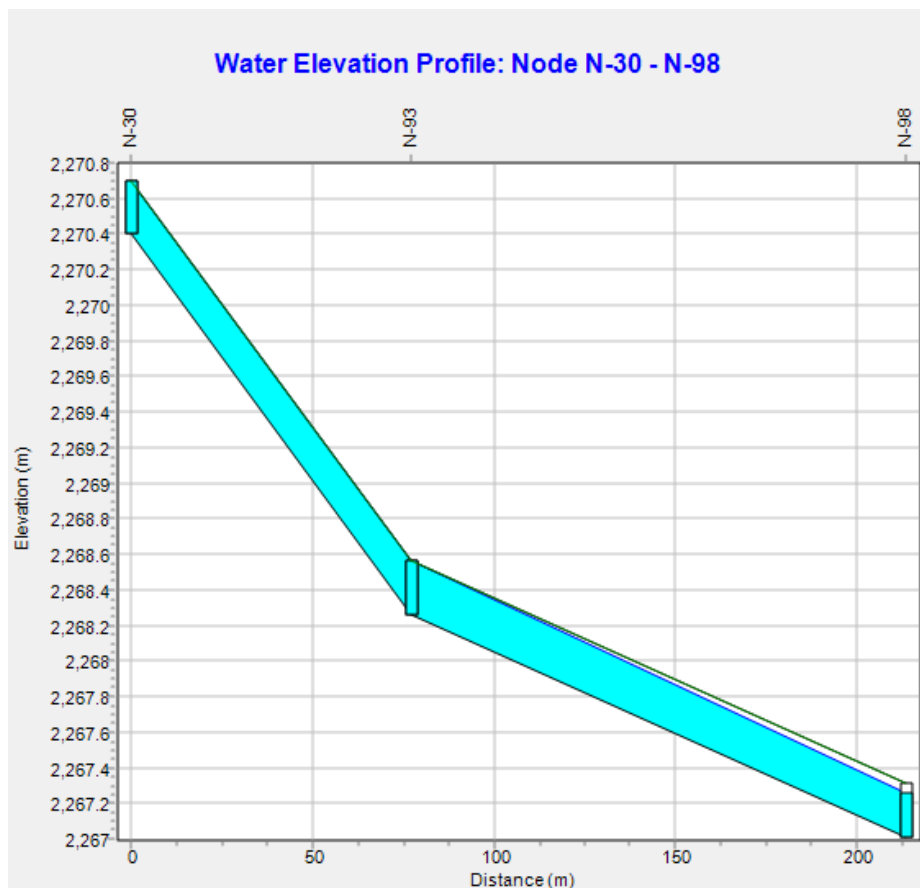
Como se puede notar que la lámina de agua que entra en la cuadra 4 del Jr. Inclán es de 6 cm.

Las calles transversales que presentan mayor deficiencia en el sistema de drenaje pluvial se analizarán a continuación sus vistas de perfiles:

- **Jr. Adolfo Amorín Bueno**

**Figura 49**

*Vista de perfil del sistema de drenaje de la calle Jr. Adolfo Amorín Bueno (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).*



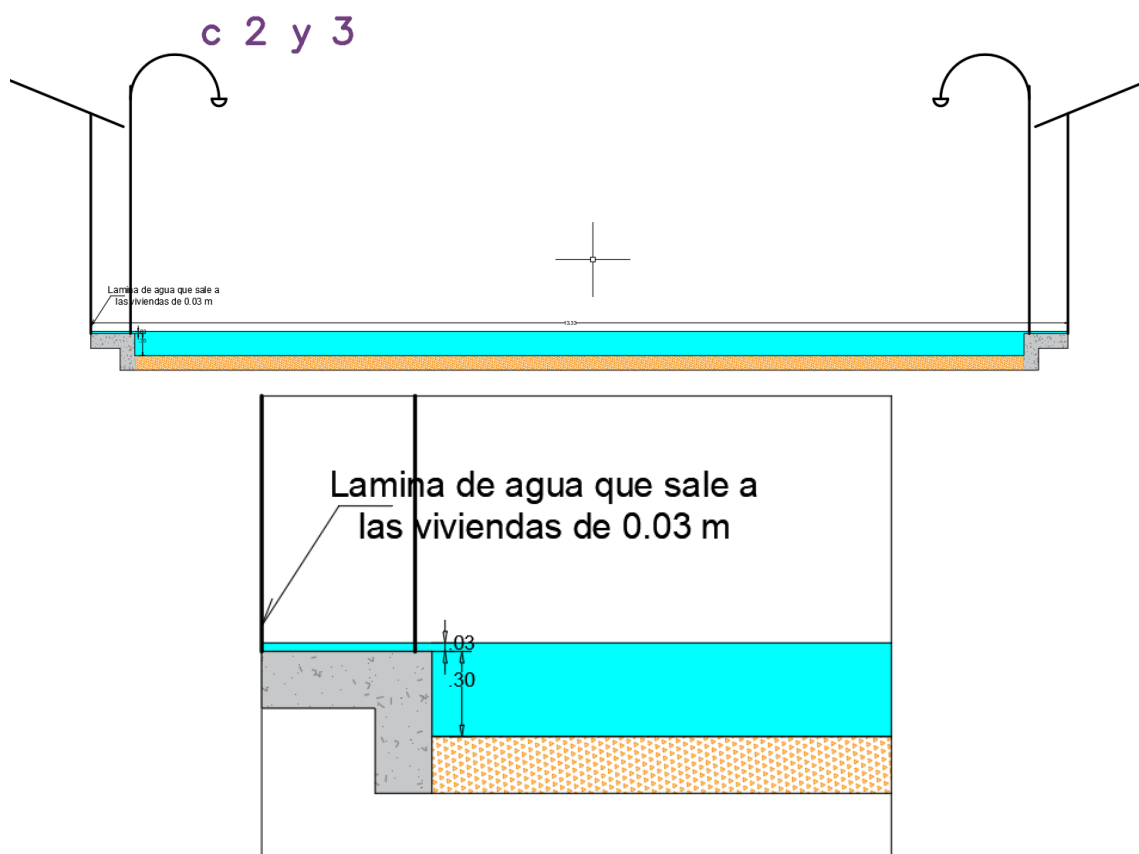
La calle analizada es la más afectada por las inundaciones, debido a que todas las aguas de la zona en estudio son conducidas mediante el Jr. José Gálvez y el Jr. Alfonso Ugarte a esta calle. El problema principal de esta calle es la capacidad del drenaje pluvial que tiene, que no es suficiente para poder evacuar el caudal generado (después de 30 minutos de haber iniciado el evento de lluvia). Esta calle es la que conduce todas las aguas recolectadas durante el evento pluvial hacia el punto de descarga que es el cuerpo de agua del río Cascasen.

Estas calles cuentan con un ancho de 13.33m, esta calle no cuenta con drenaje y está constituido por afirmado. Para una mejor visualización hasta dónde llega el nivel de agua se presenta las secciones de la cuadra 2 y 3.

**Figura 50**

*Perfil de las cuadras 2 y 3 del Jr. Amorín Bueno (30 minutos de haber iniciado el evento de lluvia).*

Perfil de las cuadras 2 y 3 del Jr. Amorín Bueno (30 minutos de haber iniciado el evento de lluvia).

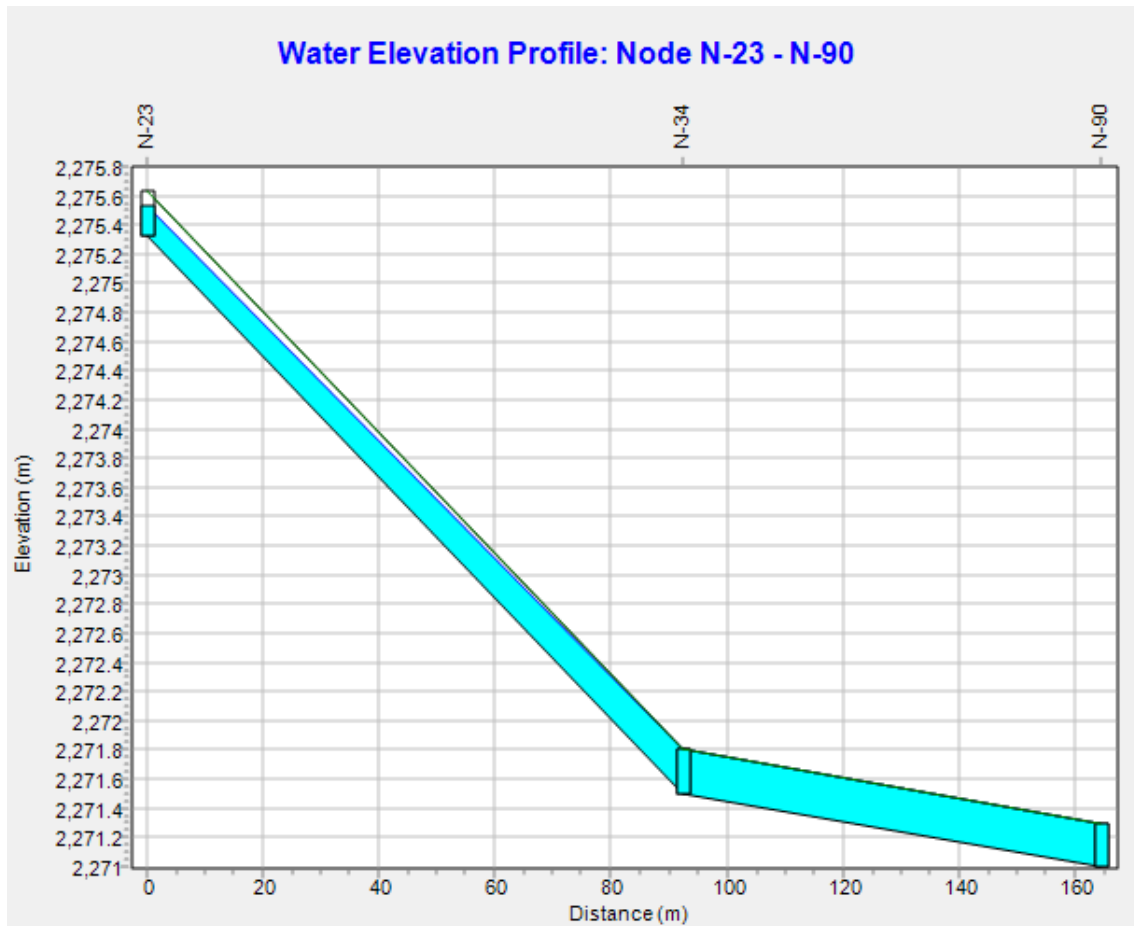


En esta sección de las calles 2 y 3 del Jr. Amorín Bueno la lámina de agua que sale de la calle es 3 cm, y un tirante máximo de 33 cm debido a que es una calle más ancha por ser vía de evitamiento.

- **Jr. Bolognesi**

**Figura 51**

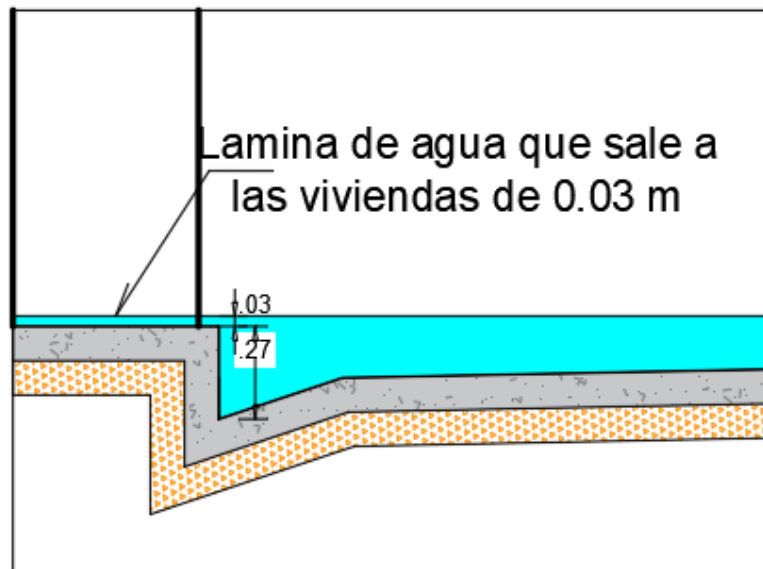
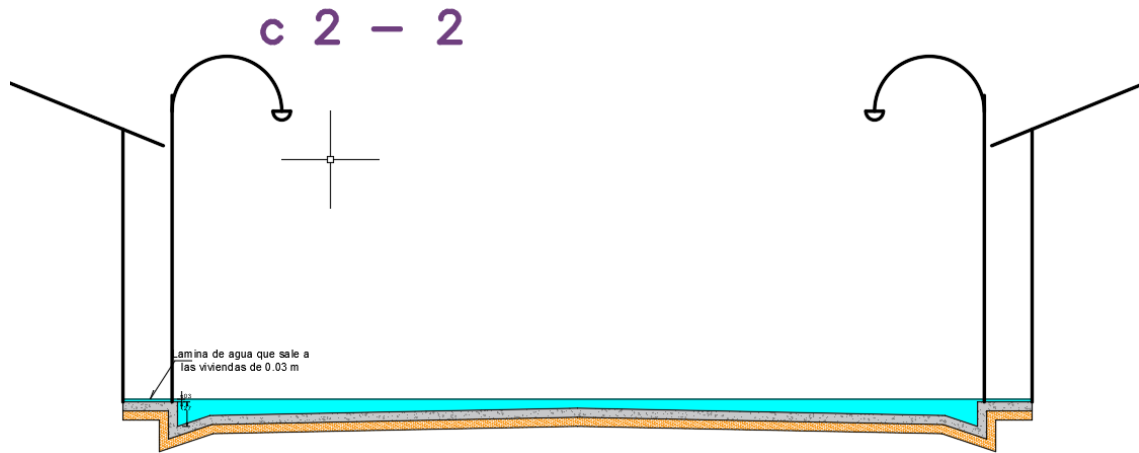
*Vista de perfil del sistema de drenaje de la calle Jr. Bolognesi (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).*



En esta vista de perfil podemos ver que la zona con mayor deficiencia se presenta en la cuadra 1 y 2 del Jr. Bolognesi con tirantes de 030m. Esta zona presenta problemas de inundaciones debido a que recoge gran parte del caudal dirigiéndolo hacia el Jr. José Gálvez y Jr. Alfonso Ugarte.

**Figura 52**

*Sección de la cuadra 2 del Jr. Bolognesi (30 minutos de haber iniciado el evento de lluvia).*

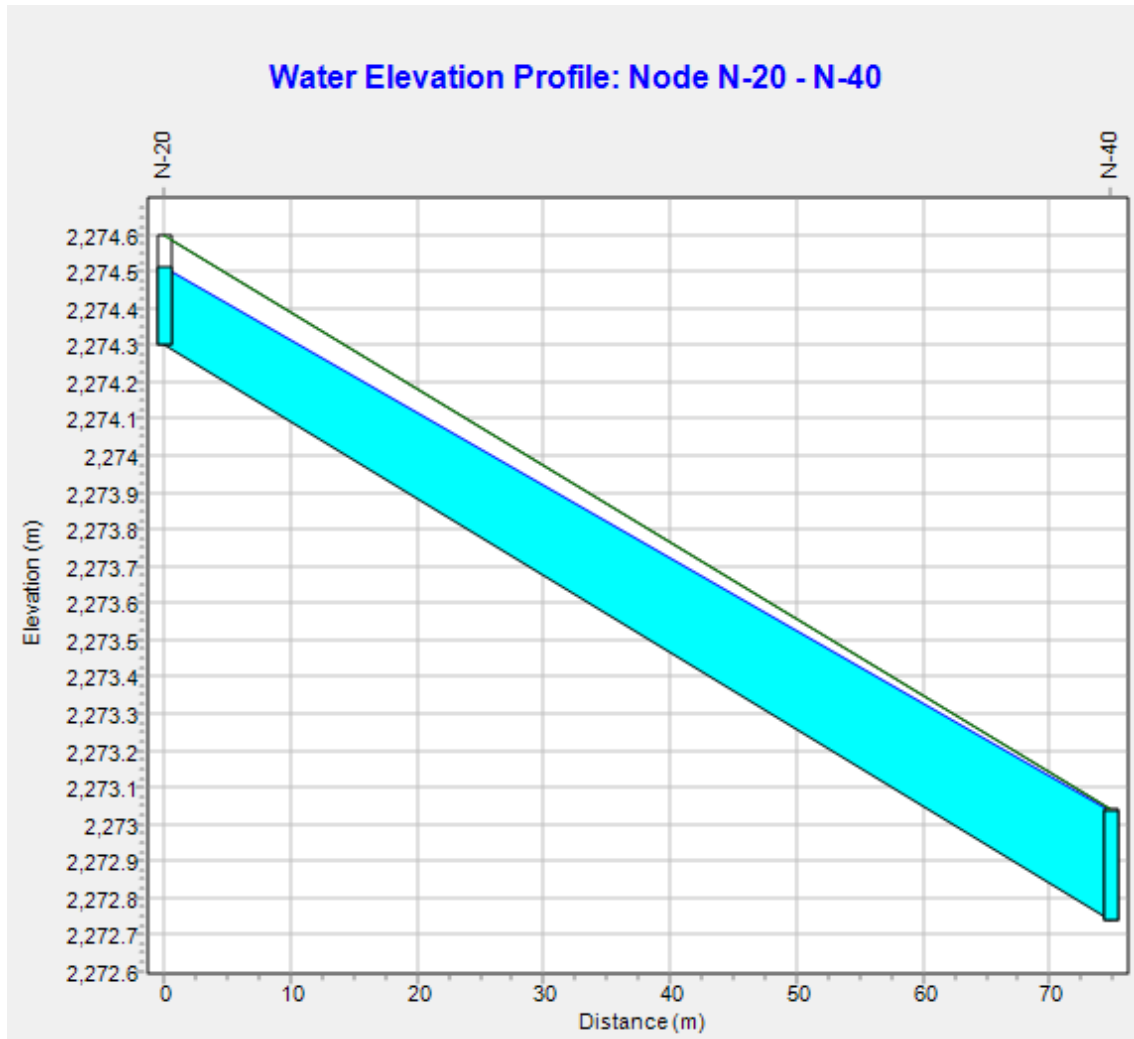


En esta sección se puede ver más claro que una lámina de 3 cm de agua que entra a las viviendas en el instante crítico.

- **Jr. Luna**

**Figura 53**

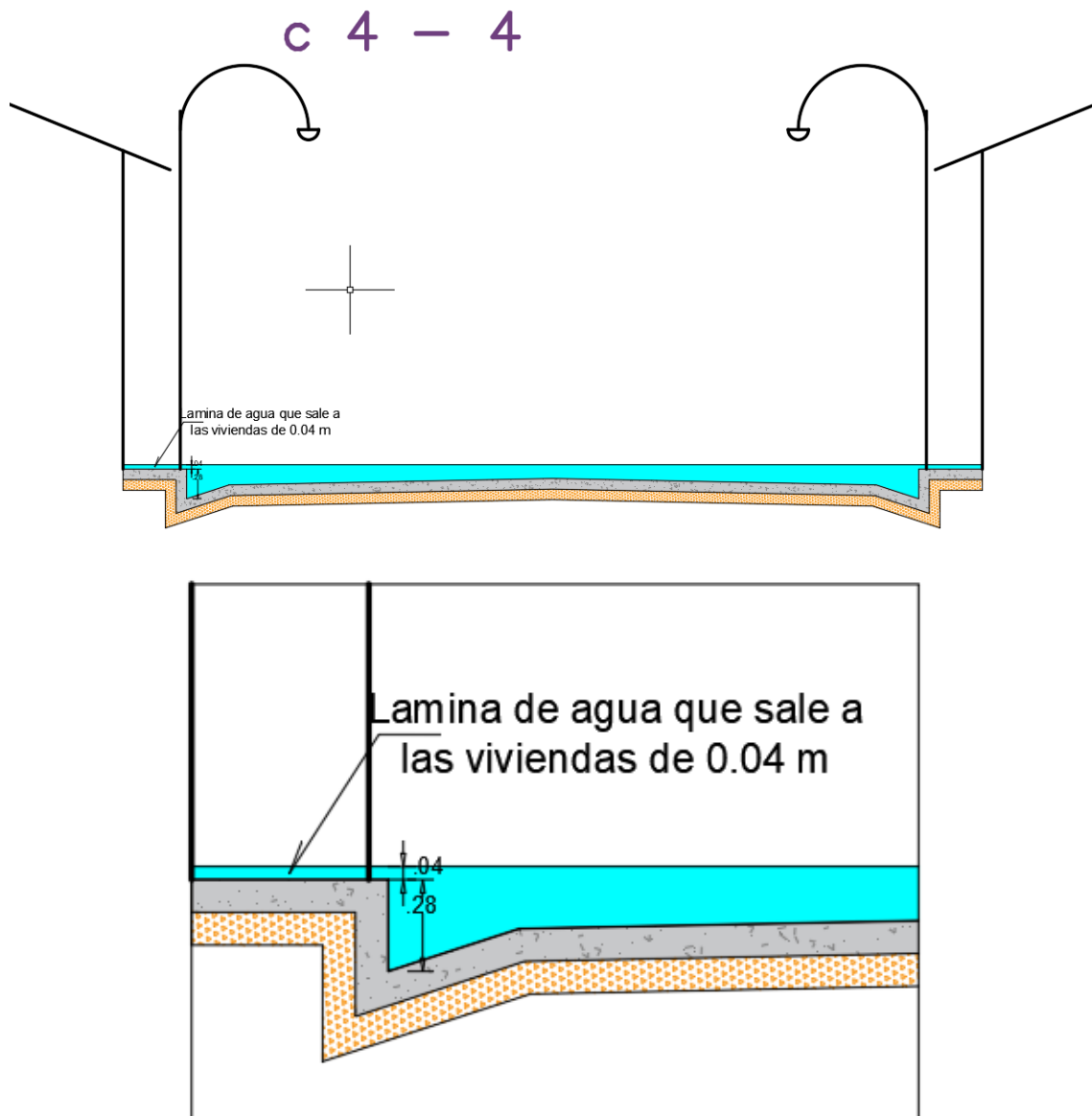
*Vista de perfil del sistema de drenaje de la calle Jr. Luna cuadra 4 (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).*



En el perfil se observa que la cuadra 4 del Jr. Luna con un ancho de 8.10m, presenta deficiencias en su drenaje pluvial, por lo tanto, presenta problemas con inundaciones. Esto se debe a que las dimensiones de su sistema no tienen la capacidad de evacuar el caudal recibido por las áreas aportantes. Dicha escorrentía es conducida hacia la calle Jr. José Gálvez que es una de las calles principales que recoge esta escorrentía.

**Figura 54**

*Sección de la cuadra 4 del Jr. Luna (30 minutos de haber iniciado el evento de lluvia).*

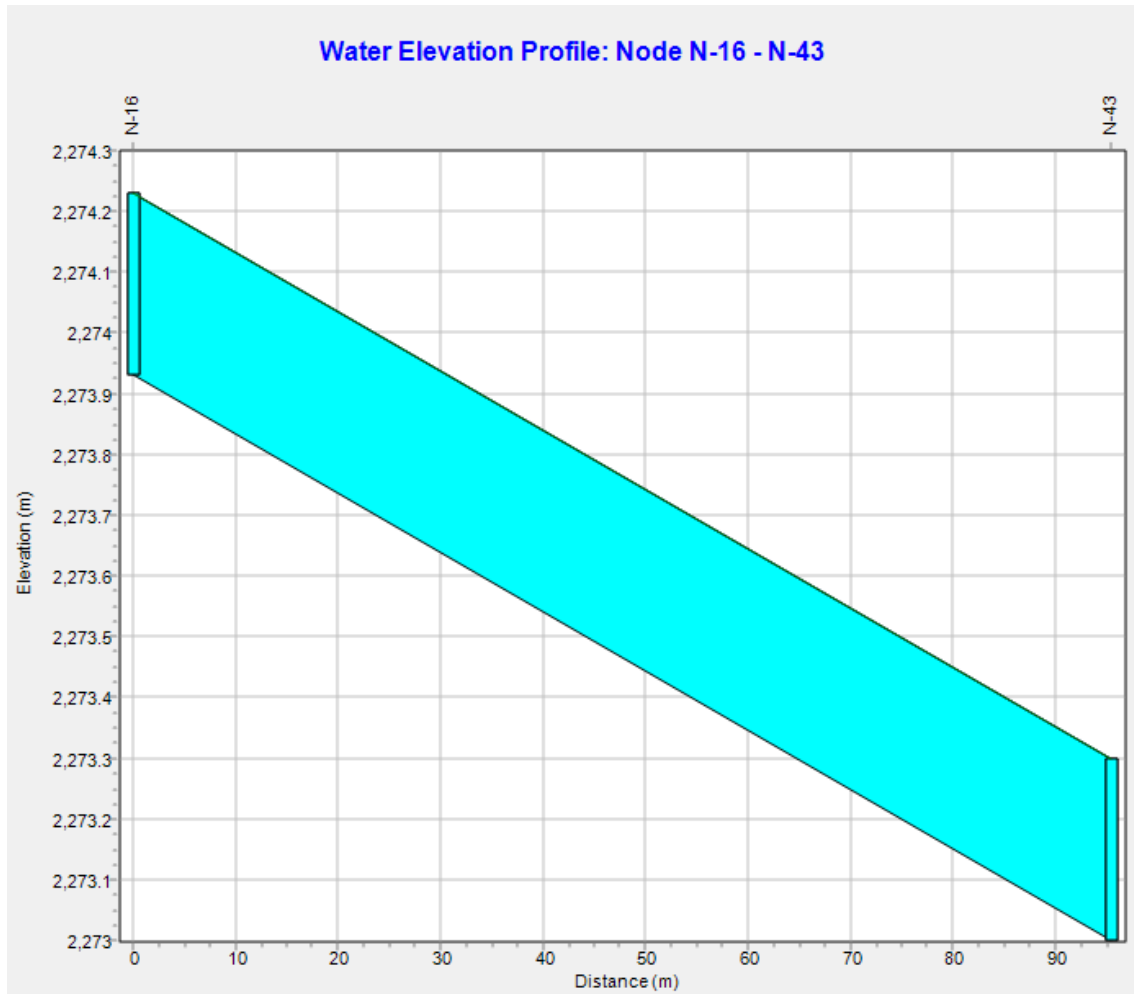


En esta sección podemos ver que alcanza un tirante de 0.32 cm y una lámina de agua que sale de 4 cm hacia las viviendas.

- **Jr. Miguel Grau**

**Figura 55**

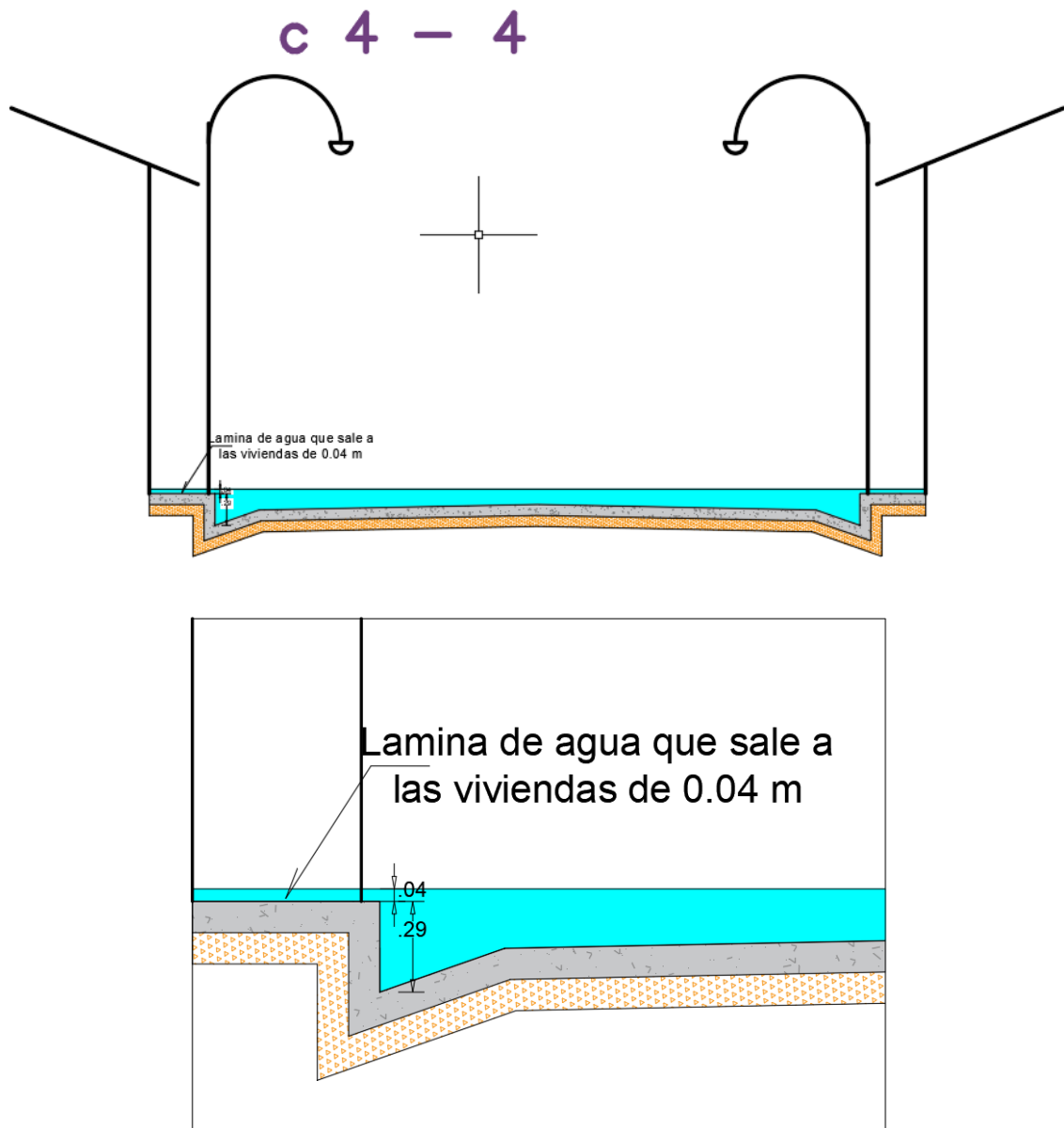
*Vista de perfil del sistema de drenaje de la calle Jr. Miguel Grau cuadra 4 (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).*



Al analizar el perfil se llega a la conclusión que es una zona donde se acumula la escorrentía que recibe el Jr. Inclán y es evacuada por la cuadra 4 del Jr. Miguel Grau hacia el Jr. José Gálvez es por ello que tiene problemas de inundaciones llegando a una altura de agua de 0.33m como se puede ver en la siguiente sección:

**Figura 56**

Sección de la cuadra 4 del Jr. Luna (30 minutos de haber iniciado el evento de lluvia).



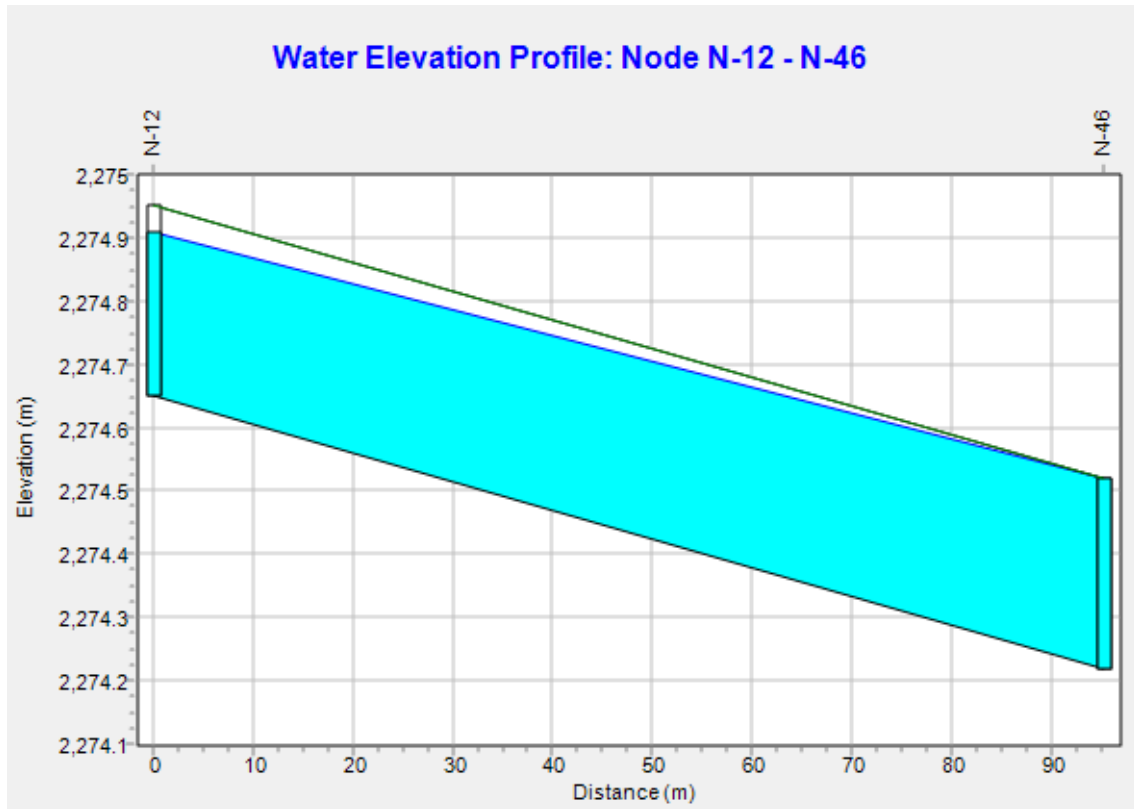
En la sección se puede ver que 4 cm de lámina de agua ingresa a las viviendas.



- **Jr. Leoncio Prado**

**Figura 57**

*Vista de perfil del sistema de drenaje de la calle Jr. Leoncio Prado (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).*



Como se puede observar en la vista de perfil, se evidencia la inundación de la cuadra 4 del Jr. Leoncio Prado con un nivel máximo de agua de 0.27m. Una de las razones principales es las dimensiones del drenaje convencional que no son las adecuadas para poder evacuar el caudal que recibe, a continuación, se presenta la sección de esta calle para una mejor visualización de la inundación:



y la cuadra 4 del Jr. Miguel Grau. El área inundable con las condiciones actuales del drenaje convencional de la zona de estudio aproximadamente es de 71007.15 m<sup>2</sup>. Para más detalle de las áreas inundables ver anexo 21.

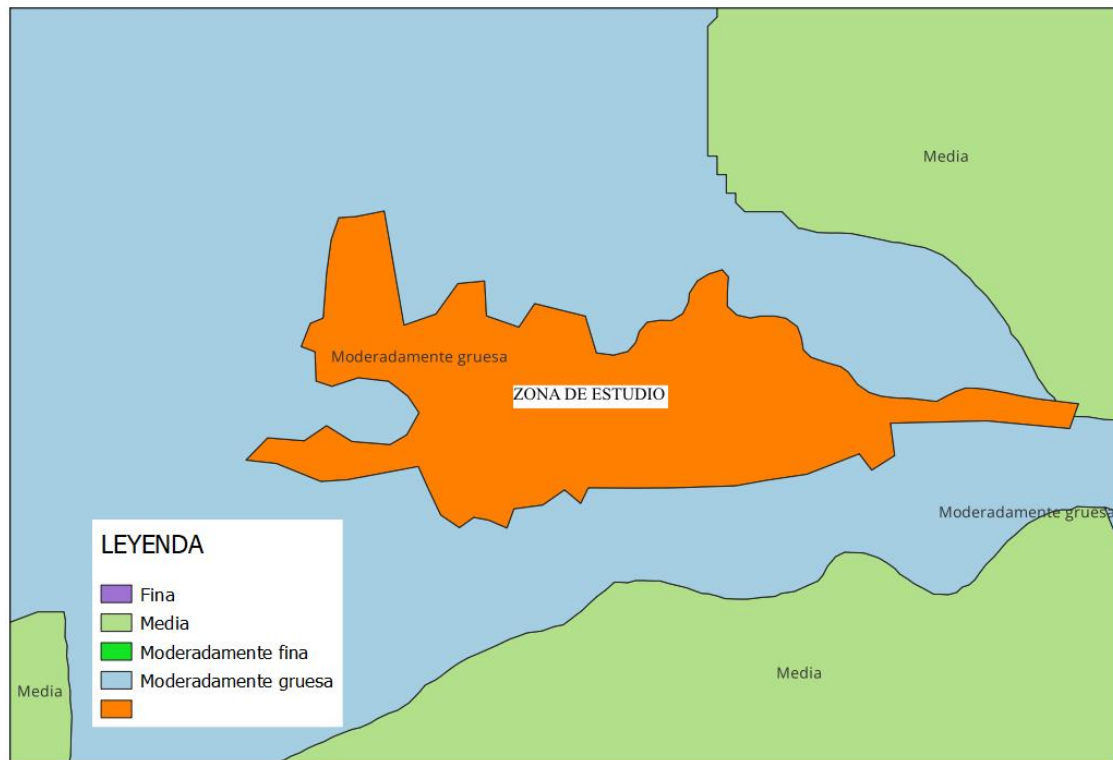
#### **4.4.2. Escenario 2**

En el escenario 2 se implementa la actuación de los SUDS, técnica de cunetas vegetadas y tanques de almacenamiento. Se tiene en cuenta que para un primer cambio de enfoque hacia las técnicas SUDS, se implemente de iniciativas que alteren en lo mínimo posible las actividades ciudadanas, y por lo tanto que sean de construcción rápida y de forma sencilla. Para la ubicación se ha tomado las áreas de las cunetas ya existentes. Teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Generalmente se considera una sección trapezoidal o parabólica.
- Para esta investigación se ha diseñado con ancho de base de 0.1m obteniéndose un tirante de 0.20 m, un borde libre de 0.15m, talud de 3, y un espejo de agua de 1.20 m.
- Se recomienda para su implementación que la pendiente debe estar entre 0.5 y 5%. Pero se debe tener en cuenta que para pendientes mayores al 3% se debe considerar elementos de contención transversal, además si se tiene pendientes menores a 1.5% y no se permite la infiltración se considerará conductos drenantes en la base.

**Figura 59**

*Tipo de suelo según su textura.*



Fuente: MINAGRI

Teniendo en cuenta la información recopilada y analizada de tipo de suelo según la fuente MINAGRI obtuvimos que nuestro tipo de suelo según su textura es moderadamente grueso.

Teniendo en cuenta esta clasificación, recurrimos a la tabla brindada por la FAO:

**Tabla 28**

*Clases texturales de suelos, según el USDA.*

<b>Nombres vulgares de los suelos (textura general)</b>	<b>Arenoso</b>	<b>Limoso</b>	<b>Arcilloso</b>	<b>Clase textural</b>
Suelos arenosos (textura gruesa)	86-100	0-14	0-10	Arenoso
	70-86	0-30	0-15	Franco arenoso
Suelos francos (textura moderadamente gruesa)	50-70	0-50	0-20	Franco arenoso
	23-52	28-50	7-27	Franco

<b>Nombres vulgares de los suelos (textura general)</b>	<b>Arenoso</b>	<b>Limoso</b>	<b>Arcilloso</b>	<b>Clase textural</b>
Suelos francos (textura mediana)	20-50	74-88	0-27	Franco limoso
	0-20	88-100	0-12	Limoso
Suelos francos (textura moderadamente fina)	20-45	15-52	27-40	Franco arcilloso
	45-80	0-28	20-35	Franco arenoso arcilloso
	0-20	40-73	27-40	Franco limoso arcilloso
Suelos arcillosos (textura fina)	45-65	0-20	35-55	Arcilloso arenoso
	0-20	40-60	40-60	Arcilloso limoso
	0-45	0-40	40-100	Arcilloso

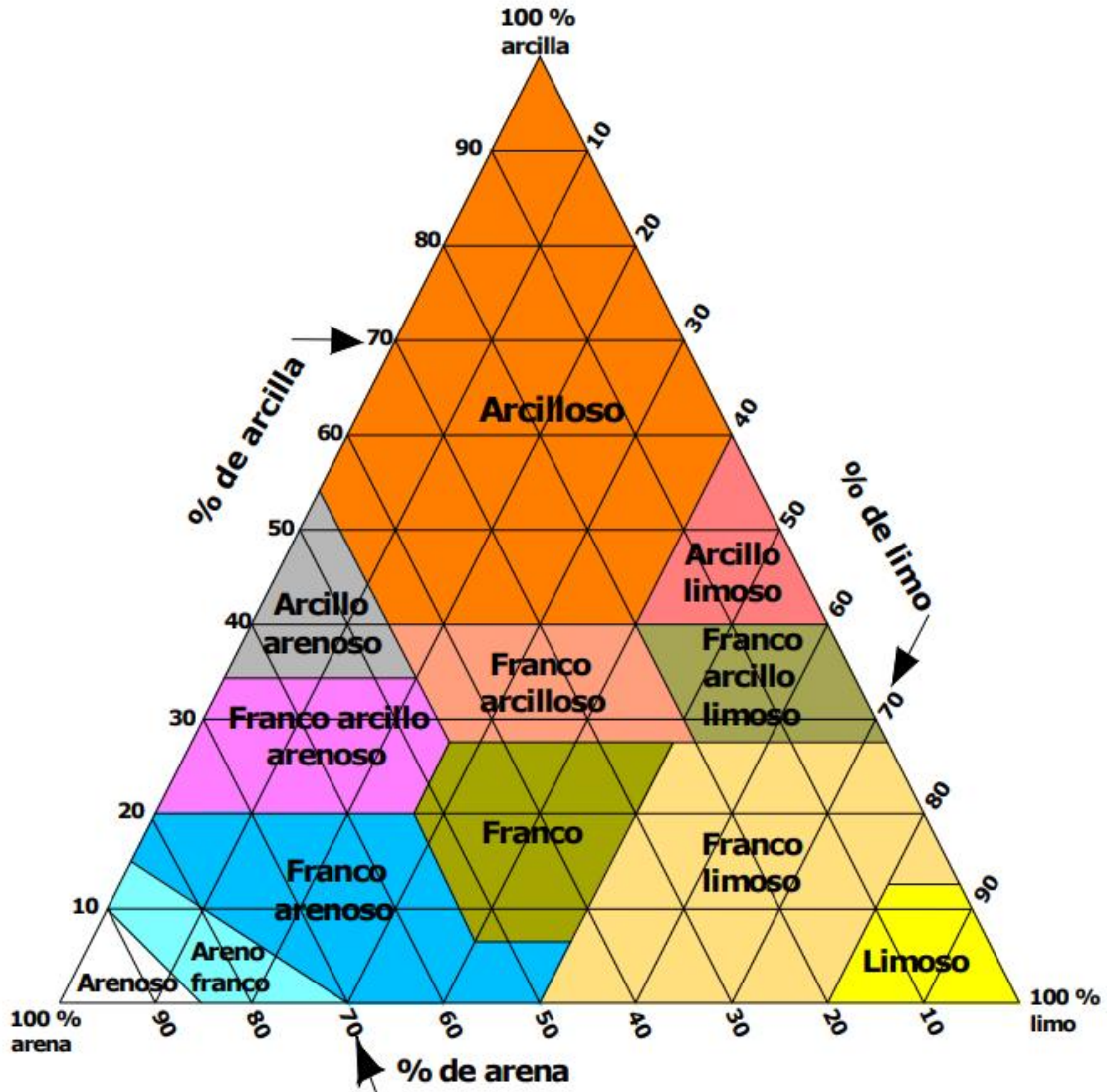
Fuente: Basado en la clasificación del USDA de las partículas según su tamaño.

Según esta clasificación obtuvimos que la clase textural del suelo de nuestra zona de estudio es Franco Arenoso como se detalla en la tabla 27.

Por lo tanto, a partir de un análisis de las partículas según su tamaño y la clase textural la FAO nos dice que para el suelo de nuestra zona presenta 70% de arena, 24% de limo y 6% de arcilla.

**Figura 60**

*Diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de las partículas, de acuerdo con el USDA.*



Fuente: FAO.

Entonces el suelo en análisis presenta las características de una mezcla de arcilla, arena y limo; la zona donde se representa esta clase se puede apreciar de color azul en la figura 58. Tomando en cuenta las cualidades de las 3 texturas presentes van a favorecer la retención del agua, circulación del aire, fertilidad y drenaje. Como nuestro tipo de suelo predomina la arena, podemos decir que nuestro suelo en estudio es una marga arenosa y sus propiedades se presenta a continuación según el manual de SWMM:

**Tabla 29***Propiedades de la capa suelo para diferentes tipos de suelo.*

Suelo	Porosidad (%)	Capacidad de campo (%)	Punto de Marchitez (%)	Conductividad Hidráulica (mm/h)	Pendiente de conductividad	Altura de succión (mm)
Arena	0,437	0,062	0,024	120,396	48,65	49,022
Arena margosa	0,437	0,105	0,047	29,972	49,025	60,96
Marga arenosa	0,453	0,19	0,085	10,922	39,7	109,982
Marga	0,463	0,232	0,116	3,302	43,7375	88,9
Marga limosa	0,501	0,284	0,135	6,604	23,6875	169,926
Marga areno-arcillosa	0,398	0,244	0,136	1,524	53,375	219,964
Marga arcillosa	0,464	0,31	0,187	1,016	44,2875	210,058
Marga limo-arcillosa	0,471	0,342	0,21	1,016	33,4875	270,002
Arcilla arenosa	0,43	0,321	0,221	0,508	64,65	240,03
Arcilla limosa	0,479	0,371	0,251	0,508	47,3	290,068
Arcilla	0,475	0,378	0,265	0,254	70,3	320,04

Fuente: EPA (2022).

En la tabla 28 se resalta las propiedades del suelo que presenta la zona de estudio. con este valor obtenido podemos clasificar el grupo hidrológico de suelo teniendo en cuenta a la tabla 29:

**Tabla 30***Definiciones de grupos hidrológicos de suelos del NRCS.*

Grupo	Sentido	Conductividad hidráulica saturada (mm/hr).
A	Bajo potencial de escorrentía.  El agua se transmite libremente a través del suelo. Los suelos del grupo A suelen tener menos de un 10% de arcilla y más de un 90% de arena o grava y presentan texturas de grava o arena.	> 36.068

B	<p>Potencial de escorrentía moderadamente bajo.</p> <p>La transmisión del agua a través del suelo no se ve obstaculizada. Grupo B suelen tener entre un 10 y un 20 por ciento de arcilla y entre el 50 y el 90 por ciento de arena y tienen texturas arenosas o franco-arenosos.</p>	14.478 - 36.068
C	<p>Potencial de escorrentía moderadamente alto.</p> <p>La transmisión del agua a través del suelo está restringida. Los suelos del Grupo C suelen tener entre un 20 y 40 por ciento de arcilla y menos del 50 por ciento de arena y tienen franco, franco limoso, franco arcilloso arenoso, franco arcilloso y franco arcilloso limoso. arcilloso limoso.</p>	1.524 - 14.478
D	<p>Alto potencial de escorrentía.</p> <p>El movimiento del agua a través del suelo está restringido o muy restringido. Los suelos del Grupo D suelen tener más de un 40 por ciento de arcilla, menos del 50 por ciento de arena y tienen texturas arcillosas.</p>	< 1.524

Fuente: EPA (2022).

Con estas propiedades se modelaron tanto el escenario 1 como el escenario 2 para poder ver la influencia de las cunetas vegetadas en la reducción de áreas inundables de la ciudad de San Marcos.

Con los parámetros establecidos se asigna las técnicas SUDS de cunetas vegetadas y tanques de almacenamiento como se detalla a continuación:

**Tabla 31**

*Propiedades de los parámetros de superficie de la cuneta.*

<b>Propiedades de los parámetros de cada capa</b>			
<b>Elemento SUDS</b>	<b>Vegetative Swale</b>		
Capa de superficie	Altura de berma:	(mm)	300



	Volumen de vegetación:	•	0.1
	Rugosidad de la superficie:		0.035
	Pendiente de la superficie:	%	1

**Tabla 32**

*Propiedades de las capas de tanques de almacenamiento.*

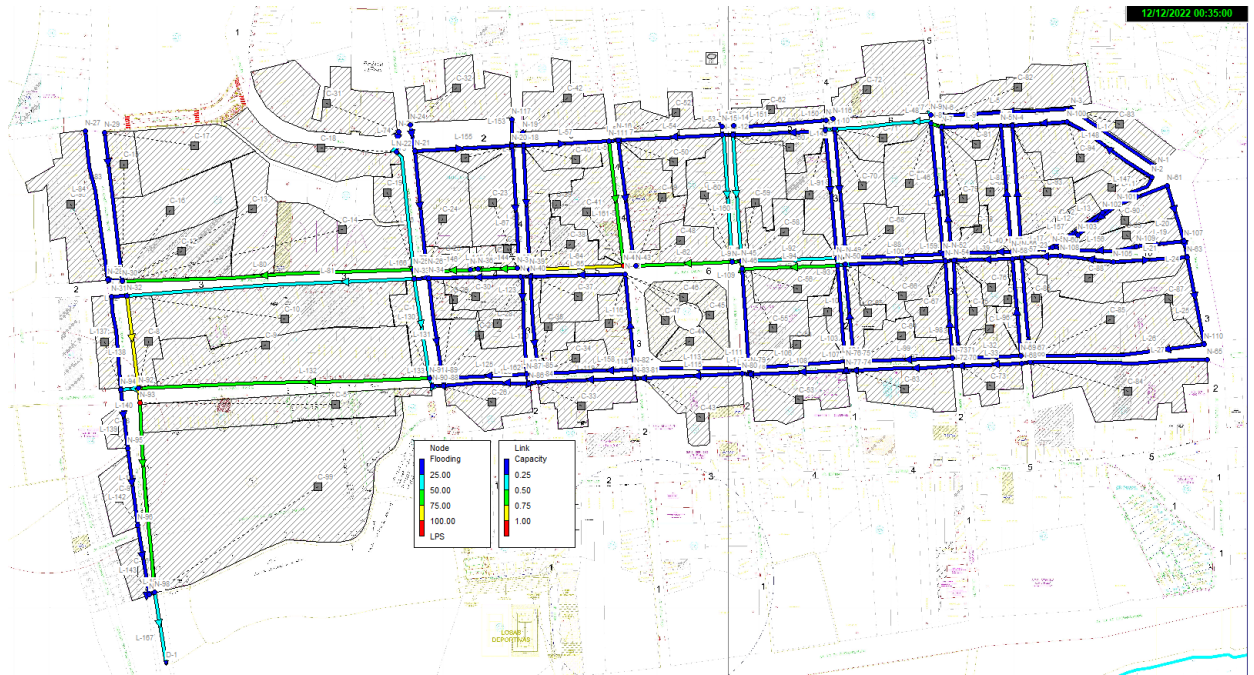
<b>Propiedades de los parámetros de cada capa</b>			
<b>Elemento SUDS</b>	<b>Vegetative</b>		
Capa de almacenamiento	Espesor	(mm)	1550
Dren	Coeficiente de dren	-	2.75
	Exponente de dren	•	0.5
	Altura de dren	(mm)	0
	Aplazamiento de liberación	(h)	1

#### **4.4.2.1. Resultados del Escenario 2**

Aplicados los valores al modelo presentados en la tabla 27 para las cunetas vegetadas se procedió a correr la simulación para poder ver si mejoro el funcionamiento del sistema de drenaje de la ciudad de San Marcos, se compara las mejoras con el escenario 1.

## Figura 1

Representación por colores la carga en el sistema y la inundación en los nodos en la zona es estudio con las condiciones del escenario 2 (30 minutos después de haber iniciado el evento pluvial).



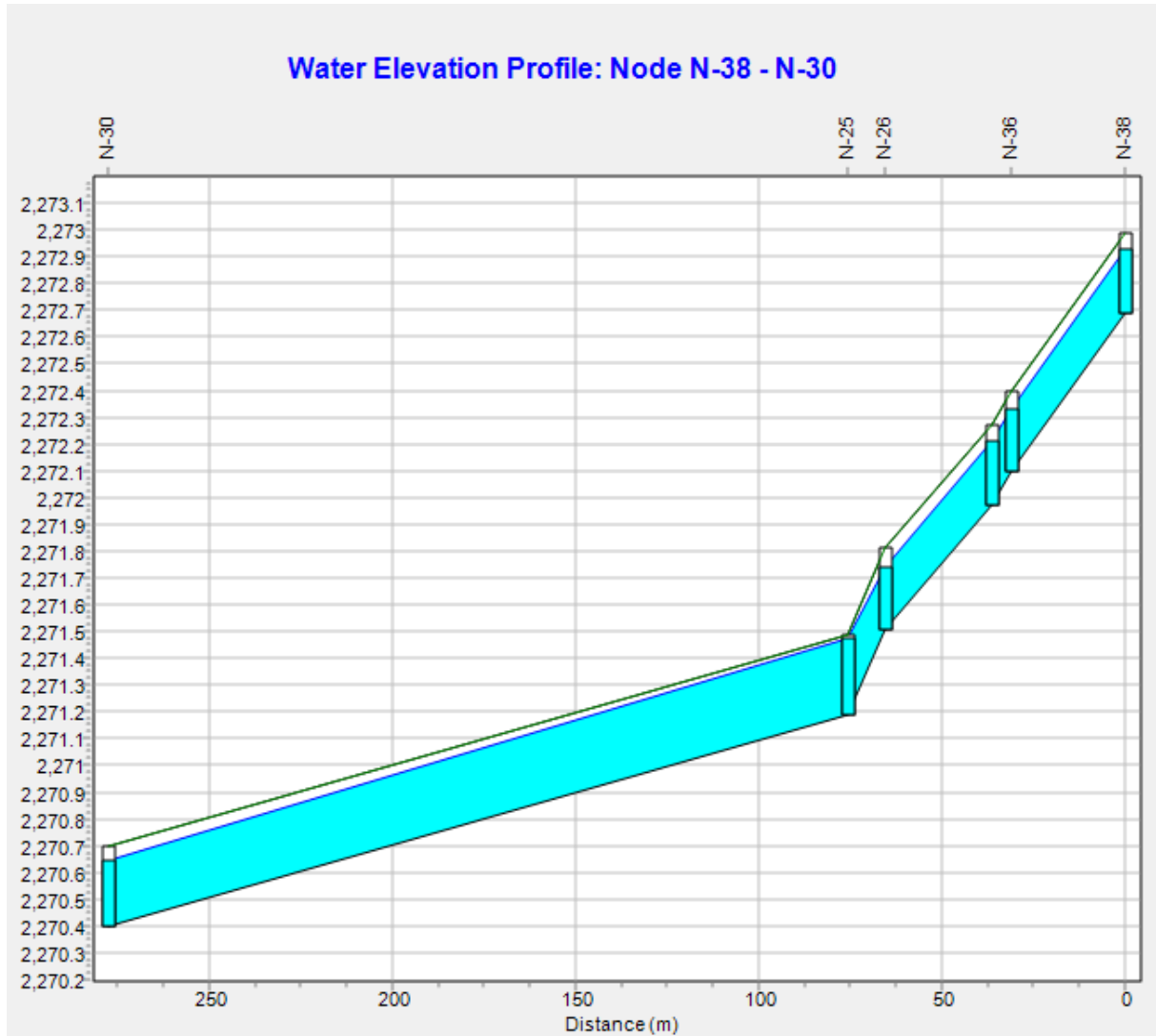
Los principales cambios se pueden notar en las calles el Jr. Inclán, el Jr. Adolfo Amorín Bueno el Jr. Bolognesi, Jr. Amorín Bueno, Jr. Miguel Grau, Jr. Miguel Grau y el Jr. Leoncio Prado que ya no se producen inundaciones, pero los problemas de inundación continúan en el Jr. José Gálvez, Jr. Alfonso Ugarte y el Jr. Amorín Bueno. Estos problemas generalmente se deben a que el sistema de drenaje urbano convencional no está dimensionado correctamente, ya que se presenta un déficit para poder evacuar este caudal producido por las áreas tributarias. Pero como se puede ver el problema se mitiga en gran magnitud, como se puede evidenciar en la reducción de las áreas inundables al implementar las cunetas vegetadas y tanques de almacenamiento en el modelamiento numérico.

Para un mayor análisis se presenta las vistas de perfiles de las calles que persiste el problema de inundación:

- Calle Jr. José Gálvez

**Figura 61**

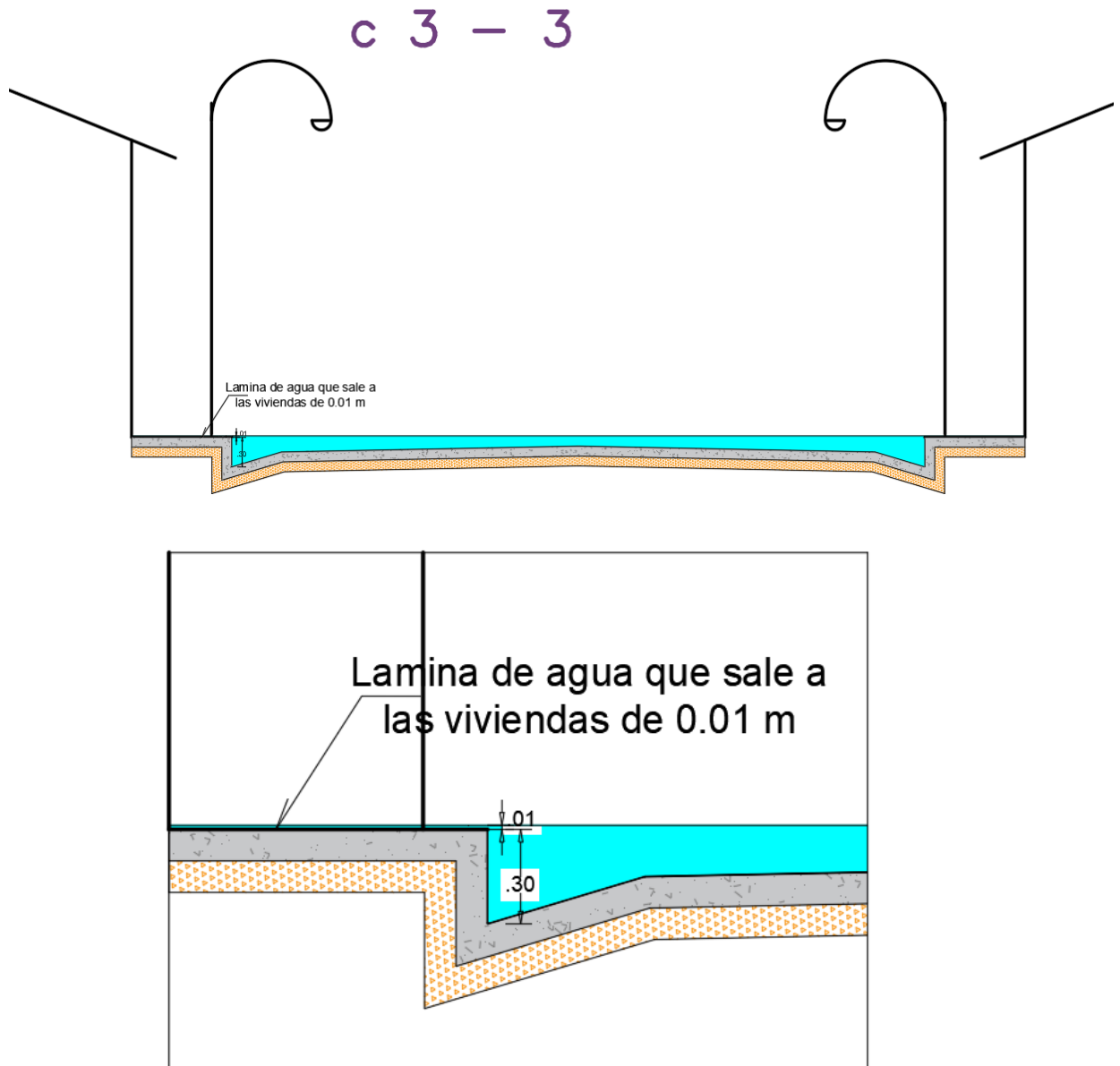
*Vista de perfil del sistema de drenaje de la calle Jr. José Gálvez al implementar cunetas vegetadas (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).*



En el perfil mostrado se puede que la cuadra 3 del Jr. José Gálvez sigue presentando problemas de inundación debido a que el tirante es mayor a la altura de vereda, pero los problemas disminuyen ya que la lámina de agua que sale es de 1.3 cm y el tirante máximo es de 31.3 cm.

**Figura 62**

Sección de la cuadra 3 del Jr. Jase Gálvez (30 minutos de haber iniciado el evento de lluvia).

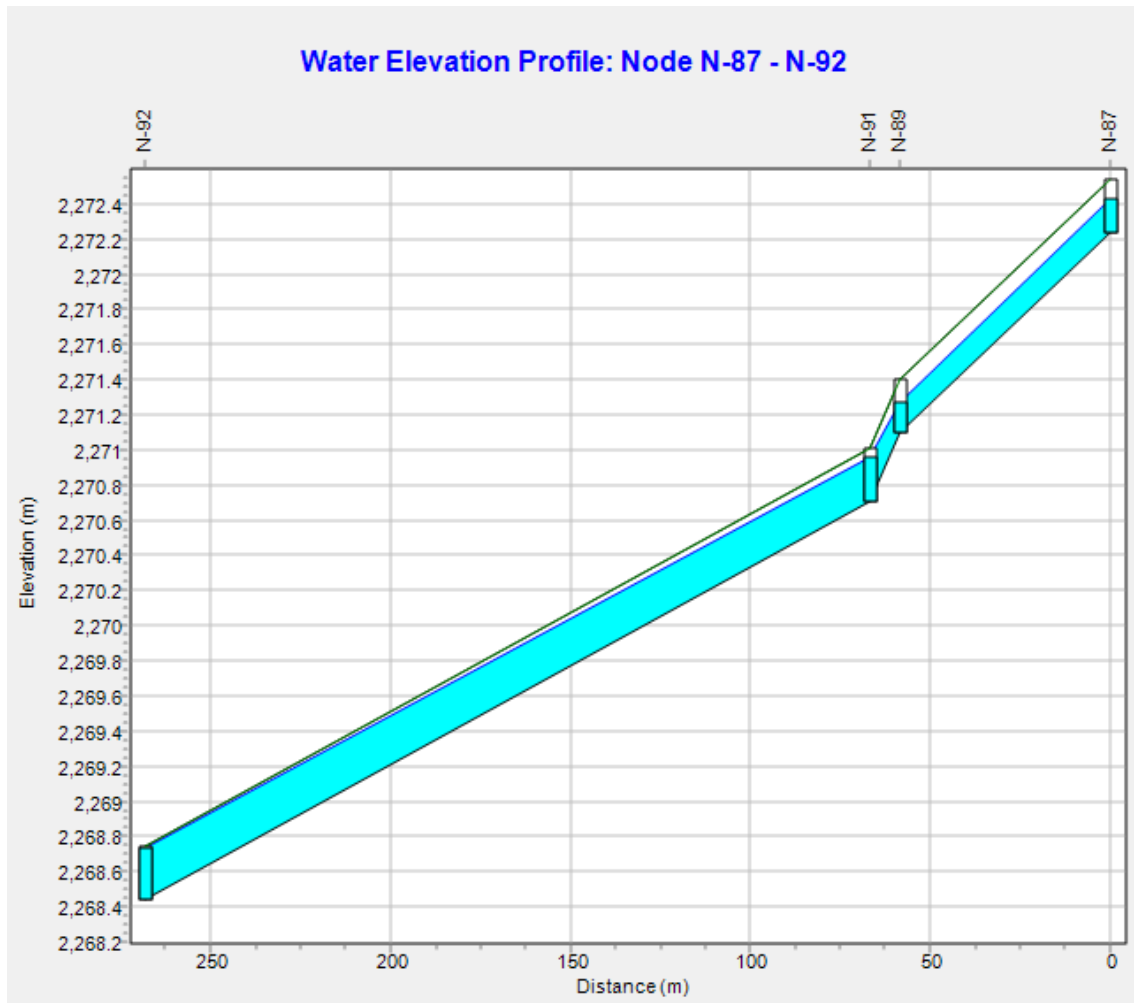


En esta sección se evidencia que el nivel de agua pasa la altura de las veredas, una lamina de 1cm.

- Calle Jr. Alfonso Ugarte

**Figura 63**

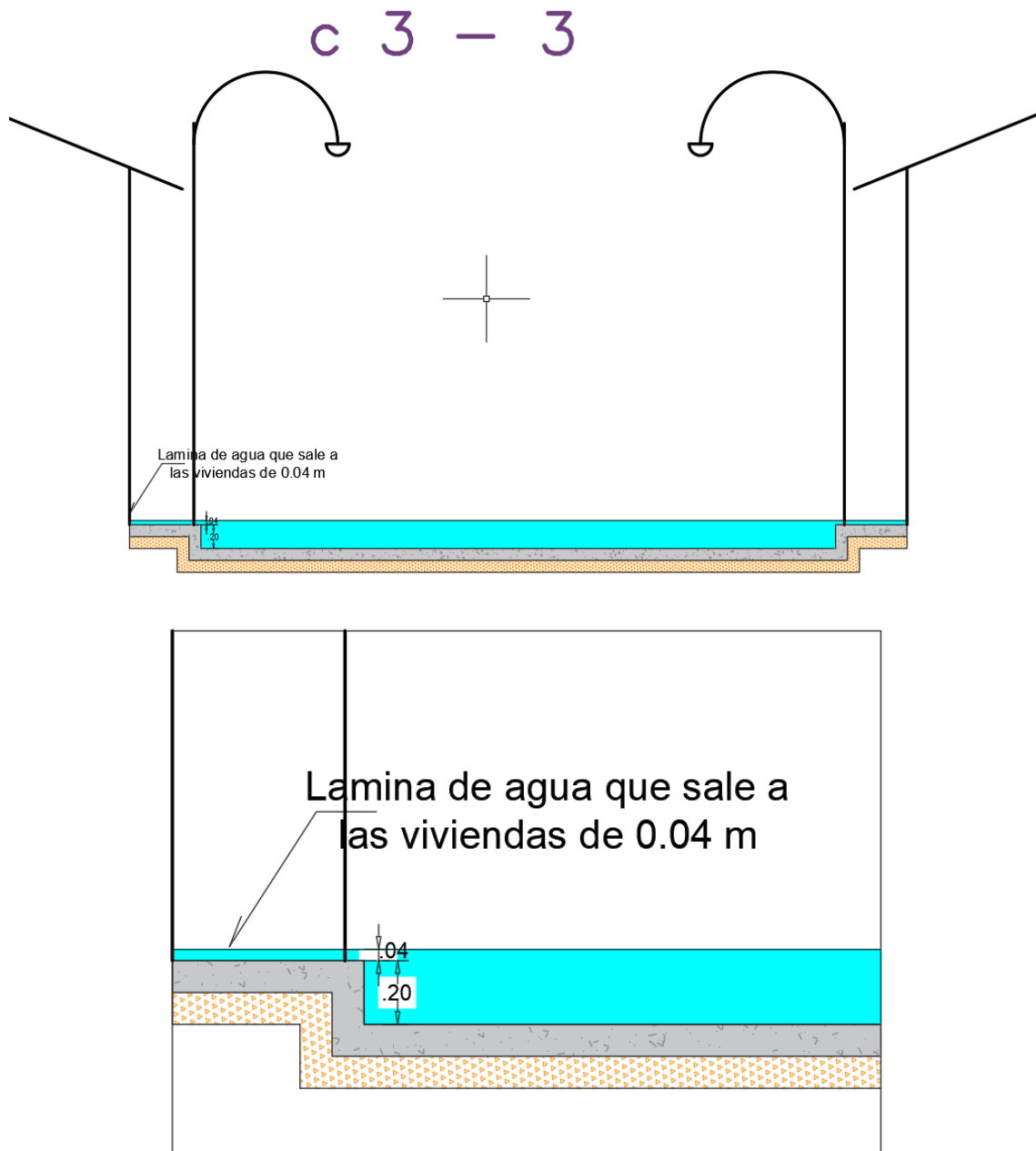
*Vista de perfil del sistema de drenaje de la calle Jr. Alfonso Ugarte al implementar cunetas vegetadas (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).*



En este perfil observamos que el tirante es de 23.4 cm, entonces podemos ver que como la altura de vereda es de 20 cm sigue presentando problemas de inundación. A continuación, se presenta la sección con el nivel máximo de agua.

**Figura 64**

Sección de la cuadra 3 del Jr. Alfonso Ugarte (30 minutos de haber iniciado el evento de lluvia).

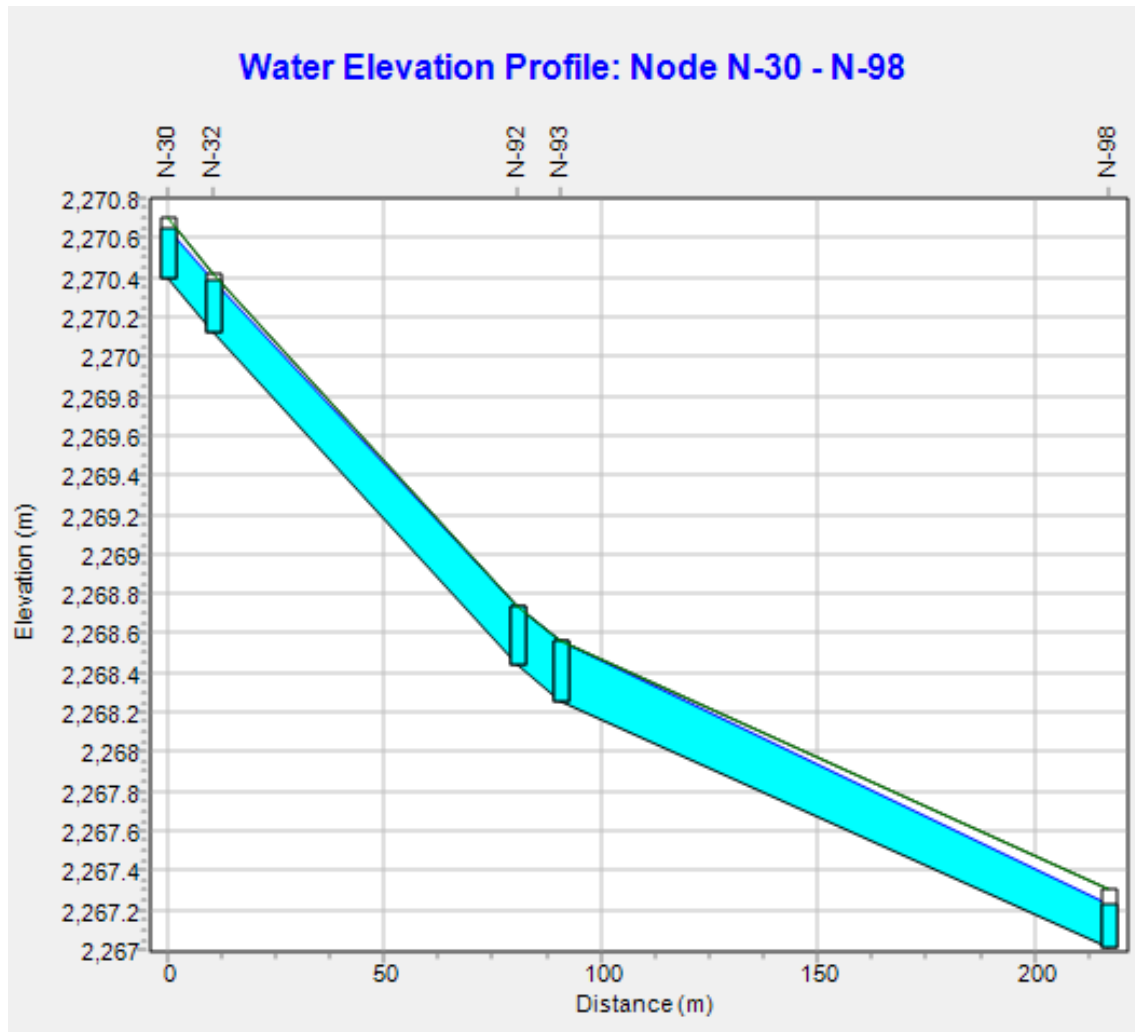


En esta sección de la cuadra 3 del Jr. Alfonso Ugarte podemos ver mejor que la inundación continua, entrando a las viviendas una lámina de 4 cm.

- **Calle Jr. Amorín Bueno**

**Figura 65**

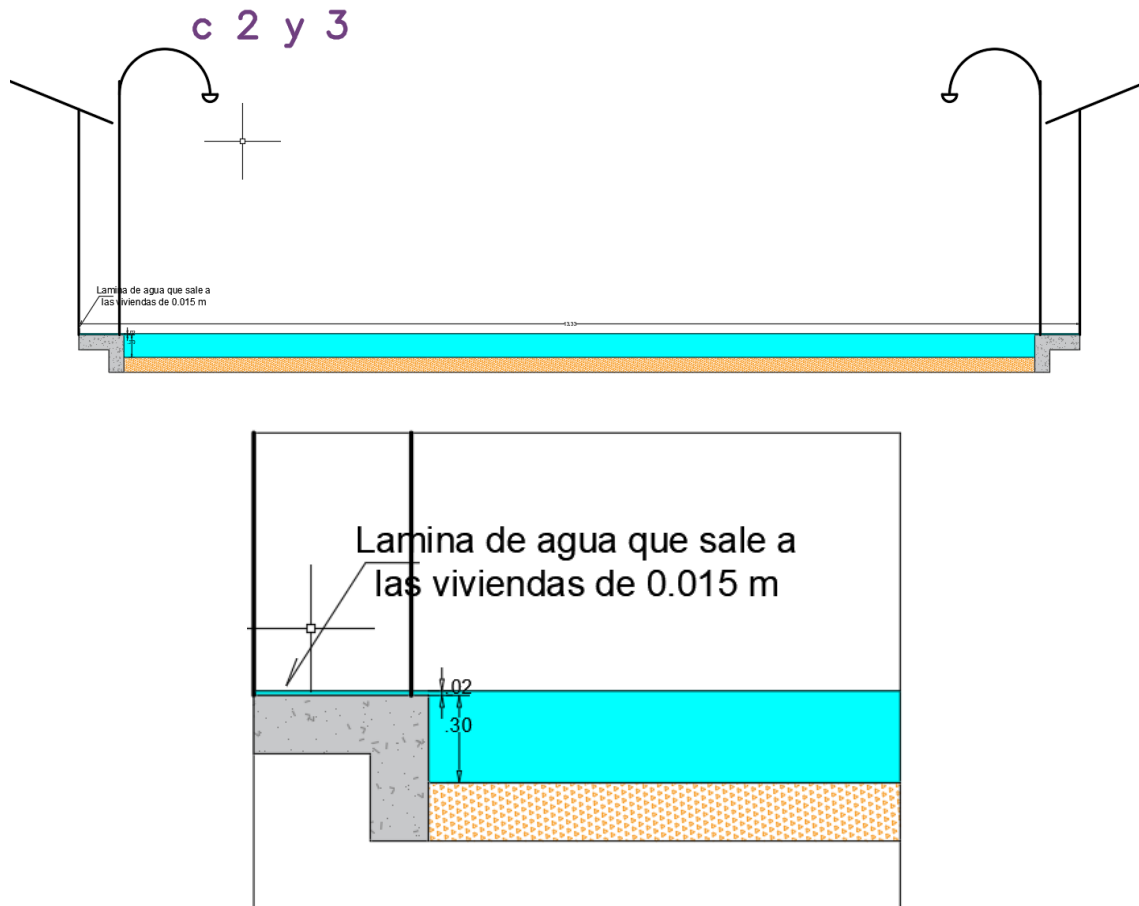
*Vista de perfil del sistema de drenaje de la calle Jr. Amorín Bueno al implementar cunetas vegetadas (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia).*



En el perfil mostrado podemos ver que las cuadras 2 y 3 del Jr. Amorín Bueno siguen presentando problemas con la entrada del agua a sus viviendas. En la cuadra 2 los problemas son ocasionados debido a que el tirante es de 31.5 cm y la altura de la vereda es de 0.30 m, a continuación, se presenta la sección con el tirante máximo después de implementar las técnicas de tanques de almacenamiento y cunetas vegetadas.

**Figura 66**

Sección de la cuadra 2 del Jr. Amorín Bueno (30 minutos de haber iniciado el evento de lluvia).



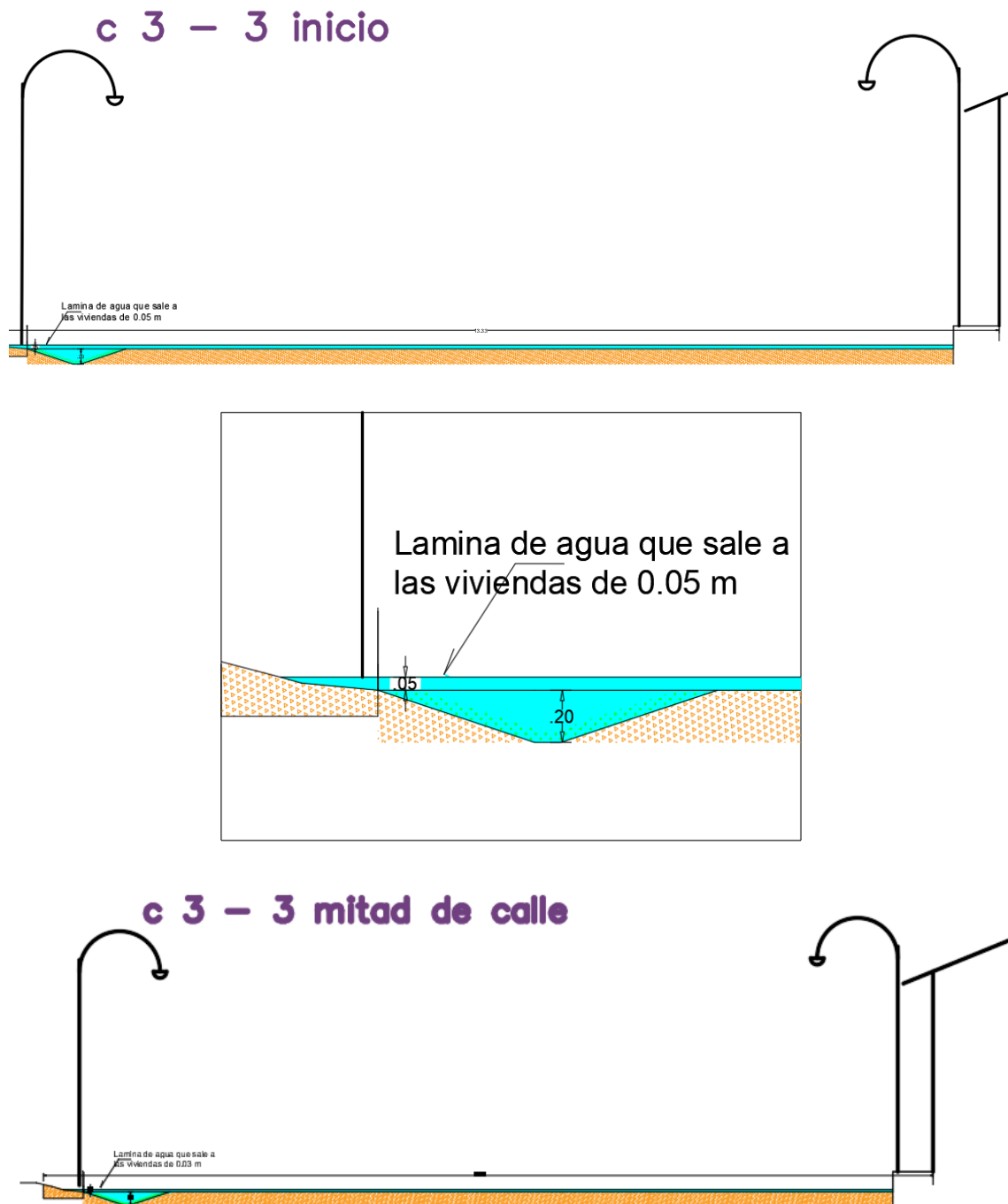
En estas secciones podemos ver que la lámina que entra a las viviendas es de 1.5 cm lo que disminuye con la implementación de los SUDS.

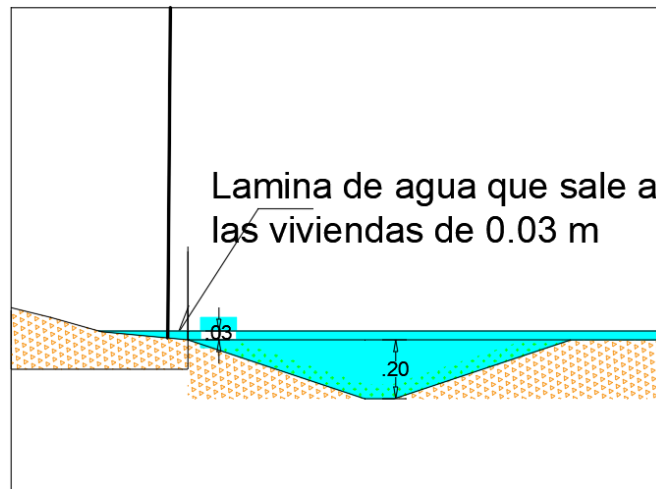
En la cuadra 3 del Jr. Amorín Bueno el problema se presenta problemas porque toda el agua de la zona de estudio en evacuada por esta calle al cuerpo de agua del rio Cascasen el tirante con drenaje actual es de 33 cm y al implementar las técnicas de cunetas vegetadas y tanques de almacenamiento es de 25 cm. Como se muestra la sección a continuación con los tirantes de agua.



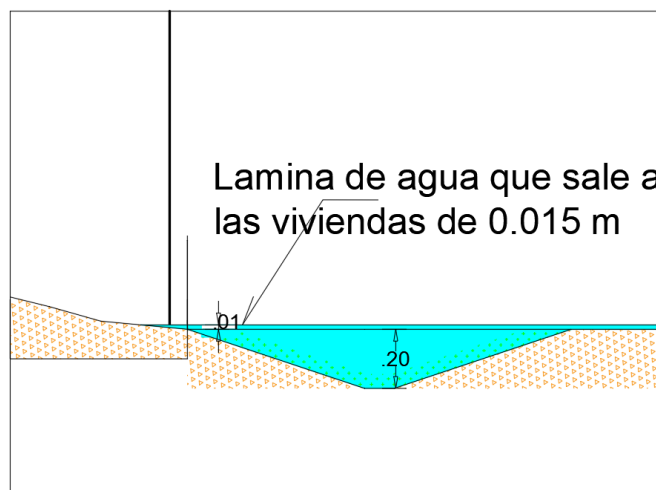
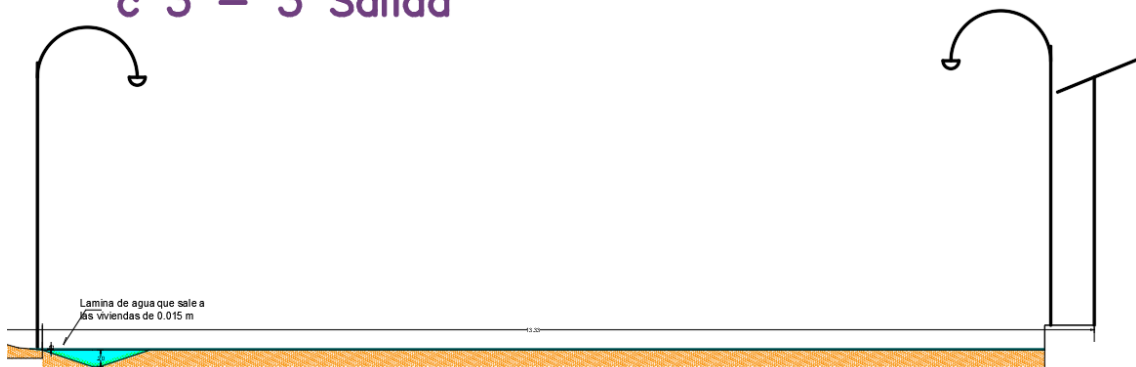
**Figura 67**

Sección de la cuadra 3 del Jr. Amorín Bueno (30 minutos de haber iniciado el evento de lluvia).





### c 3 - 3 Salida



Al analizar estas vistas de perfil podemos ver que estas calles siguen presentando problemas de inundaciones, entonces se puede concluir que las técnicas SUDS en términos generales es muy positiva, pero no son capaces de terminar con estos problemas. Aunque este nuevo enfoque ayuda a reducir problemas ambientales como de inundación no son capaces de terminar con el problema debido a que se deben incluir no solo una sino varias técnicas incluidas en el paisaje urbano, para así tratar de acabar con el

problema. Aproximadamente se calculó en programa civil 3d que en las áreas que persiste el problema de inundación es de 14277.85 m<sup>2</sup>. En el Anexo 22 se detalla las áreas inundables.

#### 4.4.3. Comparación de resultados entre los dos escenarios modelados

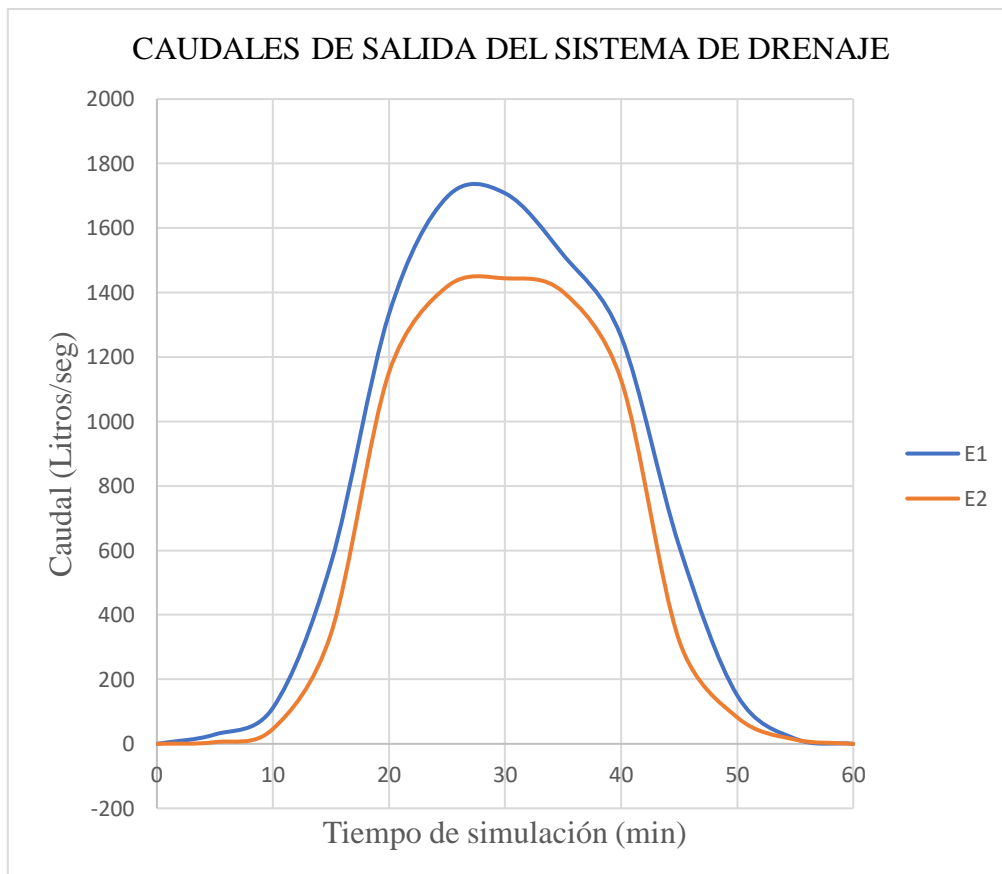
Se va a presentar con más detalle los resultados obtenidos con el fin de poder extraer la información máxima posible. Con esta información se podrá analizar la influencia de incluir las técnicas de cunetas vegetadas y tanques de almacenamiento con respecto a la información que nos brinda el modelado:

##### 4.4.3.1. Hidrograma de salida

Se presentan los resultados en la salida de la red de colectores para los dos escenarios. Se muestra a continuación el hidrograma de salida de manera gráfica, así como la tabla de resumen de valores numéricos:

#### Figura 68

*Hidrogramas de salida de la red de drenaje convencional para cada uno de los escenarios de análisis planteados.*



**Tabla 33**

*Resumen de los caudales medios, pico y volúmenes totales para los dos escenarios analizados.*

Escenario Analizado	Caudal medio	Caudal pico	Volumen total	Reducción del caudal pico	Reducción del volumen
	(litros/seg)	(litros/seg)	(litros x10 <sup>6</sup> )	%	%
E1	1083.71	1707.78	3.445	-	-
E2	895.25	1443.77	2.694	15.46	21.80

Observamos que al implementar los SUDS buscamos principalmente la reducción de la cantidad de agua tanto en volumen evacuado como la reducción y retraso del caudal pico en el hidrograma de salida. Analizamos el hidrograma de salida y se nota un ligero aplanamiento (30 minutos después de haber iniciado la lluvia), que se reduce con la implementación de las técnicas de cunetas vegetadas y tanques de almacenamiento. Pero como se observa no hay el aplazamiento del caudal pico por que el tiempo de concentración coincide con el escenario 1.

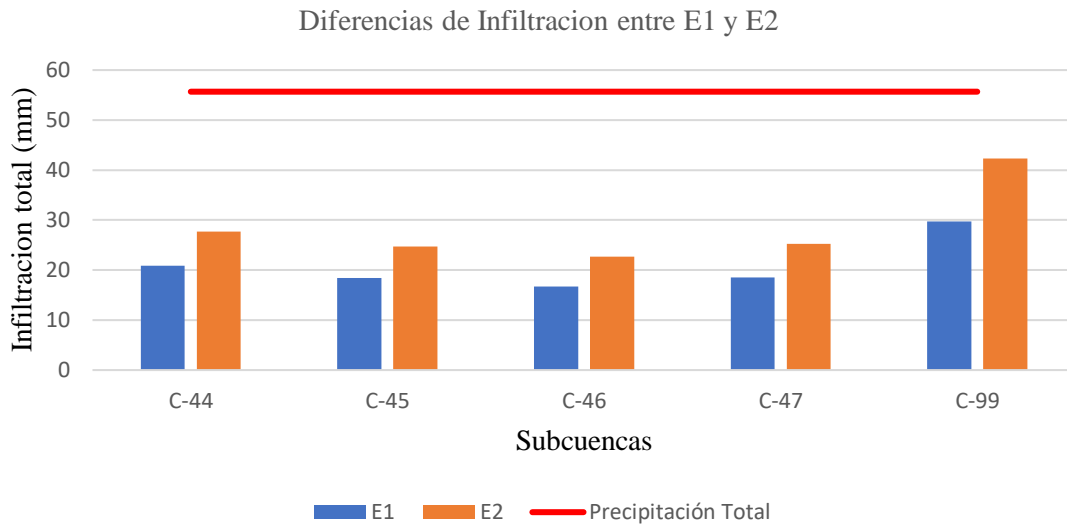
En los resultados presentados es notorio ver que se elimina una buena cantidad de escorrentía generada, al analizar el caudal pico obtenido, se evidencia que se reduce en un 15.46%. Este dato es determinante ya que se demuestra que el nuevo enfoque de las técnicas de sistemas urbanos de drenaje sostenible no solo es capaz de contribuir beneficios ante eventos de lluvia de baja o moderada intensidad, sino también que son fundamentales ante lluvias torrenciales que producen inundaciones.

#### **4.4.3.2. Infiltración**

La infiltración es uno de los principales objetivos de las técnicas de drenaje urbano sostenible que pueden cooperar en la reducción de los problemas de inundaciones en la zona de estudio. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada una de las subcuencas en actuación para los dos escenarios considerados:

**Figura 69**

*Diferencia de infiltración producida entre los escenarios 1 y 2 para cada una de las subcuencas que forman la cuenca de estudio.*



Los datos presentados en la figura anterior evidencian la capacidad que tienen los SUDS mediante la técnica de cuentas vegetadas para imitar el drenaje natural en una cuenca urbana. Como se puede ver en las gráficas la diferencia de volúmenes infiltrados entre en escenario 1 y 2 es sorprendente. Entonces podemos decir que las cunetas vegetadas ayudan en gran medida a reducir la escorrentía a través de la infiltración como se observa en la gráfica anterior, este resultado es muy positivo al comparar con la infiltración de la cuenca original por que ayuda a reducir el caudal.

**4.4.3.3. Escorrentía**

La escorrentía va directamente relacionada con la infiltración, es decir que el agua que no se infiltra se convierte en escorrentía. A más infiltración menos escorrentía, es por ello que, una de las técnicas utilizadas es las cuentas vegetadas que se basa en la infiltración de la lluvia; en cambio la técnica de tanques de almacenamiento se basa en la retención del agua generada por las zonas impermeables y así poder reducir tanto la escorrentía por ende el caudal pico. A continuación, se presenta los resultados obtenidos de los dos escenarios analizados:

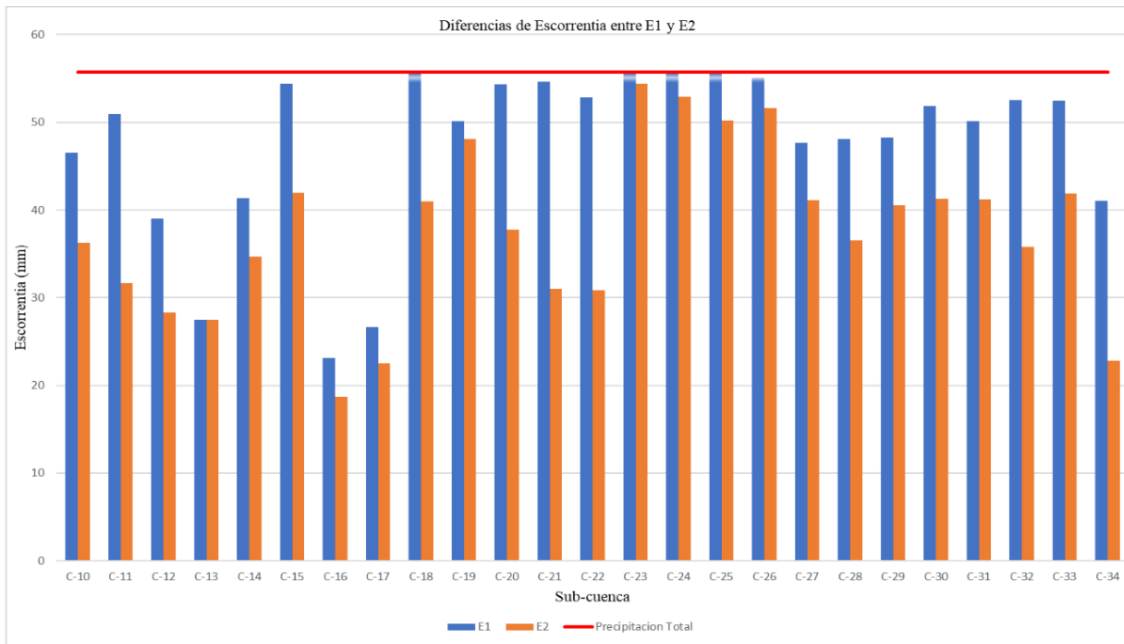
**Tabla 34**

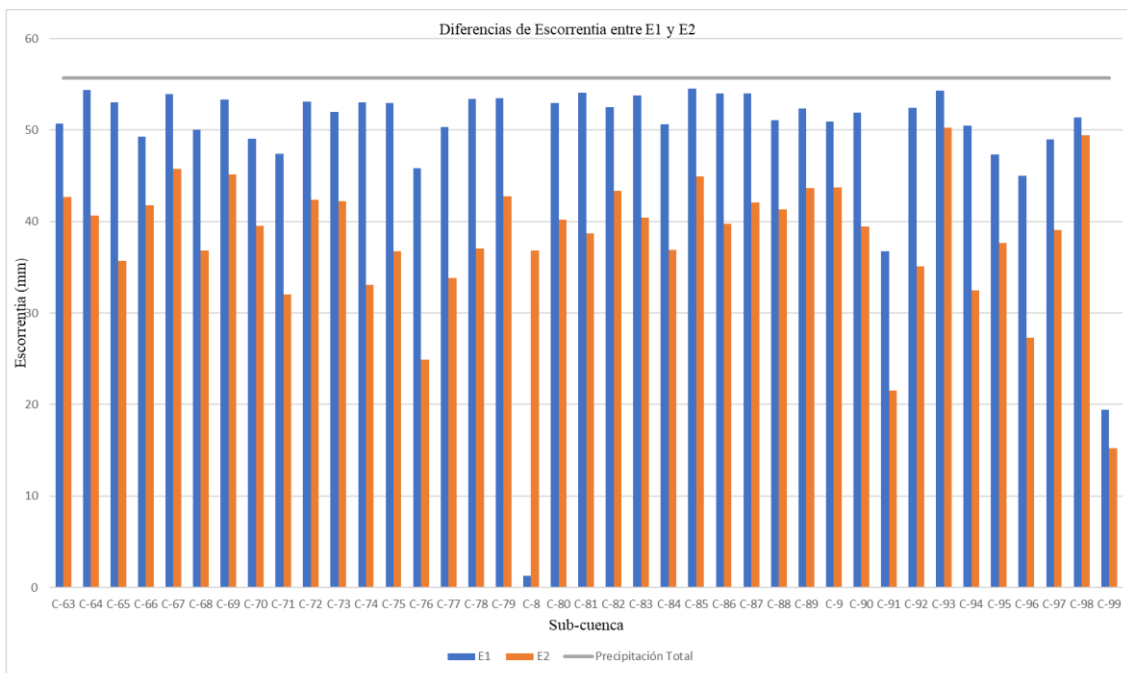
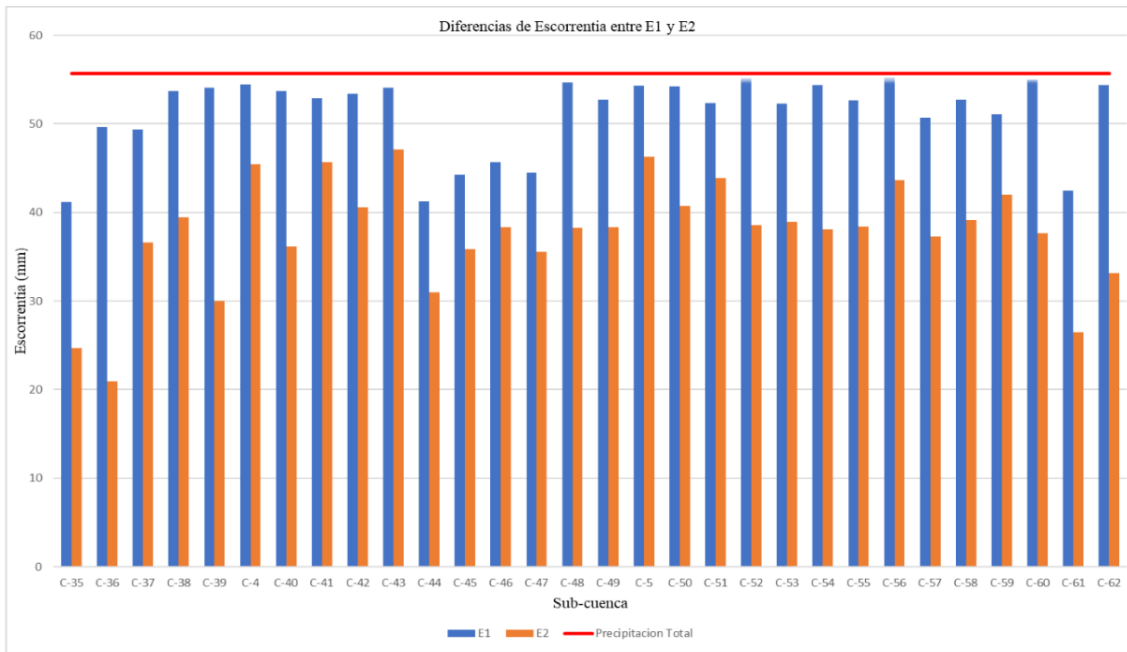
*Resumen de los resultados de escorrentía para los 2 escenarios planteados.*

Escenario	Precipitación	Escorrentía media	Pico de escorrentía medio	Coefficiente de escorrentía medio
	(mm)	(mm)	(Litros/seg)	-
E1	55.68	49.40	241.88	0.83
E2	55.68	37.88	144.44	0.68

**Figura 70**

*Diferencia en escorrentía entre el E1 y E2.*





Como podemos observar en esta figura se ilustra cómo se reduce la escorrentía al implementar la técnica de cunetas vegetadas y tanques de almacenamiento, esta reducción se evidencia tanto en el pico de escorrentía media, como en el coeficiente de escorrentía medio. Por lo tanto, es indispensable hoy en día la implementación de los sistemas urbanos de drenaje sostenible para mitigar las inundaciones como consecuencia de la impermeabilización, lo que produce un aumento en la escorrentía. Como se puede ver en los gráficos presentados los SUDS ayudan a disminuir la escorrentía y aumentar la infiltración.

#### 4.4.3.4.Capacidad hidráulica

Se realizó una comparación de la capacidad hidráulica que tiene el sistema de drenaje y la capacidad que debería tener según el modelamiento en SWMM, los resultados se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 35**

*Comparación de la capacidad hidráulica del sistema de drenaje, con la capacidad hidráulica que necesita el sistema obtenido de SWMM.*

Calle	Cuadra	Q (LPS)	Q modelamiento (LPS)
Jr. Moore	3	Sin drenaje.	86.756
	4	10.97	48.981
Jr. Blondet	3	Sin drenaje.	181.413
	4	7.80	115.237
Jr. Bolognesi	3	16.49	394.375
	4	34.80	733.107
Jr. Luna	3	Sin drenaje.	209.897
	4	22.64	280.698
Jr. Miguel Grau	3	21.63	163.988
	4	17.49	341.007
Jr. Leoncio Prado	3	8.71	84.775
	4	4.65	449.927
Jr. La Valle	2	4.06	250.947
	3	1.65	365.234
Jr. Inclán	2	22.96	88.080
	3	Sin drenaje.	60.204
	4	21.90	224.081
	5	3.05	392.635
	6	3.18	379.071



Jr. José Gálvez	3	17.31	805.772
	4	Sin drenaje.	1259.144
	5	Sin drenaje.	904.409
	6	28.85	1649.077
Jr. Alfonso Ugarte	1	Sin drenaje.	1228.630
	2	Sin drenaje.	681.552
	3	Sin drenaje.	319.242
Jr. Alfonso Amorín Bueno	1	Sin drenaje.	68.707
	2	Sin drenaje.	2076.068
	3	Sin drenaje.	1699.068

#### 4.4.3.5. Áreas inundables

Las áreas que sufren inundaciones se calcularon con los resultados del modelamiento para un periodo de retorno de 25 años y analizar las vistas de perfiles (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia). El primer cálculo de las áreas afectadas se realizó al modelar con las condiciones actuales del drenaje de la zona de estudio y se obtuvo que aproximadamente un área de 71007.15 m<sup>2</sup>. Esta área afectada se centra principalmente en las calles Jr. José Gálvez cuadras 3, 4,5 y 6; Jr. Alfonso Ugarte cuadra 1; Jr. Inclán cuadras 3 y 4; Jr. Adolfo Amorín Bueno, Jr. Bolognesi cuadra 2, Jr. Luna cuadra 4, Jr. Leoncio Prado y la cuadra 4 del Jr. Miguel Grau.

En el segundo modelamiento se incluyó cunetas vegetadas y tanques de almacenamiento como técnicas para reducir las áreas afectadas, como resultado se obtuvo que donde se evidencia mejor la influencia de los sistemas urbanos de drenaje sostenible es en la reducción de la escorrentía y el aumento de la infiltración. También se analizó el hidrograma de salida en donde observamos que disminuye el caudal pico en un 15.46% por ende se ve reflejado en el volumen total con una reducción de 21.80%. Por lo tanto, la nueva filosofía de la imitación del ciclo natural de las cuencas en la que se basa los SUDS, tiene un impacto notorio en la reducción de la cantidad de agua mediante la infiltración y almacenamiento. El área afectada después de la incorporación de los SUDS es de 14277.85 m<sup>2</sup>, que se centra en las calles Jr. José Gálvez, Jr. Alfonso Ugarte, Jr.

Amorín Bueno y el Jr. Miguel Grau. Se tiene una reducción de un 79.89%, lo que significa un gran avance para poder mitigar las inundaciones, además se debe hacer una combinación de varias técnicas para lograr un mejor funcionamiento del sistema de drenaje urbano.

Valbuena (2016), llega a la conclusión que los sistemas urbanos de drenaje sostenible deben considerarse de manera imprescindible en el drenaje urbano, debido a que son determinantes ante la presencia de una lluvia de gran intensidad, basándose en el almacenamiento, infiltración y calidad de agua, además de darle un valor estético al paisaje urbano. Entonces, los resultados logrados coinciden con los resultados de la presente investigación debido a que al implementar las técnicas de cunetas vegetadas y tanques de almacenamiento se evidencia una reducción de la escorrentía, por ende, una reducción de las áreas inundables en un aproximado de 79.89%, lo que genera que los sistemas urbanos de drenaje sostenible deben considerarse de manera obligatoria.

López y Villavicencio (2021), demostraron que al implementar sistemas urbanos de drenaje sostenible evitarán las inundaciones en su zona de estudio, mediante la alternativa de cunetas vegetadas, debido a que genera grandes beneficios medioambientales. Dichos resultados de la investigación coinciden en gran parte con los resultados obtenidos, ya que no se logra evitar las inundaciones sino reducirlas en gran magnitud al implementar las técnicas de cunetas vegetadas y tanques de almacenamiento mediante un modelamiento numérico en SWMM.

Abanto (2017), determinó que las circunstancias que producen inundaciones en su zona de estudio son la falta de continuidad de las estructuras del sistema de drenaje, debido a que se basan en la filosofía convencional de evacuar la escorrentía antes que retenerla. Estos resultados obtenidos coinciden con los resultados de la presente investigación, ya que al analizar el drenaje de la ciudad de San Marcos se encontró que no tienen continuidad las estructuras, esto genera un gran problema debido a que la filosofía con la que han sido diseñadas es la de evacuar la escorrentía. Ante estos problemas que presenta el drenaje convencional surge la nueva filosofía de imitar el ciclo natural del agua mediante las técnicas de drenaje urbano sostenible, basándose en esta nueva filosofía se implementó las técnicas de cunetas vegetadas y tanques de almacenamiento en la zona de estudio, con las que se obtuvo un gran avance en la reducción de las áreas inundables, ya que favorecen la infiltración y el almacenamiento de la escorrentía.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- El drenaje pluvial de la zona en estudio está conformado por un sistema de cunetas revestidas de drenaje por gravedad, donde se observó que las dimensiones no cumplen con las dimensiones mínimas según la norma CE.040 del Ministerio de vivienda, que es un ancho recomendado de 1m, en zonas donde recibe gran parte de la escorrentía como es la calle del Jr. Alfonso Ugarte, cuadra 4 y 5 del Jr. José Gálvez y Jr. Amorín Bueno no cuenta con estructuras de drenaje. Es por ello que esta zona presenta graves problemas de inundaciones.
- A través del modelamiento en el software SWMM con las condiciones actuales del drenaje pluvial de la zona en estudio, se determinó que las aéreas afectadas por las inundaciones al ocurrir un evento de lluvia para un periodo de retorno de 25 años (30 minutos después de haber iniciado el evento de lluvia, que es el instante más crítico que afronta el drenaje convencional) es de 71007.15 m<sup>2</sup> y se centra en las calles: cuadras 3,4, 5 y 6 del Jr. José Gálvez, la cuadra 1 del Jr. Alfonso Ugarte y el Jr. Inclán (cuadras 3 y 4, el Jr. Adolfo Amorín Bueno, el Jr. Bolognesi, Jr. Miguel Grau (cuadras 3 y 4) y Jr. Leoncio Prado cdra. (3 y 4). Las pérdidas materiales en las viviendas de la esta zona afectada es generalmente el deterioro de las puertas, paredes, contaminación de viviendas, acumulación de sedimentos, víveres, socavación de cimientos; los servicios básicos afectados son la red de desagüe sanitario (colapso), rotura de tuberías de agua potable.
- Se determinó la capacidad hidráulica del sistema de drenaje de la ciudad de San Marcos, en la cual se concluyó que la capacidad que tiene no es la suficiente para evacuar el agua en un evento de lluvia, al compararlo con el caudal generado para un periodo de retorno de 25 años y con las condiciones actuales, es superior a la capacidad que estas estructuras tienen. Estas fallas se dan en ocasiones por haber sido diseñadas para un periodo de retorno insuficiente o por haber quedado desfasadas por el crecimiento urbano por ende aumento de superficies impermeabilizadas. Esta insuficiente capacidad hidráulica para la evacuación de aguas pluviales genera como consecuencia problemas de inundación de calles, viviendas y esto conlleva a daños materiales, personales y medioambientales.
- Al implementar las técnicas de cunetas vegetadas y tanques de almacenamiento mediante el modelamiento en SWMM de la zona en estudio se obtuvo una reducción de un 79.89% de áreas inundadas, lo que demuestra que los SUDS juegan un papel

determinante ante eventos de lluvia, debido al cambio radical del enfoque tradicional del drenaje urbano y arriesgar por favorecer la retención e infiltración de la escorrentía. Con este cambio de enfoque de los SUDS el drenaje de aguas pluviales pasaría a ser parte de la gestión integrada del agua pluvial, debido a que su actuación es a corto plazo, además colaboran en una gestión más eficiente y sostenible de las aguas pluviales.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- En el estudio topográfico se debe realizar con equipos lo más preciso posible, debido a que al tener algún error modifica los patrones de drenaje y los obtenidos no serían confiables.
- Se debe realizar un estudio de suelos más detallado por lo que se debe realizar calicatas donde se va a implementar técnicas que permitan la infiltración.
- En la técnica de tanques de almacenamiento se recomienda utilizar el agua recolectada en actividades que no requieran agua potable como es en inodoros, lavado de vehículos, regadío de jardines. En caso de que no se utilice toda el agua recolectada se recomienda evacuar por el drenaje del tanque de almacenamiento para que pueda funcionar para la lluvia siguiente.
- Se recomienda implementar galerías de drenaje para evitar los daños a las estructuras y dar solución a los problemas de inundaciones en la zona de estudio.
- Se deben incluir las diferentes técnicas SUDS en la normativa para el diseño de drenaje urbano CE.040, teniendo en cuenta las diferentes condiciones que se tiene en nuestro país.
- Proponer a la municipalidad provincial de San Marcos la implementación de cunetas vegetadas y tanques de almacenamiento para que ayuden en la reducción de áreas inundadas.

## REFERENCIAS

- ABANTO PLASENCIA, Cristian Amaurí, 2017.** *Evaluación del riesgo de inundación mediante modelo de gestión de aguas pluviales del sector sur de la ciudad de Cajamarca.* Tesis Doctoral. Lugar de publicación: Universidad Nacional de Cajamarca. Disponible en:  
<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3327>
- ABELLÁN, Ana, 2016.** *Tipología de los SUDS.* Obtenido de <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/depositos-y-estanques-de-infiltracion/>
- APARICIO, Francisco, 1992.** Fundamentos de hidrología de superficie. Editorial LIMUSA, México. ISBN 968-18-3014-8.
- CAMARGO-RAMÍREZ, Edgar Andrés y LOZADA-CHAMORRO, Jonathan Hernando, 2018.** Diseño de sistema urbano de drenaje sostenible en Bogotá, calle 127 con Autopista Norte.
- CAMPOS ARANDA, Daniel Francisco, 2010.** Introducción a la hidrología urbana. Printego.
- CARRASCO, D. ,2006.** Metodología de la Investigación Científica. Editorial San Marcos.
- CENTRO DE INVESTIGACIONES EN INGENIERÍA AMBIENTAL (CIA), 2017.** Investigación de las tipologías y/o tecnologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá D.C. Universidad de los Andes. Disponible en:  
[https://issuu.com/sda2015/docs/gu\\_a\\_t\\_cnica\\_de\\_dise\\_o\\_y\\_construcci](https://issuu.com/sda2015/docs/gu_a_t_cnica_de_dise_o_y_construcci)
- CENTRO NACIONAL DE ESTIMACIÓN, PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES (CENEPRED), 2014.** Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales. 2da versión.  
[https://www.cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia\\_Manuales/Manual-Evaluacion-de-Riesgos\\_v2.pdf](https://www.cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/Manual-Evaluacion-de-Riesgos_v2.pdf)
- CHOW, Ven.; MAIDMENT, David y MAYS, Larry, 1994.** Hidrología aplicada. primera edición ed. Bogotá DC (Cundinamarca): McGrawn-Hill Interamericana SA.

**CONAMA, Fundación, 2018.** Agua y Ciudad, Sistemas urbanos de drenaje sostenible. En Grupo de trabajo ST-10, Congreso Nacional del Medio Ambiente.

**CONDORI, H., 2010.** ``Criterios de Diseño de Obras Hidraulicas para la Formulacion de Proyectos Hidraulicos Multisectoriales y de Afianzamiento Hidrico. Lima: Autoridad Nacional del Agua. Disponible en:  
[http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/manual-disenos-1\\_0\\_2.pdf](http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/manual-disenos-1_0_2.pdf)

**DAS, Braja M.; GONZÁLEZ, Sergio R. Cervantes, 2015.** Fundamentos de ingeniería geotécnica. Cengage Learning.

**DE LA FUENTE-GARCÍA, L., et al., 2021.** Guía básica para el diseño de sistemas urbanos de drenaje sostenible en la ciudad de València. Cicle Integral de l'Aigua. Ajuntament de València. Disponible en:  
[https://www.ciclointegraldelagua.com/files/normativa/Guia\\_Basica\\_para\\_el\\_Diseño\\_de\\_Sistemas\\_Urbanos\\_de\\_Drenaje\\_Sostenible\\_en\\_la\\_Ciudad\\_de\\_Valencia\\_V01.pdf](https://www.ciclointegraldelagua.com/files/normativa/Guia_Basica_para_el_Diseño_de_Sistemas_Urbanos_de_Drenaje_Sostenible_en_la_Ciudad_de_Valencia_V01.pdf)

**DE MADRID, Ayuntamiento, 2018.** Guía básica de diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en zonas verdes y otros espacios libres. Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad. Dirección General de Gestión del Agua y Zonas Verdes. Disponible en:  
<https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Medio-ambiente/Agua/SUDS-sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible/?vgnextfmt=default&vgnextoid=05ae02fc13557610VgnVCM2000001f4a900aRCRD&vgnnextchannel=63d0e0f6fdc4f510VgnVCM2000001f4a900aR CRD>

**DOUROJEANNI, Axel, et al., 1999.** Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos. Disponible en:  
[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/31384/1/S99120968\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/31384/1/S99120968_es.pdf)

**EDAN PERÚ, 2018.** Manual de Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades- Edan Perú. Disponible en: <https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/201705101716401.pdf>

- FATTORELLI, Sergio y FERNÁNDEZ, Pedro, 2011.** Diseño Hidrológico 2da edición Zaragoza, España: (Edición Digital). ISBN :978-987-05-2738-2
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, 2013.** Urban Drainage Design Manual (Hydraulic Engineering Circular No. 22, Third Edition). Disponible en: <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/10009/10009.pdf>
- HERNÁNDEZ, Roberto; FERNÁNDEZ, Carlos; BAPTISTA, Pilar; 2014.** Metodología de la investigación sexta edición. México DF: McGraw-Hill.
- KOOLHAAS, M., 2003.** Embalses agrícolas. Diseño y Construcción. Editorial Hemisferio Sur. 336p.
- LÓPEZ AMARO, José Luis; VILLAVICENCIO CUYA, Raquel Lorena.** Sistema urbano de drenaje sostenible para evitar inundaciones de origen pluvial mejorando áreas verdes, cruce Av. Mateo Pumacahua–Av. Separadora Industrial, Distrito Villa El Salvador.
- MANUAL DE ESTIMACIÓN DEL RIESGO ANTE INUNDACIONES FLUVIALES (INDECI), 2011.** Lima: INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL. Dirección Nacional de Prevención. McGraw-Hill Education
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2011.** Manual de hidrología hidráulica y drenaje.
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2021.** Resolución Ministerial N°126-2021-VIVIENDA. Modificación de la Norma Técnica OS.060 Drenaje Pluvial Urbano a Norma Técnica CE.040 Drenaje Pluvial del Reglamento Nacional de Edificaciones. Disponible en: [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2366728/CE.040%20DRENAJE%20PLUVIAL\\_RM%20126-2021-VIVIENDA.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2366728/CE.040%20DRENAJE%20PLUVIAL_RM%20126-2021-VIVIENDA.pdf)
- MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO, 2006.** Reglamento Nacional de Edificaciones.
- MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA, 2019.** *Evaluación de la Resiliencia de los Núcleos Urbanos Frente al Riesgo de Inundación Redes, Sistemas Urbanos y otras Infraestructuras.*  
<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de->

inundacion/guia-evaluacion-resiliencia-nucleos-urbanos-riesgo-  
inundacion\_tcm30-503725.pdf

**Morassutti Fabris, G., 2020.** Diseño de Estructuras de Corrección de Torrentes y Retención de Sedimentos. Ediciones de la U – Carrera.

**NÚÑEZ-COLLADO, A., et al., 2019.** Guías de adaptación al riesgo de inundación: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. Ministerio para la transición ecológica, p. 1-96.

**ORDOÑEZ GÁLVEZ, Juan, 2011.** Balance Hídrico Superficial.

**ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO), 2022.** *Estructuras de Conducción del Agua.*

Disponible en:

[https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6708s/x6708s08.htm#:~:text=Coeficiente%20de%20rugosidad%20de%20un%20canal&text=El%20coeficiente%20de%20rugosidad%20\(n,para%20deslizarse%20por%20el%20canal.](https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6708s/x6708s08.htm#:~:text=Coeficiente%20de%20rugosidad%20de%20un%20canal&text=El%20coeficiente%20de%20rugosidad%20(n,para%20deslizarse%20por%20el%20canal.)

**ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, 2014.** Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos.

**ROCHA, Arturo, 1985.** Modelos hidráulicos: realidad y fantasía. En Anales de la Universidad de Chile. p. ág. 509-523. Disponible en:  
<file:///C:/Users/USER/Downloads/publicadoranuc,+Journal+manager,+22936-73232-1-CE.pdf>

**ROJAS BETANCOURT, Daniela, et al., 2016.** ¿Se justifica la separación de alcantarillado en la ciudad de Bogotá?

**SÁNCHEZ SAN ROMAN, F, 2022.** *Hidrología Hidrogeología.* Disponible en:  
<https://hidrologia.usal.es/>

**SOKOLOV, A. Y CHAPMAN, T., 1981,** Métodos de Cálculo del Balance Hídrico.

**UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), 2022.**

*Storm Water Management Model User's Manual Version 5.2.*

<https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-04/swmm-users-manual-version-5.2.pdf>



**VALBUENA VILLALONGA, Miguel, 2016.** Rehabilitacion de redes de alcantarillado mediante tecnicas LID, usando SWMM5 en un caso real. Tesis de Maestría. Universitat Politècnica de Catalunya. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/99124>

**Valdivielso, A., 2022.** *¿Qué es la escorrentía? Iagua.*  
<https://www.iagua.es/respuestas/que-es-escorrentia#:~:text=Escorrent%C3%ADa%20superficial%20o%20directa%3A%20es,sin%20infiltrarse%20en%20el%20suelo.>

**VARA, Alfredo, 2012.** Desde la idea hasta la sustentación: Siete pasos para una tesis exitosa. Un método efectivo para las ciencias empresariales. Instituto de Investigación de la Facultad de Ciencias Administrativas y Recursos Humanos. Universidad de San Martín de Porres. Lima.

**VILLON VEJAR, Máximo, 2004.** Hidrología. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica. ISBN 9977 66-159-6.

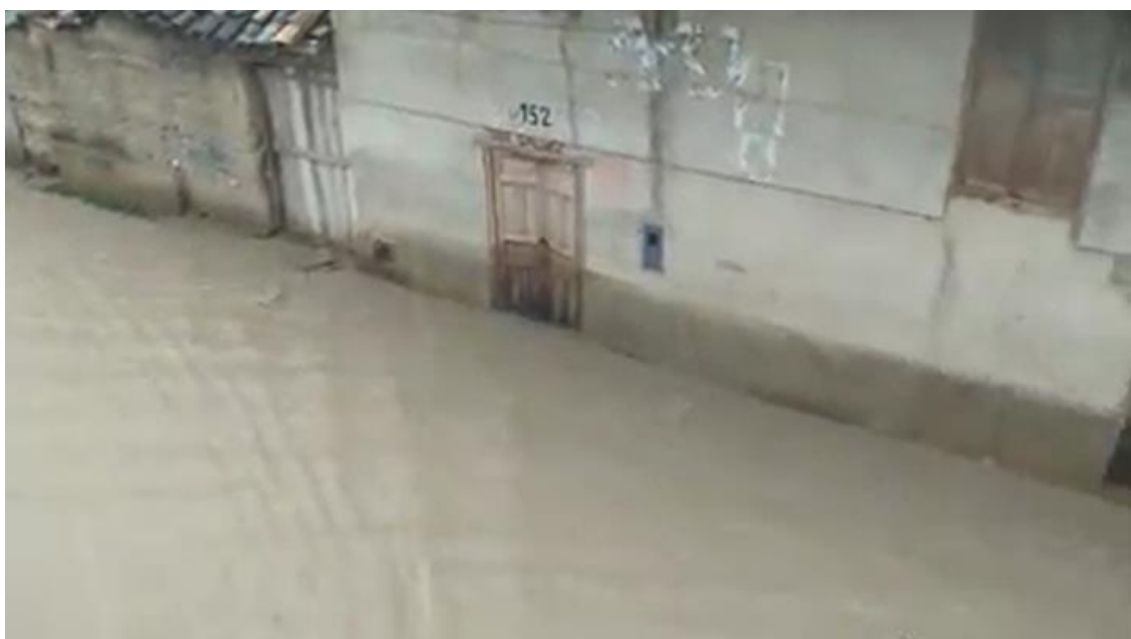
**WOODS BALLARD, B., et al., 2015.** The SuDS Manual; CIRIA: London, UK.  
Google Scholar. The SUDS Manual. London (UK): CIRIA. Disponible en: [https://www.ciria.org/Memberships/The\\_SUDS\\_Manual\\_C753\\_Chapters.aspx](https://www.ciria.org/Memberships/The_SUDS_Manual_C753_Chapters.aspx)

## ANEXOS

**Anexo 1:** Inundación en la calle Jr. José Gálvez.



**Anexo 2:** Inundación de la calle Jr. Alfonso Ugarte.



### Anexo 3: Precipitaciones máximas en 24 horas para cada año durante el periodo en análisis.

ESTACIÓN	SAN MARCOS			LATTITUD			7°19'20.97" S						
DEPARTAMENTO	Cajamarca			LONGITUD			78°10'21.68" W						
PROVINCIA	San Marcos			ALTITUD			2293 msnm.						
DISTRITO	Pedro Gálvez			CODIGO			4725E206						
AÑO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	P 24h (mm)
1963			28.5	27.3	25.0	13.2	22.0	14.0	34.8	65.0		4.60	65.00
1964	33.0	11.5	15.8				0.0	16.1	40.5		45.0		45
1965		44.0	45.4	48.8	0.0			0.0	30.0	17.4	28.2	14.3	48.8
1966	15.0	9.6	31.2	5.0	7.4	1.8	9.2	0.0	0.0	11.2	16.8	16.2	31.2
1967	15.0	19.7	15.1	18.2	5.5	5.2	8.2	0.4	9.8	17.8	15.1	10.8	19.7
1968	16.7	25.3	19.2	7.5	13.5	0.0	0.8	9.1	10.0	15.7	6.1	12.0	25.3
1969	10.9	41.6	12.9	19.9	0.0	10.4	0.0	1.3	16.2	21.0	29.0	24.6	41.6
1970	23.2	8.2	18.5	21.8	12.5	8.5	3.4	3.6	11.3	25.7	15.6	15.3	25.7
1971	12.9	28.7	30.0	23.4	11.1	5.9	5.4	0.8	3.7	12.4	13.4	25.0	30.0
1972	14.6	21.0	34.2	48.2	7.2	4.5	0.0	20.6	11.7	11.2	14.6	57.6	57.6
1973	45.7	25.1	29.9	40.6	26.4	6.9	4.1	4.7	18.6	21.5	14.1	34.9	40.6
1974	17.0	12.6	34.2	10.1	0.0	15.6	0.0	0.0	10.9	18.0	15.0	8.8	34.2
1975	12.6	34.3	35.2	50.0	8.6	8.9	7.6	7.2	44.0	17.0	10.6	10.0	50.0
1976	22.3	11.3	19.3	15.1	27.3	0.0	0.0	0.0	0.0	25.8	13.7	20.9	27.3
1977	34.4	16.8	30.0	11.7	2.4	3.1	3.0	2.3	18.3	10.3	22.4	18.0	30.0
1978	5.5	20.7	16.8	8.6	11.0	0.0	4.0	0.0	9.4	19.5	19.2	12.8	20.7
1979	20.5	38.2	18.5	23.3	24.0	0.0	2.0	7.2	30.3	0.0	19.2	14.2	38.2
1980	10.0	15.1	28.1	11.8	0.0	9.1	0.0	1.7	1.5	15.5	32.2	37.2	37.2
1981	21.2	36.4	33.5	15.6	9.2	6.0	0.0	6.3	12.6	10.6	42.9	30.0	42.9
1982	14.1	27.0	31.5	9.1	9.4	0.3	0.0	0.0	20.1	20.1	16.5	22.0	31.5
1983	29.7	16.0	34.1	23.7	20.5	0.0	2.8	1.9	7.5	11.8	7.0	23.6	34.1
1984	25.7	36.4	41.9	17.6	17.3	2.0	9.0	7.7	16.2	18.5	15.6	11.3	41.9
1985	17.0	13.0	26.2	11.0	6.7	0.0	1.3	7.3	11.3	10.9	10.7	19.0	26.2
1986	16.2	19.1	15.5	23.6	9.4	5.5	1.2	14.4	1.0	3.2	14.9	12.9	23.6
1987	18.8	15.2	15.8	19.1	4.6	1.6	2.6	2.1	12.8	9.7	37.5	37.5	37.5
1988	29.7	22.5	18.2	20.1	1.6	5.5	1.1	1.0	5.4	13.5	10.0	20.0	22.5
1989	22.2	17.9	20.2	27.7	9.0	2.0	0.0	1.3	19.9	16.1	16.4	1.4	27.7
1990	45.3	13.6	28.0	34.2	10.4	10.1	0.0	30.5	2.0	13.0	25.9	27.7	34.2
1991	21.8	24.6	23.3	23.1	2.6	2.2	0.0	0.0	6.3	34.0	7.8	29.4	34.0
1992	15.6	6.6	21.5	17.5	7.0	6.1	2.0	6.8	32.0	19.8	5.8	35.5	35.5
1993	24.3	27.2	25.4	21.3	4.4	0.0	0.0	0.0	6.7	17.5	20.3	28.4	28.4
1994	17.4	40.3	20.1	21.0	8.6	1.3	0.0	0.0	2.2	27.7	21.9	18.9	40.3
1995	3.0	23.0	41.8	14.2	9.0	1.9	0.6	4.0	14.7	22.4	10.7	12.8	41.8
1996	17.2	24.2	15.8	18.2	2.3	3.8	0.0	1.8	13.0	21.2	7.3	14.3	24.2
1997	20.8	18.9	19.1	15.8	8.0	10.1	0.4	0.0	10.3	25.4	20.7	34.1	34.1
1998	18.8	34.1	24.6	27.0	61.4	1.9	0.0	0.5	8.6	13.2	8.2	18.5	61.4
1999	20.2	40.3	11.0	7.5	15.2	17.6	0.6	3.0	17.8	17.1	15.9	12.6	40.3
2000	19.7	23.9	23.7	10.7	11.3	11.4	7.6	2.2	14.6	3.0	17.5	19.6	23.9
2001	43.2	17.6	26.4	5.5	39.4	0.0	0.0	0.0	8.5	31.5	20.5	38.0	39.4
2002	13.3	19.1	38.6	29.6	5.2	0.5	3.5	0.0	11.9	40.2	19.8	29.8	40.2
2003	16.5	25.2	33.6	13.9	4.5	6.1	2.4	2.0	8.0	22.2	22.9	44.1	44.1
2004	14.2	26.1	12.8	32.2	7.5	3.2	2.0	1.3	7.5	17.6	18.5	34.3	34.3
2005	29.9	32.2	27.6	45.5	1.0	0.7	0.0	4.2	19.6	37.1	14.0	30.3	45.5
2006	23.5	21.0	39.9	23.5	2.8	10.8	1.5	4.4	44.3	19.1	23.0	30.2	44.3
2007	19.9	21.6	26.1	31.8	16.6	0.0	3.0	4.0	20.5	16.0	19.7	22.1	31.8
2008	25.6	30.0	13.8	18.4	6.7	14.9	2.8	1.7	10.7	30.7	31.9	44.5	44.5
2009	31.9	14.5	27.5	37.6	11.5	1.9	0.9	0.0	4.4	35.3	23.7	28.5	37.6
2010	11.6	23.0	28.6	15.0	18.3	3.7	3.8	0.0	9.7	9.9	18.7	21.0	28.6
2011	13.5	19.4	23.1	0.0	3.3	0.0	3.9	0.0	12.7	10.0	13.7	20.2	23.1
2012	48.0	21.0	39.5	24.2	25.4	6.2	0.0	1.7	10.2	20.0	19.2	16.8	39.5
2013	23.2	22.6	37.6	27.9	17.4	0.5	13.8	15.6	7.2	25.9	21.6	37.6	37.6
2014	10.2	31.2	13.9	33.9	25.3	5.5	0.0	0.0	14.0	23.2	31.6	21.7	33.9
2015	23.2	15.2	34.2	25.0	14.9	0.0	1.2	0.0	4.3	26.3	21.2	7.6	34.2
2016	17.0	32.7	36.0	31.2	17.2	11.1	0.0	0.0	1.5	10.4	7.9	23.6	36.0
2017	31.9	9.6	21.2	23.1	7.5	6.0	0.0	4.9	28.1	30.0	12.8	26.2	30.0
2018	29.4	23.4	16.0	13.1	26.5	0.3	0.0	0.0	9.3	11.4	24.7	22.7	26.5
2019	0.4	16.9	59.6	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4	26.9	21.2	59.6
2020	13.6	8.9	20.5	1.6	0.0	0.0	6.1	0.0	0.0	0.0	0.3	15.6	20.5
2021	24.2	9.5	20.4	3.8	6.8	2.5	0.0	0.0	0.1	16.1	20.3	20.9	20.9
2022	26.0	16.5	26.5	18.8	0.1	0.5	0.0	0.0	0.6	1.3	0.0	0.1	26.5

Fuente: SENAMHI

#### LEYENDA

Años incompletos  
 Años completos

#### Anexo 4: Precipitación para realizar el análisis de Outliers.

Año	Histórica máx 24h
1966	31.2
1967	19.7
1968	25.3
1969	41.6
1970	25.7
1971	30.0
1972	57.6
1973	40.6
1974	34.2
1975	50.0
1976	27.3
1977	30.0
1978	20.7
1979	38.2
1980	37.2
1981	42.9
1982	31.5
1983	34.1
1984	41.9
1985	26.2
1986	23.6
1987	37.5
1988	22.5
1989	27.7
1990	34.2
1991	34.0
1992	35.5
1993	28.4
1994	40.3
1995	41.8
1996	24.2
1997	34.1
1998	61.4
1999	40.3
2000	23.9
2001	39.4
2002	40.2
2003	44.1
2004	34.3
2005	45.5
2006	44.3
2007	31.8
2008	44.5
2009	37.6
2010	28.6
2011	23.1
2012	39.5
2013	37.6
2014	33.9
2015	34.2
2016	36.0
2017	30.0
2018	26.5
2019	59.6
2020	20.5
2021	20.9
2022	26.5

## Anexo 5: Corrección de la precipitación.

AÑO	P 24h (mm)	P 24h (mm) (corregida)
1966	31.2	35.3
1967	19.7	22.3
1968	25.3	28.6
1969	41.6	47.0
1970	25.7	29.0
1971	30.0	33.9
1972	57.6	65.1
1973	40.6	45.9
1974	34.2	38.6
1975	50.0	56.5
1976	27.3	30.8
1977	30.0	33.9
1978	20.7	23.4
1979	38.2	43.2
1980	37.2	42.0
1981	42.9	48.5
1982	31.5	35.6
1983	34.1	38.5
1984	41.9	47.3
1985	26.2	29.6
1986	23.6	26.7
1987	37.5	42.4
1988	22.5	25.4
1989	27.7	31.3
1990	34.2	38.6
1991	34.0	38.4
1992	35.5	40.1
1993	28.4	32.1
1994	40.3	45.5
1995	41.8	47.2
1996	24.2	27.3
1997	34.1	38.5
1998	61.4	69.4
1999	40.3	45.5
2000	23.9	27.0
2001	39.4	44.5
2002	40.2	45.4
2003	44.1	49.8
2004	34.3	38.8
2005	45.5	51.4
2006	44.3	50.1
2007	31.8	35.9
2008	44.5	50.3
2009	37.6	42.5
2010	28.6	32.3
2011	23.1	26.1
2012	39.5	44.6
2013	37.6	42.5
2014	33.9	38.3
2015	34.2	38.6
2016	36.0	40.7
2017	30.0	33.9
2018	26.5	29.9
2019	59.6	67.3
2020	20.5	23.2
2021	20.9	23.6
2022	26.5	29.9

**Anexo 6:** Coeficiente de Manning (n) - Flujo por tierra.

<b>Superficie</b>	<b>n</b>
Asfalto liso	0.011
Concreto liso	0.012
Revestimiento de hormigón normal	0.013
Madera de buena calidad	0.014
Ladrillo con mortero de cemento	0.014
Arcilla vitrificada	0.015
Hierro fundido	0.015
Tubos de metal corrugado	0.024
Superficie de escombros de cemento	0.024
Suelos en barbecho (sin residuos)	0.05
Suelos cultivados	
Cobertura de residuos < 20%.	0.06
Cobertura de residuos > 20%.	0.17
Alcance (natural)	0.13
Grass	
Corto, pradera	0.15
Denso	0.24
Césped Bermuda	0.41
Bosques	
Sotobosque ligero	0.40
Sotobosque denso	0.80

Fuente: EPA (2022).

**Anexo 7:** Almacenamiento de Depresión.

Superficies impermeables	0.05 - 0.10 inches
Céspedes	0.10 - 0.20 inches
Pasto	0.20 inches
Desechos forestales	0.30 inches

Fuente: EPA (2022).

**Anexo 8:** Número de curva SCS.

Descripción del uso de la tierra		Grupo Hidrológico del Suelo			
		A	B	C	D
Tierra cultivada 1:	Sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
	Con tratamientos de conservación	62	71	78	91
Pastizales:	Condiciones pobres	68	79	86	89
	Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos:	Condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques:	Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas	45	66	77	83
	Cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.	Óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
	Condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)		81	88	91	93
Residencial:					
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable				
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85

1 acre	20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.		98	98	98	98
Calles y carreteras:					
Pavimentados con cunetas y alcantarillados		98	98	98	98
grava		76	85	89	91
tierra		72	82	87	89

*Nota.* Fuente: Adaptado de Ven Te Chow (2010).

**Notas:**

1. Condición de humedad antecedente II.
2. Buena cubierta está protegida del pastoreo y la hojarasca y el matorral cubren el suelo.
3. Los números de las curvas se calculan suponiendo que la escorrentía de la casa y el camino de entrada se dirige hacia la calle con un mínimo de agua del tejado dirigida al césped donde podría producirse una infiltración adicional.
4. Las áreas permeables restantes (césped) se consideran en buenas condiciones de pasto para estos números de curva.
5. En algunos climas más cálidos del país puede utilizarse un número de curva de 95.

**Anexo 9:** Levantamiento topográfico Jr. Adolfo Amorín Bueno.





**Anexo 10:** Levantamiento topográfico Jr. Alfonso Ugarte.



**Anexo 11:** Levantamiento topográfico de la plaza de armas de la ciudad de San Marcos.



**Anexo 12:** Datos para cada subcuenca.

<b>CUENCA</b>	<b>AREA (Ha)</b>	<b>AREA (m2)</b>	<b>PENDIENTE (%)</b>	<b>% Area Impermeable</b>	<b>L (m)</b>	<b>Width (m)</b>
C-4	0.087623	876.23	0.5	95.54	14.07	62.276
C-5	0.315694	3156.94	1	95	18.42	171.387
C-8	0.132613	1326.13	1.3	87.77	18.38	72.151
C-9	0.596369	5963.69	11.5	83.65	37.71	158.146
C-10	0.564342	5643.42	6.3	64.11	38.47	146.697
C-11	0.086059	860.59	2	83.85	19.01	45.270
C-12	0.260414	2604.14	5.1	45.69	27.67	94.114
C-13	0.232836	2328.36	0.8	36.5	85.77	27.147

C-14	0.449118	4491.18	0.2	61.12	60.17	74.642
C-15	0.09251	925.1	2.1	95.23	19.25	48.057
C-16	0.28273	2827.3	2.3	9.435	86.23	32.788
C-17	0.255227	2552.27	2.5	11.77	36.08	70.739
C-18	0.218421	2184.21	1	90.94	24.65	88.609
C-19	0.074428	744.28	8.7	81.06	23.13	32.178
C-20	0.049612	496.12	1.6	95.21	17.76	27.935
C-21	0.033875	338.75	2	96.13	15.6	21.715
C-22	0.012279	122.79	2.3	90	15.03	8.170
C-23	0.188521	1885.21	2.2	100	32.68	57.687
C-24	0.198556	1985.56	2.1	100	34.12	58.193
C-25	0.060874	608.74	1.8	100	18.02	33.781
C-26	0.139356	1393.56	0.3	98.91	32.17	43.319
C-27	0.176607	1766.07	1.6	73.05	18.78	94.040
C-28	0.079917	799.17	2.8	74.86	32.22	24.804
C-29	0.045459	454.59	1.8	74.79	13.94	32.610
C-30	0.114499	1144.99	2.1	86.92	23.35	49.036
C-31	0.326559	3265.59	1.5	82.15	46.51	70.213
C-32	0.218395	2183.95	4	69.18	45.66	47.831
C-33	0.149449	1494.49	0.7	83.47	32.02	46.674
C-34	0.096466	964.66	0.8	30	21.23	45.439
C-35	0.078373	783.73	1.2	30.91	27.79	28.202

C-36	0.118947	1189.47	1.2	70.03	37.76	31.501
C-37	0.148041	1480.41	0.9	68.38	31.3	47.297
C-38	0.110163	1101.63	0.7	90.16	36	30.601
C-39	0.139536	1395.36	0.4	91.42	16.1	86.668
C-40	0.08561	856.1	2.1	88.94	18.31	46.756
C-41	0.2044	2044	2.4	85.41	45.88	44.551
C-42	0.181433	1814.33	3.2	87.97	49.42	36.712
C-43	0.169509	1695.09	0.6	93.23	47.85	35.425
C-44	0.076994	769.94	0.2	35.29	20.89	36.857
C-45	0.068459	684.59	1.3	42.29	18.12	37.781
C-46	0.060708	607.08	2.5	47.78	15.54	39.066
C-47	0.070678	706.78	3.2	42.18	19.44	36.357
C-48	0.12405	1240.5	1.6	94.25	30.7	40.407
C-49	0.205795	2057.95	2.3	74.57	42.27	48.686
C-50	0.114375	1143.75	1.5	92.33	40.09	28.530
C-51	0.167941	1679.41	2.3	82.24	31.37	53.536
C-52	0.119031	1190.31	1.5	96.82	26.93	44.200
C-53	0.159287	1592.87	0.7	83.07	35.53	44.832
C-54	0.10848	1084.8	6.6	92.6	33.2	32.675
C-55	0.154141	1541.41	4	83.74	43.98	35.048
C-56	0.125176	1251.76	3.1	96.99	23.87	52.441
C-57	0.061051	610.51	4.5	73.1	22.45	27.194

C-58	0.173976	1739.76	0.5	86.12	42.81	40.639
C-59	0.179947	1799.47	2.3	75.82	34.57	52.053
C-60	0.08169	816.9	1.5	95.99	28.39	28.774
C-61	0.144056	1440.56	2.3	35.23	31.21	46.157
C-62	0.079644	796.44	2	92.61	19	41.918
C-63	0.173236	1732.36	0.66	75.01	30.98	55.919
C-64	0.133158	1331.58	4.3	92.69	29.93	44.490
C-65	0.072089	720.89	1	85.95	25.42	28.359
C-66	0.160496	1604.96	0.6	69.6	40.95	39.193
C-67	0.094613	946.13	5	89.97	30.07	31.464
C-68	0.164041	1640.41	1.3	71.46	36.87	44.492
C-69	0.20673	2067.3	2	87.3	35.7	57.908
C-70	0.149373	1493.73	0.6	67.89	34.65	43.109
C-71	0.094346	943.46	3.8	57.14	25.44	37.086
2.032	0.273294	2732.94	2.5	86.5	50.67	53.936
C-73	0.090134	901.34	0.5	81.43	29.12	30.953
C-74	0.090294	902.94	0.3	87.68	35.22	25.637
C-75	0.0775	775	0.1	87.73	21.35	36.300
C-76	0.079065	790.65	1.2	51.95	32.57	24.275
C-77	0.090294	902.94	2.3	71.31	14.21	63.543
C-78	0.056931	569.31	2.1	87.65	32.72	17.399
C-79	0.132613	1326.13	1.3	87.77	21.69	61.140

C-80	0.108708	1087.08	0.6	85.49	19.12	56.856
C-81	0.058925	589.25	3.6	91.03	23	25.620
C-82	0.23537	2353.7	4.1	82.81	29.69	79.276
C-83	0.095442	954.42	7.4	89.4	17.2	55.490
C-84	0.354889	3548.89	2.1	73.95	39.73	89.325
C-85	0.381788	3817.88	6	93.36	43.26	88.254
C-86	0.064491	644.91	13.5	90.67	15.6	41.340
C-87	0.107836	1078.36	0.8	92.37	47.34	22.779
C-88	0.208189	2081.89	4	75.31	28.95	71.913
C-89	0.105952	1059.52	1.1	82.17	18.73	56.568
C-90	0.092609	926.09	0.6	79.83	16.46	56.263
C-91	0.081221	812.21	7.4	4.25	23.14	35.100
C-92	0.073997	739.97	5.4	82.16	15.08	49.070
C-93	0.169936	1699.36	7.1	92.17	39.35	43.186
C-94	0.197326	1973.26	2.5	72.93	38.48	51.280
C-95	0.303704	3037.04	0.5	74.12	35.97	84.433
C-96	0.0571498	571.498	0.5	47.36	16.8	34.018
C-97	0.097503	975.03	0.6	78	22.8	42.764
C-98	0.037466	374.66	0.5	85	15.21	24.632
C-99	1.543558	15435.58	1.5	10.25	157.62	97.929

Nota: Los datos que se pueden brindar al programa SWMM son:

**Anchura**

Anchura característica de la vía de flujo superficial para la escorrentía de flujo laminar (pies o metros).

**% Imperv**

Porcentaje de superficie de terreno (excluida la superficie utilizada para los controles LID) que es impermeable.

**N-Imperv**

Coefficiente de Manning (n) para el flujo superficial sobre la parte impermeable de la subcuenca (véanse los valores típicos en el Anexo 4).

**N-Perv**

Coefficiente de Manning (n) para el flujo superficial sobre la parte permeable de la subcuenca (véanse los valores típicos en el Anexo 4).

**Dstore-Imperv**

Profundidad de la depresión de almacenamiento en la porción impermeable de la subcuenca (pulgadas o milímetros) (ver Anexo 5 para valores típicos).

**Dstore-Perv**

Profundidad de la depresión de almacenamiento en la porción permeable de la subcuenca (pulgadas o milímetros) (ver Anexo 5 para valores típicos).

**% Cero-Imperv**

Porcentaje del área impermeable sin almacenamiento en depresión.

**Recorrido de la subárea**

Elección de la ruta interna del escurrimiento entre las áreas permeables e impermeables. impermeables:

**IMPERV:** la escorrentía del área permeable fluye hacia el área impermeable,

**PERV:** la escorrentía del área impermeable fluye hacia el área permeable,

**SALIDA:** la escorrentía de ambas zonas fluye directamente a la salida.

**Anexo 13:** Datos de las propiedades de la superficie de cada subcuenca.

<b>N-Imperv</b>	<b>N-Perv</b>	<b>Dstore-Imperv</b>	<b>Dstore-Perv</b>
0.013	0.13	2.032	3.81

Estos valores son utilizados para cada una de las subcuencas.

**Anexo 14:** Resultados del hidrograma de salida.

<b>TIME</b>	<b>Q(Litros/Seg)</b>	<b>Q(Litos/Seg)</b>
0	0	0
5	29.07	5.19
10	111.85	46.29
15	560.18	341.61
20	1333.55	1152.15
25	1696.17	1418.19
30	1707.78	1443.77
35	1517.19	1401.55
40	1263.12	1128.47
45	613.27	320.18
50	150.39	82.21
55	15.85	13.16
60	0	0

**Anexo 15:** Resultados de la escorrentía (Diferentes escenarios E1 Y E2).

<b>CUENCA</b>	<b>ESCORRENTIA E1</b>	<b>ESCORRENTIA E2</b>	<b>PRECIPITACIÓN (mm)</b>
C-10	46.56	36.22	55.68
C-11	50.95	31.67	55.68



C-12	39.02	28.3	55.68
C-13	27.49	27.49	55.68
C-14	41.34	34.64	55.68
C-15	54.37	41.98	55.68
C-16	23.09	18.68	55.68
C-17	26.63	22.51	55.68
C-18	55.61	40.97	55.68
C-19	50.15	48.13	55.68
C-20	54.36	37.72	55.68
C-21	54.65	31	55.68
C-22	52.82	30.81	55.68
C-23	55.73	54.41	55.68
C-24	55.72	52.92	55.68
C-25	55.79	50.19	55.68
C-26	55.08	51.61	55.68
C-27	47.62	41.1	55.68
C-28	48.1	36.53	55.68
C-29	48.22	40.54	55.68
C-30	51.86	41.3	55.68
C-31	50.16	41.21	55.68
C-32	52.5	35.77	55.68
C-33	52.43	41.86	55.68
C-34	41.08	22.83	55.68
C-35	41.2	24.65	55.68
C-36	49.68	20.94	55.68
C-37	49.36	36.58	55.68

C-38	53.71	39.44	55.68
C-39	54.1	29.97	55.68
C-4	54.46	45.43	55.68
C-40	53.72	36.17	55.68
C-41	52.91	45.65	55.68
C-42	53.43	40.59	55.68
C-43	54.12	47.12	55.68
C-44	41.23	31	55.68
C-45	44.23	35.83	55.68
C-46	45.67	38.32	55.68
C-47	44.45	35.59	55.68
C-48	54.65	38.26	55.68
C-49	52.76	38.35	55.68
C-5	54.28	46.31	55.68
C-50	54.21	40.7	55.68
C-51	52.37	43.91	55.68
C-52	55.14	38.53	55.68
C-53	52.3	38.96	55.68
C-54	54.41	38.13	55.68
C-55	52.67	38.4	55.68
C-56	55.22	43.69	55.68
C-57	50.67	37.3	55.68
C-58	52.74	39.13	55.68
C-59	51.06	41.97	55.68
C-60	54.98	37.65	55.68
C-61	42.45	26.46	55.68
C-62	54.41	33.14	55.68
C-63	50.69	42.68	55.68

C-64	54.42	40.69	55.68
C-65	53.05	35.74	55.68
C-66	49.29	41.77	55.68
C-67	53.91	45.77	55.68
C-68	50.02	36.84	55.68
C-69	53.32	45.18	55.68
C-70	49.04	39.53	55.68
C-71	47.44	32.02	55.68
C-72	53.1	42.36	55.68
C-73	51.98	42.25	55.68
C-74	53.02	33.1	55.68
C-75	52.99	36.77	55.68
C-76	45.82	24.88	55.68
C-77	50.34	33.86	55.68
C-78	53.4	37.04	55.68
C-79	53.46	42.73	55.68
C-8	1.28	36.85	55.68
C-80	52.96	40.24	55.68
C-81	54.11	38.72	55.68
C-82	52.52	43.35	55.68
C-83	53.8	40.47	55.68
C-84	50.63	36.92	55.68
C-85	54.53	44.92	55.68
C-86	54.02	39.73	55.68
C-87	54.04	42.12	55.68
C-88	51.06	41.32	55.68
C-89	52.38	43.67	55.68
C-9	50.92	43.73	55.68

C-90	51.89	39.47	55.68
C-91	36.74	21.5	55.68
C-92	52.44	35.09	55.68
C-93	54.32	50.27	55.68
C-94	50.46	32.51	55.68
C-95	47.34	37.66	55.68
C-96	45.01	27.27	55.68
C-97	48.95	39.11	55.68
C-98	51.37	49.47	55.68
C-99	19.45	15.26	55.68

**Anexo 16:** Encuesta aplicada a la población de la ciudad de San Marcos para estimar daños materiales, fecha 14/01/2023.

**TEMA DE INVESTIGACIÓN: “IDENTIFICACIÓN Y REDUCCIÓN DE ÁREAS INUNDABLES MEDIANTE UN SISTEMA URBANO DE DRENAJE SOSTENIBLE PARA LA CIUDAD DE SAN MARCOS”**

*Nota: Sus respuestas contribuyen para estimar los daños materiales ocasionados por las inundaciones.*

**01. ¿Su vivienda ha sido afectada por las inundaciones pluviales?**

SI

NO

**02. ¿Qué daños ocasionó en su vivienda?**

1. ....
2. ....
3. ....
4. ....
5. ....
6. ....
7. ....
8. ....
9. ....
10. ....
11. ....
12. ....

**03. ¿Qué servicios son afectados por las inundaciones?**

Agua Potable

Red de Desagüe

Red de Energía eléctrica

*El agua es la fuerza Motriz de toda la Naturaleza.*

**Anexo 17:** Daños ocasionados en las viviendas (Jr. Alfonso Ugarte).



**Anexo 18:** Daños ocasionados a las viviendas Jr. José Gálvez.



**Anexo 19:** Daños a las viviendas Jr. Adolfo Amorín Bueno.



**Anexo 20:** Ubicación de las técnicas utilizadas (Cunetas verdes y Tanques de almacenamiento).

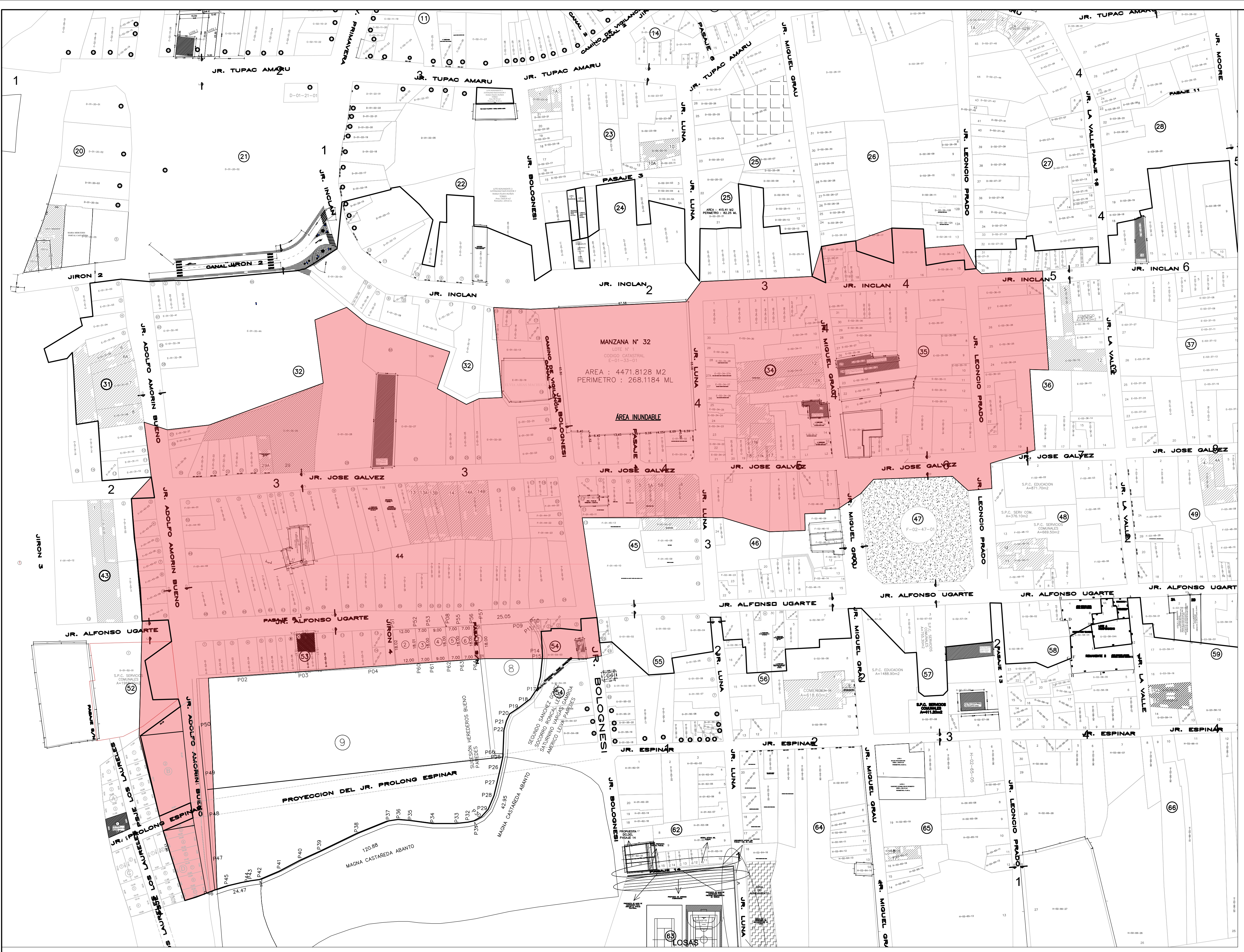
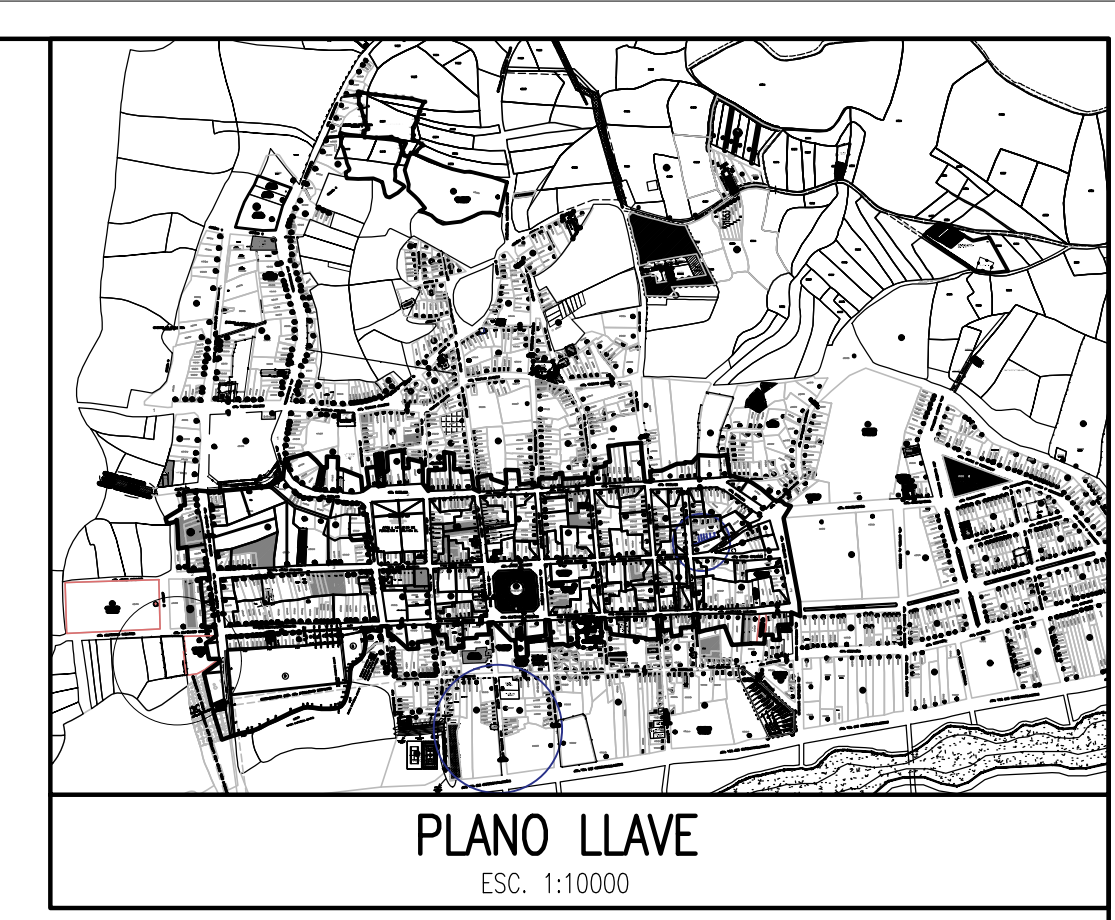






**Anexo 21:** Áreas inundables determinadas después de modelar con las condiciones actuales de drenaje pluvial.





**LEYENDA**

<span style="display:inline-block; width:15px; height:10px; background-color:red;"></span>	AREA INUNDABLE
<span style="display:inline-block; width:15px; border-bottom:1px solid black;"></span>	MANZANAS
<span style="display:inline-block; width:15px; border:1px solid black;"></span>	AREA DE ESTUDIO

**TABLA DE ÁREAS**

AREA INUNDABLE	71007.147 m <sup>2</sup>
----------------	--------------------------

**ÁREAS INUNDABLES DE LA CIUDAD DE SAN MARCOS**  
ESC. 1:1000

- EL SISTEMA DE COORDENADAS UTILIZADO ES UTM; DATUM WGS84, ZONA 18 SUR.
- LAS DIMENSIONES SE ENCUENTRAN EN MILIMETROS Y LAS ELEVACIONES EN METROS.

P-C-001	ÁREAS INUNDABLES ANTES DE IMPLEMENTAR LOS SUDS	A	28.FEB.19	VELÁSQUEZ ABANTO ERICK ALEXANDER
PLANO N°	REFERENCIAS	N° REV.	FECHA	ELABORADO POR
				POR
				REV.
				APR.
				DISCIPLINAS
				FECHA
				FIRMAS

PROCESO:	APROBADO POR
P&ID INSTR.:	VP DE IyP - ANTMINA
MECÁNICA :	FECHA:
CIVIL :	APROBADO POR
ESTRUCT.:	USUARIO ANTMINA
ELECTR.:	FECHA:

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**  
 PROYECTO: **SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE**  
 ING. DE DRENAJE URBANO  
 PLANO: **ÁREAS INUNDABLES – ÁREA DE ESTUDIO**  
**ANTES DE IMPLEMENTAR LAS TÉCNICAS SUDS**

VICE PRESIDENCIA DE INGENIERÍA Y PROYECTOS  
 ESCALA: **INDICADA** TIPO PLANO: **DWG** N° DE PLANO: **P-C-01**



NOTAS



**Anexo 22:** Áreas inundables después de modelar con las técnicas de cunetas verdes y tanques de almacenamiento.



