



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA URBANO DE DRENAJE  
SOSTENIBLE EN LA VIA 10 DE AGOSTO, CIUDAD DE MACHALA**

**BURGOS MORENO EVELYN MADELAINE  
INGENIERA CIVIL**

**MACHALA  
2023**



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA URBANO DE  
DRENAJE SOSTENIBLE EN LA VIA 10 DE AGOSTO, CIUDAD  
DE MACHALA**

**BURGOS MORENO EVELYN MADELAINE  
INGENIERA CIVIL**

**MACHALA  
2023**



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTOS TÉCNICOS**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA URBANO DE  
DRENAJE SOSTENIBLE EN LA VIA 10 DE AGOSTO, CIUDAD  
DE MACHALA**

**BURGOS MORENO EVELYN MADELAINE  
INGENIERA CIVIL**

**ESPINOZA CORREA JESUS ENRIQUE**

**MACHALA  
2023**

# Titulacion\_Burgos

*por Evelyn Burgos*

---

**Fecha de entrega:** 05-mar-2024 12:27p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2312477305

**Nombre del archivo:** Proyecto\_tcnico\_-\_Evelyn\_Burgos\_Moreno.docx (7.02M)

**Total de palabras:** 16540

**Total de caracteres:** 84064

# Titulacion\_Burgos

---

## INFORME DE ORIGINALIDAD

---

4%

INDICE DE SIMILITUD

4%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

---

## FUENTES PRIMARIAS

---

1

[es.scribd.com](https://es.scribd.com)

Fuente de Internet

4%

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 100 words

Excluir bibliografía

Activo

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, BURGOS MORENO EVELYN MADELAINE, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA URBANO DE DRENAJE SOSTENIBLE EN LA VIA 10 DE AGOSTO, CIUDAD DE MACHALA, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

BURGOS MORENO EVELYN MADELAINE

0706532314

## **Dedicatoria**

A todos mis seres queridos, que siempre estuvieron ahí apoyándome, aconsejándome para continuar con esta trayectoria. En especial a mi abuelita Carmen por su cariño y amor me animaron a seguir adelante. A mi padre Luciano y a mis hermanos Samanta y Alexander por siempre creer en mí. A mis sobrinos que siempre me alegraron en un momento difícil. A mi enamorado Adrián que también fue un pilar importante en esta trayectoria. A mis amigos que hice en el transcurso de la carrera que han sido de gran apoyo durante este proceso.

## **Agradecimiento**

A Dios por guiar y bendecir siempre mi camino. A mi abuelita Carmen por siempre estar ahí conmigo. A mi madre Gloria por apoyarme y animarme a seguir adelante. A Milton Castillo mi segundo padre por siempre respaldarme y estar atento en todo el transcurso de mi carrera. A mis tías Martha, Elsa y Alexandra porque siempre conté con su respaldo incondicional. También al Ing. Jesús Espinoza quien con su ayuda, orientación y paciencia ha sido importante en esta trayectoria en la elaboración de esta investigación.



## **Resumen**

En los últimos años, las zonas urbanizadas han sido inundadas debido al cambio climático y el crecimiento urbanístico, para poder obtener un mejor control y reducción de las inundaciones, a través de un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS). Ahora en la actualidad no se han dado soluciones aplicadas acerca de las inundaciones en la ciudad de Machala. Este trabajo técnico tiene como finalidad de proponer un sistema urbano de drenaje sostenible que permita minimizar el impacto a estos eventos de lluvias en zonas urbanas de la vía 10 de agosto y otras calles adyacentes. Primeramente, se investigó a través de artículos científicos acerca de las aplicaciones, técnicas o metodologías que nos podrían ayudar a elegir una mejor propuesta de servicio a los habitantes de la zona de estudio. Se realizó un análisis hidrológico/hidráulico en donde se obtuvieron caudales máximos de las subcuencas para periodos de retorno de (5, 10, 25, 50, 100 años), sin embargo, se decidió diseñar las SUDS para un periodo de retorno de 100 años. Para el modelado de las subcuencas se utilizó el software Epa Swmm 5.2, en donde se diseñó techos verdes para las áreas impermeables que superaban el 90%. Se obtuvieron valores de escurrimientos de 378.18, 374.78, 376.78, 933.8, 377.95, 377.88, 377.88, 376.89, 385.18, 385.18, 377.68, 378.49, 372.17 mm y se obtuvo un porcentaje de reducción mayores al 70%, y valores de los caudales 2.17, 2.37, 4.8, 3.36, 13.58, 2.6, 2.54, 3.28, 4.35, 2.29, 2.28, 5,73 y se obtuvo un porcentaje de reducción mayores al 58%.

**Palabras claves:** SUDS, Inundaciones, sistema de drenaje y riesgo, techos verdes.

## **Abstract**

In recent years, urbanized areas have been flooded due to climate change and urban growth, in order to obtain a better control and reduction of floods, through a Sustainable Urban Drainage System (SUDS). At present, no solutions have been applied to flooding in the city of Machala. The purpose of this technical work is to propose a sustainable urban drainage system to minimize the impact of these rainfall events in urban areas of the 10 de agosto road and other

adjacent streets. First, research was done through scientific articles about the applications, techniques or methodologies that could help us to choose a better service proposal for the inhabitants of the study area. A hydrological/hydraulic analysis was carried out where maximum flows of the sub-basins were obtained for return periods of (5, 10, 25, 50, 100 years), however, it was decided to design the SUDS for a return period of 100 years. Epa Swmm 5.2 software was used for the modeling of the sub-basins, where green roofs were designed for the impervious areas that exceeded 90%. Runoff values of 378.18, 374.78, 376.78, 376.78, 933.8, 377.95, 377.95, 377.88, 377.88, 376.89, 385.18, 385.18, 377.68, 378.49, 372.17 mm were obtained. 17 mm and a reduction percentage greater than 70% was obtained, and values of the flow rates 2.17, 2.37, 4.8, 3.36, 13.58, 2.6, 2.54, 3.28, 4.35, 2.29, 2.28, 5.73 and percentage reduction greater than 58% was obtained.

**Keywords:** SUDS, Floods, drainage system and risk, green roofs.

## Contenido

Dedicatoria .....	IV
Agradecimiento .....	V
Resumen.....	VI
Introducción.....	13
Importancia del tema.....	13
Actualidad del problema.....	13
Estructura de trabajo.....	14
1. Capítulo I: Planteamiento del problema .....	15
1.1. Línea base del proyecto.....	15
1.1.1 Componentes geográficos .....	15
1.1.2 Geomorfología y Relieve .....	17
1.1.3 Información climática .....	18
1.1.4 Precipitación promedio anual .....	18
1.1.5 Geología y geotecnia .....	20
1.1.6 Hidrología.....	20
1.1.6.1 Cuencas y cuerpos de aguas existentes .....	20
1.1.7 Inundaciones en el territorio.....	21
1.1.8 Riegos de inundaciones.....	22
1.1.9 Análisis de amenazas.....	23
1.1.9.1 Vulnerabilidad física .....	23
1.2 Descripción del problema .....	24

1.2.1 Descripción del problema.....	24
1.2.2. Árbol del problema .....	25
1.3 Formulación del problema .....	25
1.4 Delimitación del problema.....	25
1.5 Justificación.....	26
1.6 Objetivos .....	27
1.6.1 Objetivo general .....	27
1.6.2 Objetivos específicos .....	27
2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	28
2.1 Antecedentes contextuales .....	28
2.1.1 Macro (Mundial).....	28
2.1.2 Meso (Ecuador).....	29
2.1.3 Micro (Machala).....	30
2.2 Antecedentes referenciales o históricos .....	31
2.3 Antecedentes conceptuales .....	32
2.3.1 Inundación .....	32
2.3.2 Riesgo a Inundación.....	32
2.3.3 Vulnerabilidad.....	33
2.3.4 Escorrentías superficiales .....	33
2.3.5 Ciclo hidrológico del agua .....	33
2.3.6 Infiltración .....	34

2.3.8 Sistema urbano de drenaje sostenible .....	34
2.3.9 Celda de bio-retención .....	34
2.3.10 Jardines de lluvia.....	34
2.3.11 Trincheras de infiltración.....	35
2.3.12 Pavimento poroso .....	35
2.3.13 Techos verdes .....	35
3. Capitulo III: Metodología.....	36
3.1 Modalidad básica de la investigación .....	36
3.2 Tipo de investigación.....	36
3.3 Objeto de estudio .....	36
3.4 Descripción de la población y muestra.....	36
3.5 Materiales y métodos .....	38
4. Capitulo IV: Análisis e interpretación de los resultados .....	39
4.1. Análisis hidrológico.....	39
4.2 Análisis hidrológico.....	42
4.3 Análisis de superficies permeables e impermeables .....	43
4.5 Modelo en EPA SWMM 5.1.....	45
4.5.1 Construcción del modelo hidrológico.....	46
4.5.2 Limitación del drenaje .....	47
4.6 Propuesta SUDS.....	49
4.6.1 Techos verdes .....	49

4.6.2 Localización de la estructura.....	49
4.6.3 Componentes de los techos verdes.....	49
4.6.4 Beneficios .....	50
4.4.5 Funcionamiento de los LID .....	51
4.4.6 Evaluación hidrológica de techos verdes .....	52
6. Recomendaciones .....	54
7. Referencias.....	55
8. Anexos .....	62

### **Contenido de Ilustraciones**

Ilustración 1: Componentes Geográficos del Cantón Machala .....	16
Ilustración 2: Isoyetas del Cantón Machala .....	19
Ilustración 3: Cuenca hidrográfica del Cantón Machala .....	21
Ilustración 4: Vulnerabilidad física .....	23
Ilustración 5: Árbol de problemas.....	25
Ilustración 6: Zona de estudio via 10 de agosto .....	26
Ilustración 7: Metodología.....	39
Ilustración 8: Curva Intensidad - Duración - Frecuencia.....	41
Ilustración 9: Hietogramas de precipitación para T=100 años .....	42
Ilustración 10: Nivel de agua en calles e intersecciones .....	43
Ilustración 11: Áreas permeables e impermeables .....	45
Ilustración 12: Proceso del modelado Epa Swmm 5.2 .....	46
Ilustración 13: Modelado en Epa Swmm 5.2.....	47
Ilustración 14: Componentes de los techos verdes .....	50

Ilustración 15: Beneficios de los techos verdes .....	51
Ilustración 16: Representación del caudal pico.....	53
Ilustración 17: Representación de la escorrentía.....	53

### **Contenido de Tablas**

Tabla 1: Componentes geográficos.....	17
Tabla 2: Geomorfología del Cantón Machala.....	17
Tabla 3: Principales parámetros climáticos del Cantón Machala .....	18
Tabla 4: Precipitación anual del Cantón Machala .....	19
Tabla 5: Cuencas y subcuencas del Cantón Machala .....	20
Tabla 6: Principales peligros naturales en la ciudad de Machala .....	22
Tabla 7: Zonas susceptible a inundaciones .....	23
Tabla 8: Coordenadas de la zona de estudio.....	26
Tabla 9: Población del Cantón Machala.....	37
Tabla 10: Valores de Z en función del nivel de confianza .....	37
Tabla 11: Características de la estación del pluviométrico .....	40
Tabla 12: Intensidad máxima en 24 horas. Estación M0072 Machala Aeropuerto .....	40
Tabla 13: Ecuaciones para las curvas IDF .....	40
Tabla 14: Superficies de las subcuencas .....	44
Tabla 15: Caudal pico y volumen de inundación.....	48
Tabla 16: Cantidad de escorrentía de las subcuencas urbanas.....	48
Tabla 17: Componentes de los techos verdes .....	50
Tabla 18: Variables para la creación de LID.....	52
Tabla 19: Subcuencas con y sin SUDS.....	52

## **Introducción**

### **Importancia del tema**

A medida que las ciudades se van desarrollando, se hacen más vulnerables a las inundaciones ya que cuentan con estructuras impermeables que no captan las escorrentías superficiales, lo que conlleva a efectos negativos tanto en la económica local como nacional y son un problema para muchos países especialmente los que están económicamente en desarrollo (Kia et al., 2021). Otra causante de las inundaciones son la poca capacidad que tiene el alcantarillado combinado durante las lluvias intensas debido a que no pueden controlar los caudales máximos y estos son descargados en ríos o canales locales sin tener un previo tratamiento (Dolowitz et al., 2018).

Por lo que es necesario implementar nuevas tecnologías de drenaje sostenibles. En la actualidad, a nivel mundial existen varios proyectos de investigación para el sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) como: Pavimentos permeables resistente a obstrucciones (Kia et al., 2021), Tren de tratamiento de SUDS que reduce la carga contaminante de un estuario urbano (Mmachaka et al., 2023), Transportadores revestidos que aumenta la escorrentía superficial y reduce el tiempo de concentración (Singh et al., 2020), y las Infraestructuras verdes (IG) que integra y se considera la protección de los procesos naturales en los esfuerzos de planificación (Hansen & Pauleit, 2014).

### **Actualidad del problema**

En diferentes ciudades del Ecuador, principalmente en la región Costa existe la necesidad de poner en marcha nuevos sistemas que no reemplacen sino que complementen los sistemas convencionales existentes, con la finalidad de mejorar el manejo y control de las escorrentías superficiales. “Estos sistemas convencionales cuentan con una característica en común que su infraestructura de alcantarillado son implementados en el siglo XIX y a inicios del XX” (Dolowitz et al., 2018).



El presente trabajo tiene como finalidad realizar un estudio de factibilidad en la vía 10 de agosto de la ciudad de Machala, debido que en las temporadas de lluvias las calles se inundan a causa del desbordamiento del canal “El Macho” y el colpaso del sistema de drenaje. Por dicha causa se ha implementado realizar un estudio de factibilidad que permita el control y la reducción de las inundaciones a través de la SUDS.

### **Estructura de trabajo**

En el capítulo I está compuesto por la descripción de problema, las causas y los efectos originados por el mismo, así como se determina la delimitación del objeto de estudio en donde se describe el lugar de investigación, además se realiza la justificación que permite fundamentar y complementar las preguntas científicas que se elaboraron previamente. Al finalizar el capítulo se define el objetivo general y los específicos por lo cual se está llevando esta investigación.

En el capítulo II se fundamenta las investigaciones bibliográficas teóricas, conceptualizaciones y la exploración de diferentes trabajos con sus correspondientes autores tanto locales, nacionales e internacionales, realizando la descripción de trabajo realizado por cada uno de ellos y los resultados obtenidos por cada exploración o búsqueda. Así mismo se hace referencia los antecedentes contextuales macro, meso y micro de la problemática de estudio.

En el capítulo III dispone de un tipo de investigación que se está realizando y se delimita con el objeto de estudio, Se realiza una simulación de doce subcuencas con un análisis hidrológico e hidráulico donde se implementara Desarrollo de Bajo Impacto, en donde se indicaran la reducción de los caudales y la escorrentía.

En el capítulo IV hace observación a los estudios de Ingeniería utilizados para la definición de alternativas para proponer soluciones analizando, interpretando los criterios técnicos para

cada uno de los resultados obtenidos en campo, donde se determina una propuesta viable respecto a los resultados obtenidos y previamente evaluados.

En el capítulo V se explica las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron del trabajo de investigación, las cuales están relacionadas con la investigación teórica y los resultados obtenidos a través de una larga y delicada dedicación.

## **1. Capítulo I: Planteamiento del problema**

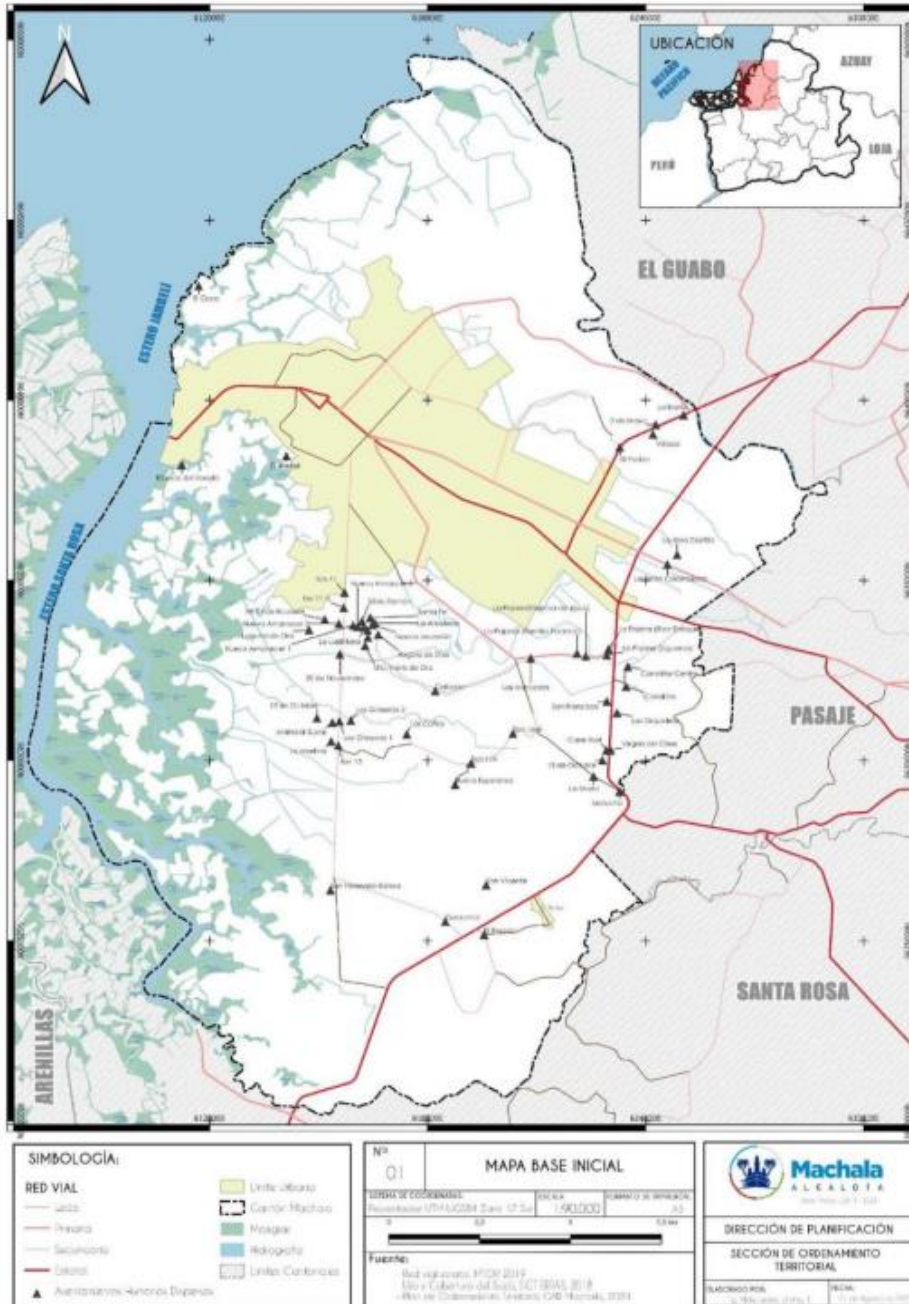
### **1.1. Línea base del proyecto**

#### **1.1.1 Componentes geográficos**

El cantón Machala se encuentra ubicada en la costa suroeste del Ecuador, es la capital de la provincial de El Oro o también conocida como la capital bananera del mundo, cuenta con el segundo puerto marítimo más grande del País. Se encuentra en un crecimiento acelerado demográfico para su provincia, tanto en desarrollos administrativos, económicos, financieros y comerciales. Según la PDOT cuenta con un área total superficial de 37.279,85 hectáreas (Alcaldía de Machala, 2022).

“En la ilustración I se observa el área urbana ubicada entre dos áreas productivas y posee un carácter mediterráneo, con excepción de la zona de Puerto Bolívar que se encuentran rodeado por manglares los cuales ocupan un gran porcentaje del área del cantón” (Alcaldía de Machala, 2022).

**Ilustración 1: Componentes Geográficos del Cantón Machala**



**Fuente:** (Alcaldía de Machala, 2022)

En la tabla 1 se presenta el estado de uso del territorio del Cantón Machala sobre las superficies ocupadas del cantón Machala, donde el área urbana tiene un 15,92% delimitada desde el 2012 de acuerdo a la planificación territorial, nuestro presente trabajo se referirá a una parte de este porcentaje que estará trazado en la vía 10 de agosto y otras calles adyacentes.

**Tabla 1: Componentes geográficos**

<b>Componentes Geográficos</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
Área de Manglares	599,32	1,61
Área de Granjas Acuáticas	7.745,43	20,7
Área de Zonas Productivas	12.254,84	32,8
Área de Zonas Bosque Nativos	2.904,09	7,79
Área Urbana, Límite 2012	5.933,81	15,92
Total Área Cantonal	37.279,85	100,00

**Fuente:** (Alcaldía de Machala, 2022)

### 1.1.2 Geomorfología y Relieve

En el cantón Machala, influyen muchos factores en las formas superficiales de la corteza terrestre como: el clima, relieve, tiempo de formación de suelo, material parental, ente otros. Los cuales ayudan a diagnosticar las condiciones de drenaje, erosión, deslaves, que ayudan a detallar la topografía de los paisajes del suelo, caracterizándose por ser plano, alrededor del 94,17% del territorio se ubica entre 0 y 20 metros sobre el nivel del mar. (Alcaldía de Machala, 2022)

En la siguiente tabla, se presentan geoformas existentes en Machala, el área que ocupan y su porcentaje en relación con la superficie total del cantón.

**Tabla 2: Geomorfología del Cantón Machala**

<b>Geomorfología</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
Llanuras aluviales de depositación	30.875,31	82,83
Nivel aluvial alto	442,09	1,19
Terraza baja	60,14	0,16
Terraza indiferenciada	424,36	1,14
Zonas urbanas	3.694,59	9,91
Cuerpos de agua	1.778,74	4,77
Total	37.275,23	100

**Fuente:** (Alcaldía de Machala, 2022)

### 1.1.3 Información climática

La atmosfera del cantón Machala es analizada proporcionando temperaturas promedio anual, precipitación total anual y tipo del clima. además, contiene información sobre el periodo seco en donde indica la precipitación existen en periodos de tiempo en meses que no permite que el suelo llegue a capacidad de saturación (Alcaldía de Machala, 2022).

En la siguiente tabla se presenta el estado general de la atmosfera en el cantón Machala. En donde existen parámetros climáticos como: Precipitación media mensual de 102 mm, Precipitación media multianual de 621.8 mm.

**Tabla 3:** Principales parámetros climáticos del Cantón Machala

Parámetros climáticos	
Precipitación media mensual	102 mm
Precipitación media multianual	621,8 mm
Evaporación promedio mensual	94 mm
Humedad relativa	75%
Nubosidad	06-Agosto
Temperatura ambiental media mensual	24,0°C
Temperatura ambiental mínima mensual	23,21°C

**Fuente:** (Alcaldía de Machala, 2022)

### 1.1.4 Precipitación promedio anual

En Machala fluctúa entre 0 a 1.250 mm, para determinar sitios de igual precipitación, se utilizan isoyetas, para unir puntos de igual precipitación. En la siguiente tabla determina los rangos de precipitaciones anuales de 500 - 700 contando con un área mayor de 24.044,81 hectáreas equivalente al 64,5% y un área menor del 1.548,99 equivalente al 4,16% que incluye precipitaciones de 750 – 1000 hectáreas. (Alcaldía de Machala, 2022).

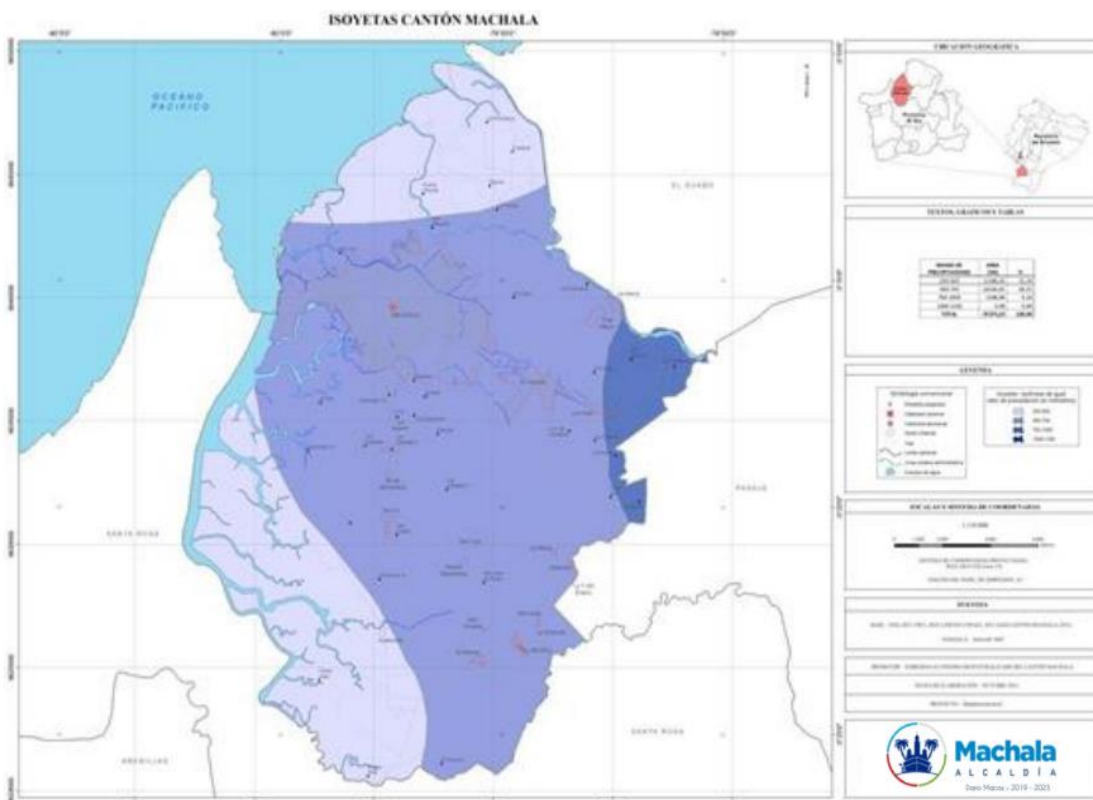
**Tabla 4: Precipitación anual del Cantón Machala**

Rango de precipitaciones	Área (Ha)	%
250-500	11.680,45	31,3
500-750	24.044,81	64,5
750-1.000	1.548,99	4,16
1.000-1.250	0,98	0
Total	37.275,23	100

**Fuente:** (Alcaldía de Machala, 2022)

En la siguiente ilustración se muestra la superficie del cantón Machala, localizándose en la parte oriental, centro y sur del cantón, en La Iberia, El Cambio, La Unión, Km 15, Guarumal y El Recreo, las zonas que poseen una precipitación entre 250 a 500 mm.

**Ilustración 2: Isoyetas del Cantón Machala**



**Fuente:** (Alcaldía de Machala, 2022)

### 1.1.5 Geología y geotecnia

El cantón Machala cuenta con tres tipos de suelos predominantes de formación geológica, con características de textura media, fina y gruesa; zonales y plásticos, de buena fertilidad y saturables correspondiente a arcillas marinas de estuario, pero su uso excesivo del suelo provocada por actividades antrópicas, que han sido afectadas de manera excesiva el suelo y afectando negativamente en la conservación de los recursos del suelo, en temporadas lluviosas el suelo se satura fácilmente a la escorrentía, aumentando la impermeabilidad del mismo y contribuyendo a la erosión del suelo y la pérdida de productividad (Alcaldía de Machala, 2022).

### 1.1.6 Hidrología

#### 1.1.6.1 Cuencas y cuerpos de aguas existentes

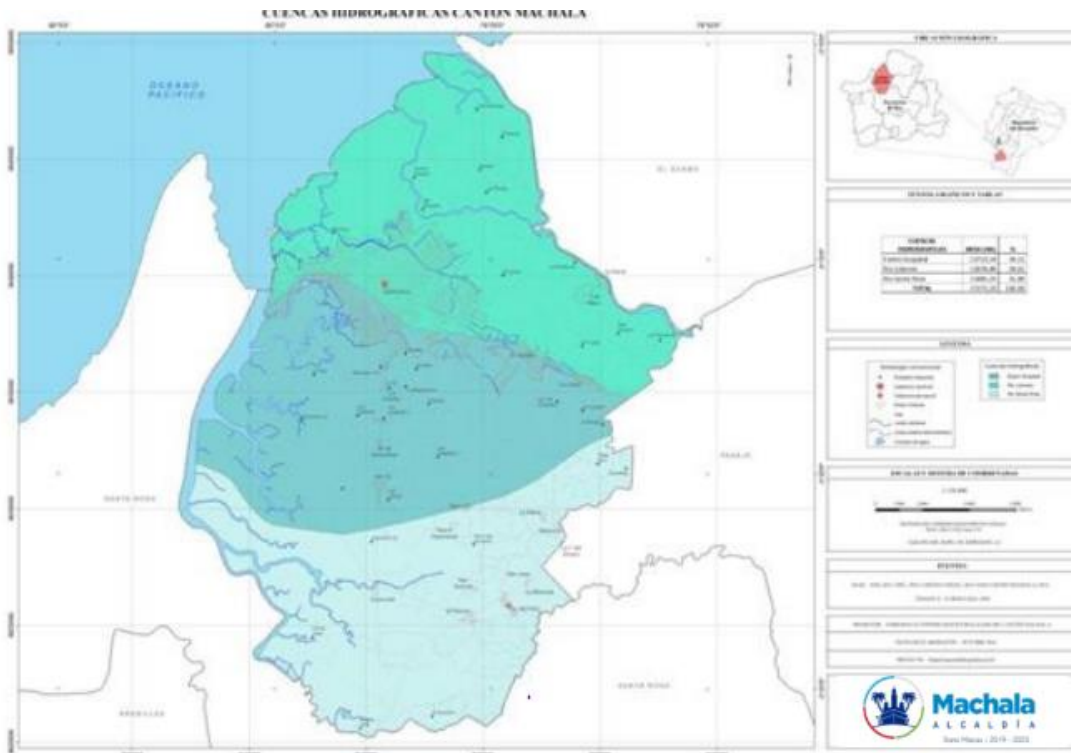
Según la FAO (Food and Agriculture Organization), una Cuenca hidrográfica es un espacio social producto de las relaciones e interrelaciones sociales de apropiación y uso de los recursos que contiene, por ende, se debe considerar las cuencas como una realidad socialmente construida con base en relaciones económicas, culturales, sociales y políticas en los sectores del cantón Machala. En la siguiente tabla se demuestran las cuencas y subcuencas hidrográficas del cantón Machala. En donde el Río Jubones en donde consta con drenajes menores en un 32,1%, El Estero Guajabal en un 36%, El Río Santa Rosa que cuenta con un 31,9%.

**Tabla 5:** *Cuencas y subcuencas del Cantón Machala*

Cuenca			%
Río Jubones	Drenajes menores	11.960,28	32,1
Estero Guajabal	Estero Guajabal	13.429,70	36
	Río Santa Rosa		
Río Santa Rosa	Río Motuche	11.885,25	31,9
	Río Buenavista		
Total		37.285,23	100

**Fuente:** (Alcaldía de Machala, 2022)

**Ilustración 3: Cuenca hidrográfica del Cantón Machala**



**Fuente:** (Alcaldía de Machala, 2022)

### 1.1.7 Inundaciones en el territorio

La época más crítica respecto a eventos naturales se da desde diciembre y el primer cuatrimestre de cada año, debido a la temporada lluviosa, con afectaciones por inundaciones de tipo pluvial. En la siguiente tabla se puede apreciar el grado de importancia y el grado de afectación por los peligros naturales en la ciudad de Machala, estas se clasifican por inundaciones pluviales que tiene un grado de importancia 4 y tiene tres niveles de grados de inundaciones, y por el desbordamiento del río Jubones que solamente cuenta con un grado de importancia 1 (Alcaldía de Machala, 2022).



**Tabla 6:** Principales peligros naturales en la ciudad de Machala

Peligro	Grado de Importancia	Grado de afectación	de Características
Inundaciones pluviales	4	3. Alto 2. Medio 1. Bajo	Inundaciones por cierre e interrupción del flujo natural por obras viales y canales de riego. Anegamiento pluvial debido a la inexistencia de un sistema de alcantarillado pluvial y de obras hidráulicas menores.
Desbordamiento de Río Jubones	1	Nulo	Peligro nulo a nivel local, ya que la ciudad de Machala, geográficamente en su punto mas propenso a inundaciones por el desborde del río, se encuentra a una distancia aproximada de 3.2 Km y durante el tránsito de crecida no se ven directamente sus efectos.

**Fuente:** (Alcaldía de Machala, 2022)

### 1.1.8 Riegos de inundaciones

En la siguiente tabla se indica las zonas relativas al riesgo de inundación, su extensión y el porcentaje en relación con la superficie total. Cuenta con un área muy baja del 3.96%, un área baja del 15.26 %, su porcentaje mayor tiene zona de inundación alta de un 42.34%, su zona muy alta es del 12,14%, y tiene un cuerpo de agua propensa de cuerpo de agua de un 4.77%.

**Tabla 7: Zonas susceptible a inundaciones**

Áreas propensas a inundaciones	Área (ha)	%
Muy baja	1.476,50	3,96
Baja	5.688,99	15,26
Media	8.025,50	21,53
Alta	15.781,00	42,34
Muy alta	4.524,50	12,14
Cuerpo de agua	1.778,74	4,77
<b>Total</b>	<b>37.275,23</b>	<b>100,00</b>

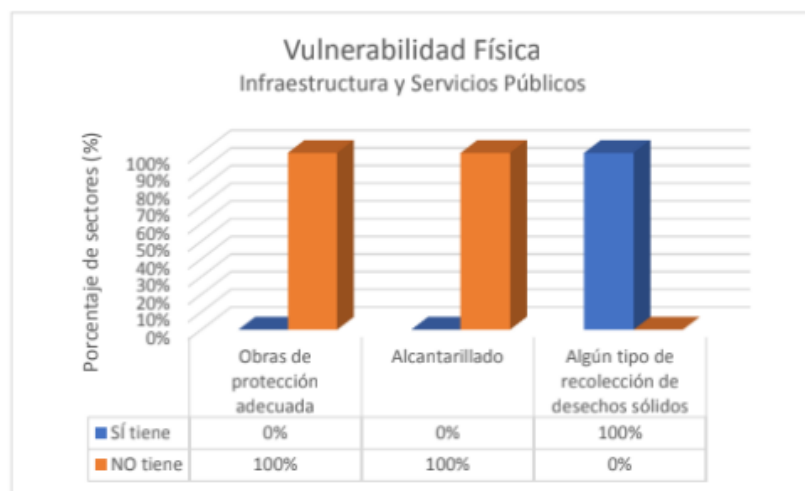
**Fuente:** (Alcaldía de Machala, 2022)

### 1.1.9 Análisis de amenazas

#### 1.1.9.1 Vulnerabilidad física

La ocurrencia de inundaciones es la presencia de asentamientos construidos en zonas de baja pendiente o depresiones, condición que favorece la acumulación de excesos de lluvia o de aguas procedentes de desbordamiento de causas. En la siguiente ilustración se demuestra el análisis de Plan de Contingencia de Inundaciones 2009, este es el caso del sector 3 de Urseza 2, asentado en zonas deprimidas (Alcaldía de Machala, 2022).

**Ilustración 4: Vulnerabilidad física**



**Fuente:** (Alcaldía de Machala, 2022)

## **1.2 Descripción del problema**

### **1.2.1 Descripción del problema**

“Según la base de Datos de Eventos de Emergencias (EM-DAT), las inundaciones representaron el 44,28% de los 7.348 eventos de desastres en el mundo entre el 2000 y el 2019 y causaron una pérdida global de hasta 2,97 billones de dólares estadounidenses.” (CRED, 2020 citado en Wang et al., 2023).

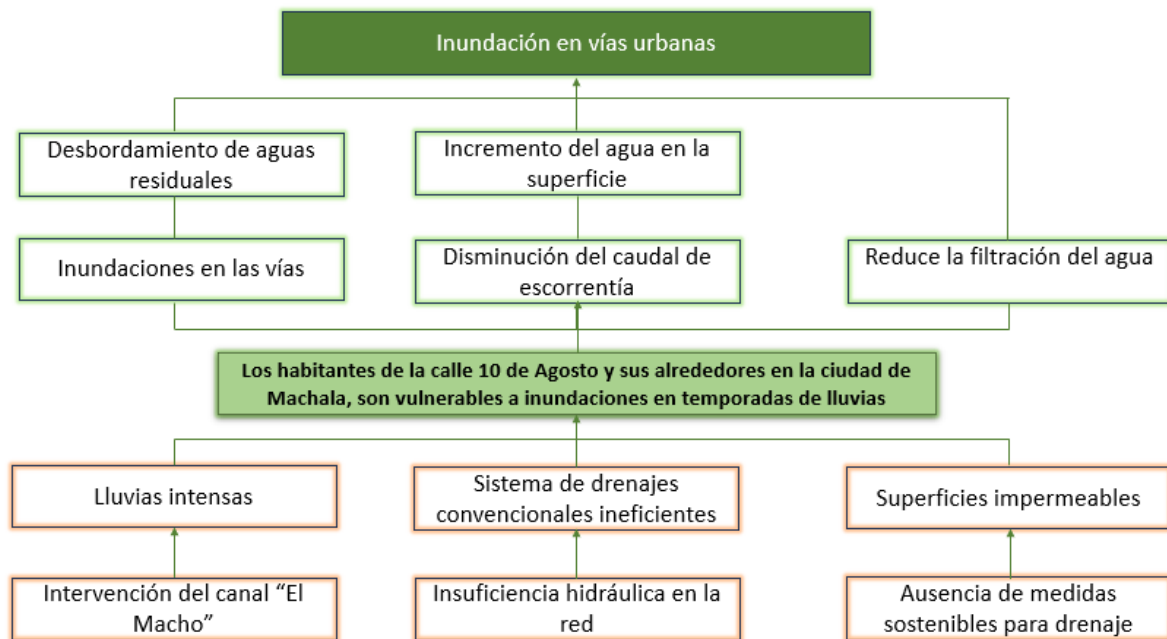
La antigüedad de las infraestructuras de drenaje urbano hace que hoy en la actualidad existan nuevas propuestas para el control y la gestión de las inundaciones urbanas, paralelamente la aceleración de áreas residenciales y comerciales cuentan con una sola política de diseño para todas las zonas lo que se debería tomar en cuenta las diferentes pendientes que se detectan (Seyedashraf et al., 2021).

El principal problema que existe en la vía 10 de agosto cada año, en temporadas de lluvias, la vía y calles adyacentes se inundan a causa de este fenómeno. En la siguiente ilustración se especifican algunas de las causas y efectos de este problema.

- A causa de las lluvias intensas debido a la crecida del canal el Macho existe inundaciones en la vía provocando un desbordamiento de las aguas residuales.
- El sistema de drenajes convencionales es ineficiente, disminuyendo el caudal en la escorrentía e incrementando el agua en la superficie.
- Existen superficies impermeables que hacen que el proceso de filtración del agua se tarde un poco más, por lo que aún no existen medidas de sostenibilidad de drenaje.

## 1.2.2. Árbol del problema

Ilustración 5: Árbol de problemas



**Fuente:** *Elaboración propia*

## 1.3 Formulación del problema

¿Los habitantes que residen alrededor de la vía 10 de agosto y sus calles adyacentes, en la ciudad de Machala cuentan un inadecuado sistema de drenaje urbano?

## 1.4 Delimitación del problema

En el siguiente trabajo se tiene como zona de estudio la vía 10 de agosto, debido a que es afectada en temporadas de lluvias, siendo inundada por la poca capacidad de infiltración que tienen la vía y sus alrededores. A continuación, se presenta la zona de estudio en la ciudad de Machala con sus respectivas coordenadas de inicio y fin.

**Ilustración 6:** Zona de estudio vía 10 de agosto



**Fuente:** *OpenStrpMap*

**Tabla 8:** *Coordenadas de la zona de estudio*

Coordenadas	Punto A	Punto B	Punto C	Puntos D
Este	614731 m	617731 m	614731 m	617731 m
Norte	9641048 m	9641048 m	9639048 m	9639048 m

**Fuente:** *Elaboración propia*

### 1.5 Justificación

Debido al gran desarrollo urbanístico implica el uso de superficies permeables, como el asfalto o el hormigón, dificultando la infiltración de las aguas pluviales, por lo que ahora fluye en la superficie, generando mayores riesgos de inundación” (Humphrey et al., 2023). “En clima húmedo, la escorrentía de aguas pluviales y los desbordamientos combinados de aguas residuales (OSC), transportan cargas importantes de contaminantes, llegando a cuerpos de agua sin tratamiento previo” (Piñon-Colin, 2020 citado en García-Haba et al., 2023).

Por esta razón se ha intentado recuperar el sistema de drenaje a travez de sistemas mas adaptados al ciclo hidrológico mediante SUDS incluyendo técnicas o aplicaciones que contienen

techos verdes, zanjas de infiltración y pavimentos permeables, también el Desarrollo de bajo Impacto (LID) y Diseño Urbano Sensible al Agua (WSUD) se pueden asociar con SUDS, inclusive en algunas ciudades del mundo piden como requisito la recolección del agua lluvia para edificios (Vaz et al., 2021).

Por consiguiente, este trabajo técnico se realizó pensando en las habitantes que residen alrededor de la vía 10 de agosto y sus calles colaterales de la ciudad de Machala, que han sido víctimas de este fenómeno natural, dando soluciones de control y reducción de las inundaciones mediante SUDS, siendo estas diseñadas para la gestión sostenible de aguas pluviales urbanas.

Además este proyecto tiene también como meta obtener la titulación de la carrera Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil, de la Universidad Técnica de Machala.

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivo general**

Proponer una estrategia factible mediante un sistema urbano de drenaje sostenible para la reducción y control de las inundaciones

### **1.6.2 Objetivos específicos**

- Revisar información bibliográfica que presente métodos técnicos aplicados al sistema de drenaje urbano utilizadas para la gestión sostenible de las aguas pluviales
- Evaluar los escenarios hidrológico e hidráulico mediante un modelo de las subcuencas para la gestión de caudales y escorrentías.
- Reducir los caudales y escorrentías aplicando el concepto de Desarrollo de bajo impacto para aumentar la permeabilidad en zonas urbanas.

## 2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes contextuales

#### 2.1.1 Macro (Mundial)

Hay estudios existentes a nivel mundial implementando las SUBS, que la gran mayoría de los artículos científicos se han desarrollado en Asia con un 58%, América del norte con un 27%, Europa con un 14%, Oceanía con un 6% y América del Sur con un 6%. Los países con mayor aportación fueron China con un 28%, Estados Unidos con un 20%, Irán con un 11% y Australia con un 5% (Ferrans et al., 2022). “Exclusivamente países como China, Irán y Australia para poder solventar estos problemas de cantidad y calidad de la escorrentía causados por la urbanización han puesto en funcionamiento nuevas políticas nacionales y / o regionales de gestión de la escorrentía urbana” (Ferrans & Temprano, 2022).

En Shijiazhuang, provincia de Hebei, China. Según la investigación de Chen publicado en el 2021 *“Modelling the effect of rainfall patterns on the runoff control performance of permeable pavements”* (Chen et al., 2021).

La ciudad está conformada por un terreno llano y una pendiente aproximadamente de 0.0008, por lo que son afectadas por las inundaciones pluviales en las zonas urbanas siendo su principal causante las superficies urbanas y la poca capacidad de descarga que tienen el sistema de drenaje urbano en temporadas de lluvias, Por lo que proponen reemplazar los pavimentos permeables o de baja permeabilidad por pavimentos permeables a través del Desarrollo de bajo impacto (LID) en un evento de lluvia realizando un modelo numérico hidrológico-hidráulica. El modelo hidrológico convierte la lluvia en escorrentía superficial efectiva, El hidrodinámico en 1D donde demuestra el flujo de la red de drenaje y 2D para establecer método correcto para el direccionamiento de las inundaciones superficiales. Teniendo como resultado la reducción del área de inundación residencial, disminuyendo la profundidad de 0.2m a través de un control de escorrentía a de pavimentos permeables con distintos patrones de lluvias.

### **2.1.2 Meso (Ecuador)**

Según el estudio de Sabdy Montaña-Cañola y Jesus Espinoza-Correa publicado en el 2022, *“Metodología para la evaluación de un sistema urbano de drenaje sostenible en vías de esmeraldas”* (Sabdy Alejandra & Jesús Enrique, 2022).

Proponen en su investigación determinar la viabilidad implementando una alternativa para el control y regulación de las inundaciones en vías de Esmeraldas, a través de un sistema urbano de drenaje sostenible. Luego realizaron una revisión del marco teórico y referencial con estudios relacionados con los Sistemas de drenaje sostenible, en donde también elaboraron la modelación del comportamiento hidráulico del sistema de drenaje mediante un software aplicado Arc Gis, en el que se identificaron algunos factores morfológicos de una microcuenca en donde encontraron su área aproximada a las 7.60 km<sup>2</sup>, una longitud de cauce de 4.35 km, la cota máxima de 281 msnm y una cota mínima de 33 msnm. Ocuparon dos métodos para estimar el caudal hidrológico, el método racional donde obtuvieron la estimación del caudal de 81.19m<sup>3</sup>/s y el método del hidrograma unitario triangular de 93.8m<sup>3</sup>/s siendo este el caudal de diseño, obteniendo un canal con las siguientes secciones: Tirante: 1.5m, Talud 1:0.6, Pendiente: 0.01 = 1%, y un ducto cajón de 6m de base y 3.5m de altura.

Diego Paredes publicó en el 2018 una investigación sobre, *“Análisis hidráulico de Sistemas de Drenaje Urbano con Soluciones Convencionales y Tecnologías Sostenibles: Estudio de Caso en Quito, Ecuador”* (Paredes, 2018).

Analizaron y compararon el rendimiento hidráulico del sistema de alcantarillado en una cuenca piloto con tres escenarios diferentes. Primeramente, utilizaron la configuración de la red de drenaje anterior al 2011, posteriormente utilizó la configuración actual, que tiene medidas estructurales que se construyeron en el 2012 para aliviar los flujos pluviales excesivos, y finalmente utilizó un modelo de drenaje urbano en el que se implementaron algunas tecnologías sostenibles en lugar de los métodos convencionales. Realizando la evaluación, recopilación,



analizando y precediendo los datos necesarios. También utilizaron modelos de 1D y 2D evaluando parámetros hidráulicos como: volumen, escorrentía superficial, flujos de tuberías, profundidades y velocidades del agua de inundación. En el que obtuvieron resultados positivos de reducción de volúmenes de inundación en un 60% con medidas convencionales, a diferencia de la SUDS que redujo un 75% el volumen de inundación, un 90% de disminución de la escorrentía superficial y un 50% de reducción en el flujo de la red de alcantarillado.

### **2.1.3 Micro (Machala)**

En el estudio de Jenny González publicado en el año 2023, *“Metodología para diseño de sistemas urbanos de drenaje sostenibles en vías urbanas”* (Gonzalez et al., 2023).

Propone en su investigación una metodología de diseño de drenaje urbano sostenible mediante criterios de gestión de drenaje que permitan la disminución de riesgos de inundación en vías urbanas, garantizando la reducción de descargas de agua lluvia de las áreas urbanas mediante una gestión adecuada de sistemas pluviales será de gran importancia ya que los sistemas de alcantarillados son inadecuados y pueden ser altamente contaminantes para la escorrentías. Por ello se recomienda una gestión integrada de aguas pluviales para reducir el impacto por las precipitaciones. En donde se propone dos SUDS, el primero con un sistema de pavimentos permeable, con un adoquín de 8cm, capa de transición de 5cm, base de 23cm, subbase de 23cm y un mejoramiento de 30cm, incluyendo un sistema de hormigón poroso con una franja de espesor de hormigón poroso de 15 cm, subbase permeable de 45cm y un tubo perforado con un diametro de 250mm. Y el segundo un parterre inundable para un area de 11.65 Has, con jardines con una profundidad de 12cm en un area de 5000m<sup>2</sup> para la reducción de la escorrentia.

## 2.2 Antecedentes referenciales o históricos

Carlos García, Iñaki Tejero, José Luis Gil, presentaron en su artículo llamado, *“Sustainable urban drainage systems: a tool to adapt combined sewer systems to climate change”* (García-Terán et al., 2019).

Los autores presentan un estudio de adaptación de las infraestructuras actuales al cambio climático, como lluvias más frecuentes y más intensas a través de las SUDS tomando como estudio una parte de la red de alcantarillado de Santander, en España, haciendo tres prototipos de simulación como: Análisis de tormentas de corta duración, bajo el clima actual y con estimación del cambio climático por medio de un modelado de una cuenca de drenaje bajo el código SWMM-5, donde los efectos de la SUDS sirvieron como una herramienta que mejora la situación de sistema de drenaje combinado reduciendo el consumo de energía, el volumen total de bombeo y los caudales máximos. Dando como beneficio a la red de alcantarillado sometido al cambio climático dando una solución de drenaje intervenido por la SUDS.

Durante los años 1997 – 1998 se registraron eventos de lluvias e inundaciones históricas más intensas, en donde se obtuvo información recopilada: donde las precipitaciones para Machala fueron de 2991.90 mm a comparación en el periodo de 1964<sup>a</sup> 1998 fue de 2020 mm, lo que equivale un 148% más, es decir que en 1997 – 1998 llueve más que en 34 años (CAF, 2000 citado en Serrano et al., 2016) .

A continuación se presentan los eventos más relevantes publicados en los últimos tres años, la información es obtenida a través de diferentes periódicos nacionales del país:

- “Coe Canton de Machala declaró en emergencias a la capital orense por inundaciones el 23 de febrero del 2020. El 40% de la población resultó afectada a causa de los torrenciales aguaceros, que inundaron extensos barrios”. (El Comercio, 2020)

- “Las calles de Machala, capital de la provincia de El Oro, amanecieron anegadas este lunes 15 de marzo del 2021, luego de un aguacero de cinco horas que cayo en la madrugada, colpaso el sistema de alcantarillado y genero inundaciones en sectores del norte, centro y sur”. (El Comercio, 2021)
- “Inundaciones en El Oro: calles de Machala y Santa Rosa quedaron anegadas por fuerte lluvias. La crecida del canal el Macho, que atraviesa al norte de Machala está al punto del colpaso”. (Extra, 2023)

## **2.3 Antecedentes conceptuales**

### **2.3.1 Inundación**

“Es el desbordamiento del agua sobre un terreno que esta naturalmente seco, se cree que son resultados por fuertes lluvias, pero pueden surgir de diferentes causas que no están vinculadas con fenómenos meteorológicos en curso, tan como lo indica”(Doswell, 2015).

También es considerado un desastre natural en términos de mortalidad y pérdidas financieras, la tendencia de creciente más preocupantes es la de daños por inundaciones a nivel mundial en las últimas décadas. Una de las principales causas de este efecto destructivo es el aumento de la población, los activos a las llanuras aluvial y los cambios en los sistemas hidroeléctricos (Javadinejad, 2022).

### **2.3.2 Riesgo a Inundación**

“Es la combinación de la probabilidad de que ocurra una inundación y las posibles consecuencias adversas para la salud humana, las infraestructuras y los activos civiles, los ecosistemas naturales, el patrimonio cultural y el amplio espectro de actividades económicas y sociales que se desarrollan a lo largo de las llanuras aluviales ” (EU Floods Directive, 2007 / 60 EC citado en Fiori et al., 2023).

### **2.3.3 Vulnerabilidad**

Se contextualiza la vulnerabilidad como: “La propensión o predisposición a verse afectado negativamente. La vulnerabilidad abarca una variedad de conceptos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad para hacer frente y adaptarse” (Intergovernment Panel on Climate Change, 2014 citado en Morales et al., 2021).

### **2.3.4 Escorrentías superficiales**

La escorrentía de agua a lo largo de la superficie del suelo es un proceso dinámico en respuesta a la precipitación y la infiltración. La escorrentía ocurre cuando los flujos de entrada de agua, por ejemplo, lluvia, riego o escorrentía desde direcciones aguas arribas exceden la capacidad de infiltración del suelo (Z. Wang et al., 2020).

- Deben incluir tres procesos críticos:
- El flujo de agua a lo largo de la superficie del suelo
- La acumulación de agua dentro de las depresiones

Los flujos de agua a través de la superficie del suelo (Evaporación, Infiltración o exfiltración).

### **2.3.5 Ciclo hidrológico del agua**

Es el movimiento continuo y complejo del agua vinculando interacciones entre la atmósfera, la litosfera y la antroposfera (Yang , Yang, & Xia , 2021), Es el equilibrio del ecosistema natural, donde también, se ha visto afectado por la contaminación por parte de la humanidad y un entorno del cambio climático debido al calentamiento global y al aumento de instalaciones de conservación del agua (W. Wang et al., 2021).

### **2.3.6 Infiltración**

La infiltración de agua en el suelo es de vital importancia, ya que es la base de las fases que lo componen: líquida, sólida y gaseosa. Es crucial comprender que el agua constituye la fase líquida del suelo, y sin ella, el suelo sería inerte, conformado únicamente por roca y aire, los cuales forman la fase sólida y gaseosa respectivamente. Este proceso es fundamental para mantener la vitalidad y la salud del suelo (Rivera et al., 2018).

### **2.3.8 Sistema urbano de drenaje sostenible**

“Están creadas con la finalidad de reducir las inundaciones, bien sea, en la infiltración de la escorrentía en el suelo o la retención de las aguas pluviales dentro del sistema, ayudando así en el proceso de eliminación del agua superficial” (Charlesworth S, (2010) citado en Humphrey et al., 2023).

### **2.3.9 Celda de bio-retención**

Dentro de las opciones de SUDS, se encuentran aquellas que aprovechan la capacidad de las plantas para retener, absorber y gradualmente liberar el agua de lluvia. Estos sistemas generalmente se componen de áreas vegetadas sobre terrenos excavados, donde se incorpora una base filtrante y una capa de drenaje. Esta disposición favorece la retención y el proceso natural de purificación del agua proveniente de la escorrentía pluvial (Garzón & Trivales, 2020).

### **2.3.10 Jardines de lluvia**

Consisten en depresiones en el suelo cubiertas de vegetación, diseñadas para recoger y dirigir el agua de lluvia procedente de superficies impermeables como techos, calzadas y estacionamientos hacia el subsuelo, facilitando su infiltración. Estos jardines se basan en sistemas de retención e infiltración, considerados dispositivos de control pasivo que gestionan el agua de lluvia en el lugar mediante vegetación y capas de materiales porosos (Badillo, 2017).

### **2.3.11 Trincheras de infiltración**

Las trincheras de infiltración o zanjas de infiltración, son excavaciones estrechas en la tierra, diseñadas en conformidad con las curvas naturales del terreno, son típicamente complementadas con una acumulación de suelo tanto arriba como abajo para maximizar su efectividad en la absorción de agua subterránea y su contribución al ciclo hidrológico (Ochoa-Tocachi, 2020).

### **2.3.12 Pavimento poroso**

Los pavimentos porosos se distinguen por ser construcciones de hormigón o asfalto que se elaboran utilizando granulometrías que carecen de finos. Estas superficies presentan la particularidad de ser permeables, lo que significa que permiten el paso del agua a través de una red de vacíos interconectados. Este tipo de estructuras se diseñan con el propósito de facilitar el drenaje eficiente del agua de lluvia, reduciendo así el riesgo de inundaciones y contribuyendo a la preservación del medio ambiente (Castro et al., 2009).

### **2.3.13 Techos verdes**

Son una cubierta vegetal en edificaciones, ayudan a filtrar el agua de la lluvia y retardan la entrada de las aguas pluviales en el sistema de drenaje, reducen temperaturas internas en edificaciones promueven la purificación dando lugar a los microhábitats como la flora y fauna (Badillo, 2017).

### **3. Capítulo III: Metodología**

#### **3.1 Modalidad básica de la investigación**

Este capítulo se centra en la simulación de doce subcuencas, tiene un enfoque cuantitativo, se mantiene como referencia la información recopilada, para aplicar un modelo SUDS en la 10 de agosto y otras vías de interés mediante el uso del Software EPA SWMM 5.2.

#### **3.2 Tipo de investigación**

En esta investigación se centra en dos tipos de investigación: bibliográfica y experimental. La investigación bibliográfica, se conlleva al análisis teórico mediante la revisión bibliográfica de libros, revistas científicas, artículos, que se centran en la investigación y aplicación de las SUDS. La investigación experimental tiene un enfoque donde permita conocer las características que se obtuvieron después de la simulación de zona de estudio, conociendo así, datos como la geología, hidrologías, hidráulicas y otras cualidades.

#### **3.3 Objeto de estudio**

El objeto de estudio del presente proyecto se centra en un estudio de factibilidad para la vía 10 de agosto y otras calles aledañas.

#### **3.4 Descripción de la población y muestra**

Se calcula el tamaño de la muestra considerando la población total del área urbana de 277575 habitantes como lo indica la tabla 9, la población de nuestro interés será los habitantes que residen alrededor de la vía 10 de agosto y otras calles adyacentes. La información fue obtenida del plan de ordenamiento territorial del Cantón Machala, establecido por la Alcaldía de Machala.

**Tabla 9:** Población del Cantón Machala

Sexo	Área urbana	Área rural	Total
Hombre	136234	5676	141910
Mujer	141341	5889	150196
Total	277575	11566	289141

**Fuente:** (SIN – INEC 2010 citado en Alcaldía de Machala, 2022)

Para la obtención de la muestra  $n$ , se empleara la ec.(1) en donde se indica los parámetros que se debe considerar detallados a continuación.

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad (1)$$

**Tabla 10:** Valores de Z en función del nivel de confianza

Nivel de confianza (%)	Z alfa
99.70	3
99.00	2.58
98.00	2.33
96.00	2.05
95.00	1.96
90.00	1.645
80.00	1.25
50.00	0.674

**Fuente:** (Spiegel & Stephens, 2009 citado en Asanza, 2022)

En donde:

- $N$  = se toma el valor mencionado anteriormente de 277575 habitantes por la razón ya antes mencionada.



- $Z_a$  = nivel de confianza se tomará 1.96, dado que nuestro nivel de confianza es del 95% tal como lo muestra en la tabla 10.
- $E$  = al error asumido, se tendrá en cuenta un 5%.
- $P$  = la probabilidad de que ocurra el evento, como no se tiene información exacta, se asume un valor del 50%.
- $q$  = la probabilidad de que no ocurra dicho evento, se tiene un 50% también.

Si reemplazamos todos esos valores en la ecuación 1 obtenemos lo siguiente:

$$n = \frac{277575 * 1.96_a^2 * 50 * 50}{5^2 * (277575 - 1) + Z_a^2 * 50 * 50}$$

$$n = 383.63 \text{ habitantes}$$

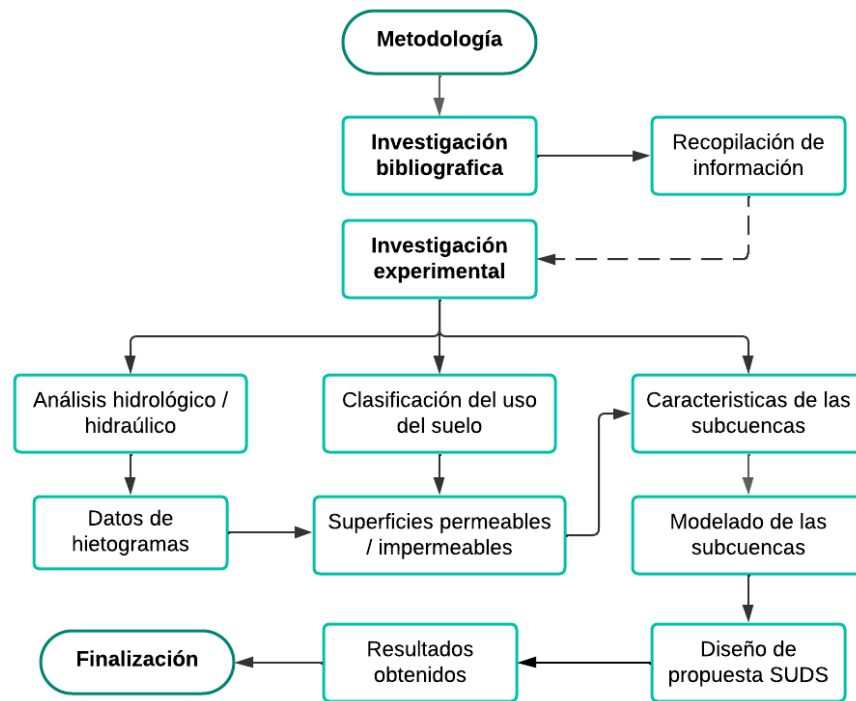
El cálculo nos indica que la muestra a considerar es de 383.63 siendo este redondeado a 384 habitantes como parte del objeto de estudio, para la ciudad de Machala

También se realizó el método de observación directa que ayudo a la identificación de las superficies de la zona de estudio

### **3.5 Materiales y métodos**

La metodología que se utilizara en esta investigación se relaciona con la ilustración 7, las mismas que se basan en recopilación de información, análisis hidrológico / hidráulico para proponer un modelo SUDS.

**Ilustración 7: Metodología**



**Fuente:** *Elaboración propia*

#### **4. Capítulo IV: Análisis e interpretación de los resultados**

La información bibliográfica de artículos científicos nos ayudó a la realización de la propuesta metodológica, que está enfocada de manera global a los análisis y los resultados de las propuestas de los autores correspondientes a las investigaciones ya mencionadas anteriormente, se muestran los resultados de manera detallada, con el único propósito de respaldar nuestra investigación, se tomara como caso de estudio la vía 10 de agosto y otras calles adyacentes.

##### **4.1. Análisis hidrológico**

El análisis hidrológico se involucra con la modelación, ya que, se integra una tormenta de diseño específica con un periodo de retorno de 100 años, para la elaboración del hietograma de precipitación obtenido a través de las curvas IDF. Se utilizo la estación pluviométrica más cercana a la zona de estudio M0072 MACHALA AEROPUERTO, contando con intensidades máximas en

24 horas para varios periodos de retorno (TR) según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI, 2015).

**Tabla 11:** *Características de la estación del pluviométrico*

Código	Nombre	Latitud (m)	Longitud (m)	Altitud (m.s.n.m)
M0072	Machala Aeropuerto	615178	9638811	4

**Fuente:** (INAMHI, 2015)

En la siguiente tabla 12 se presenta las intensidades máximas en 24 horas con un periodo de retorno dado en mm/h.

**Tabla 12:** *Intensidad máxima en 24 horas. Estación M0072 Machala Aeropuerto*

Años	5	10	25	50	100
$I_{d_{TR}}$ (mm/hr)	4.01	4.64	5.37	5.88	6.37

**Fuente:** (INAMHI, 2015)

Posteriormente, se presenta en la tabla 13 las ecuaciones específicas para la estación seleccionada según los intervalos de tiempo establecidos.

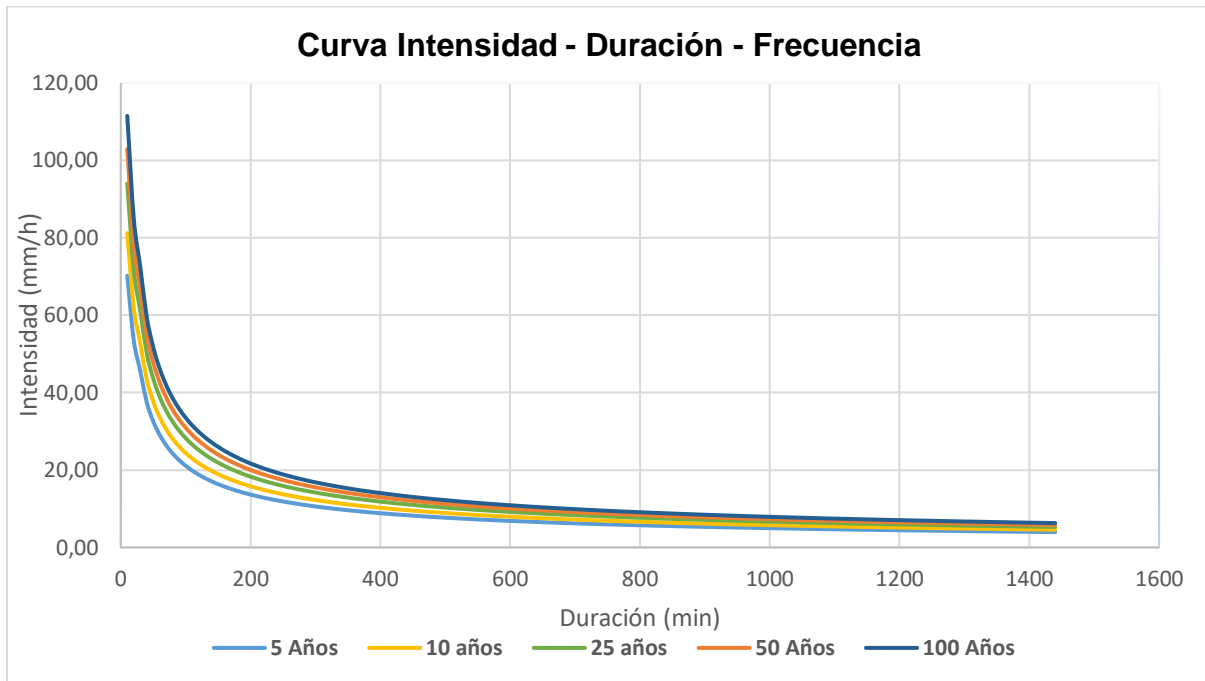
**Tabla 13:** *Ecuaciones para las curvas IDF*

Estación	Intervalos de tiempo	Ecuaciones
M0072 Machala	5 < 30	$I_{TR} = 43.085t^{0.3912}I_{d_{TR}}$
Aeropuerto	30 < 1440	$I_{TR} = 43.085t^{0.3912}I_{d_{TR}}$

**Fuente:** (INAMHI, 2015)

Según la previa información, se seleccionaron las curvas IDF para un periodo de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años, siendo estas utilizadas en la elaboración de los hietogramas de precipitación con un intervalo de 10 minutos según lo indica la ilustración 8.

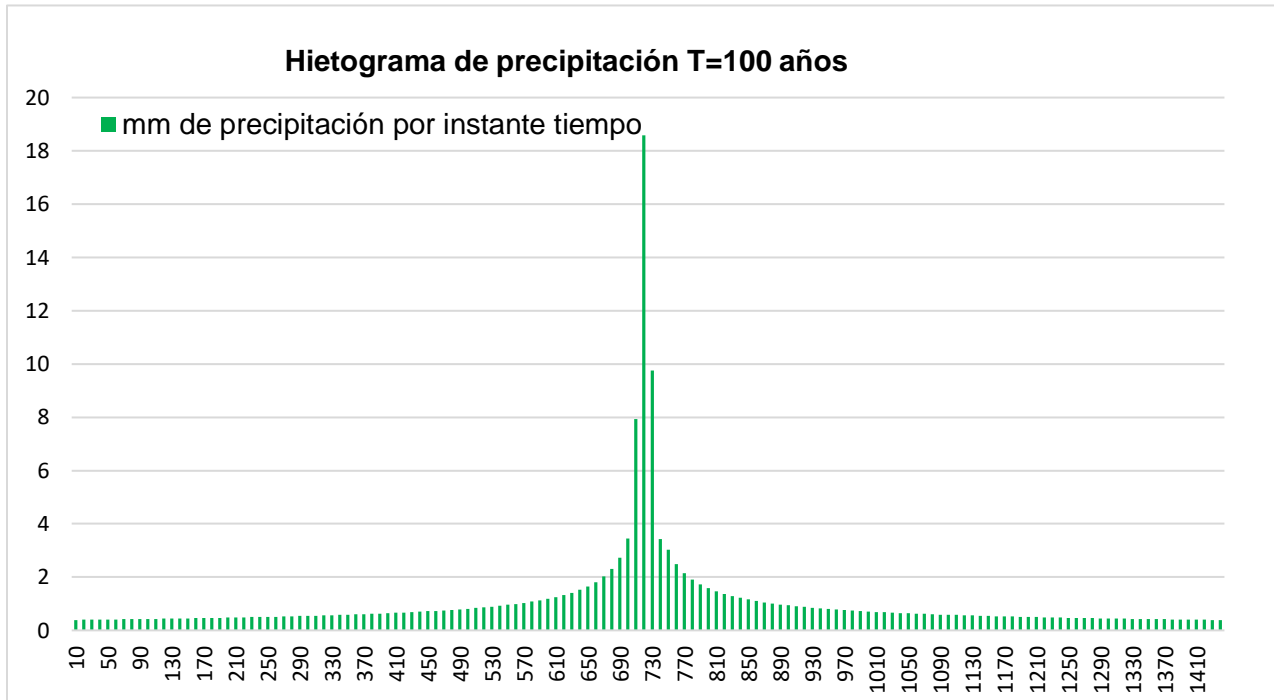
**Ilustración 8:** *Curva Intensidad - Duración - Frecuencia*



**Fuente:** *Elaboración propia*

(Saraguro et al., 2023) “recomiendan un periodo de retorno de 100 años para garantizar el dimensionamiento de SUDS sea capaz de abastecer el volumen de la lluvia con su respectivo periodo de retorno y cumplir con las necesidades del drenaje propuesta por la normativa”. En la siguiente ilustración 9 se presenta el hietograma de precipitación para un periodo de retorno de 100 años, que es utilizado en el software EPA SWMM 5.2 como una tormenta de diseño.

**Ilustración 9:** Hietogramas de precipitación para T=100 años

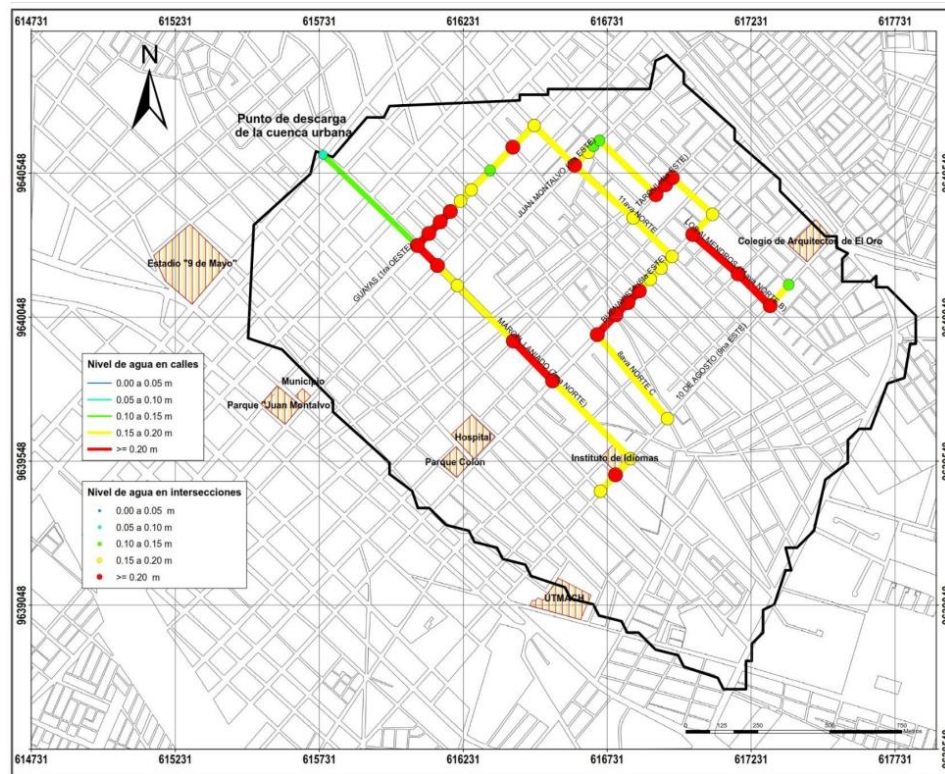


**Fuente:** *Elaboración propia*

#### **4.2 Análisis hidrológico**

El área de estudio se tomó como referencia la subcuenca realizada en la parte norte de Machala como lo indica la ilustración 10, en donde se encuentra incluida la vía 10 de agosto y otras calles adyacentes de interés para este proyecto, con la finalidad de poder reducir y controlar los niveles de inundación. En donde también se pudo encontrar que la Ciudad de Machala solo cuenta con sistema de drenaje convencionales evidenciado por los planos de Aguas Machala EP.

**Ilustración 10: Nivel de agua en calles e intersecciones**



**Fuente:** (Hidalgo, 2019)

### 4.3 Análisis de superficies permeables e impermeables

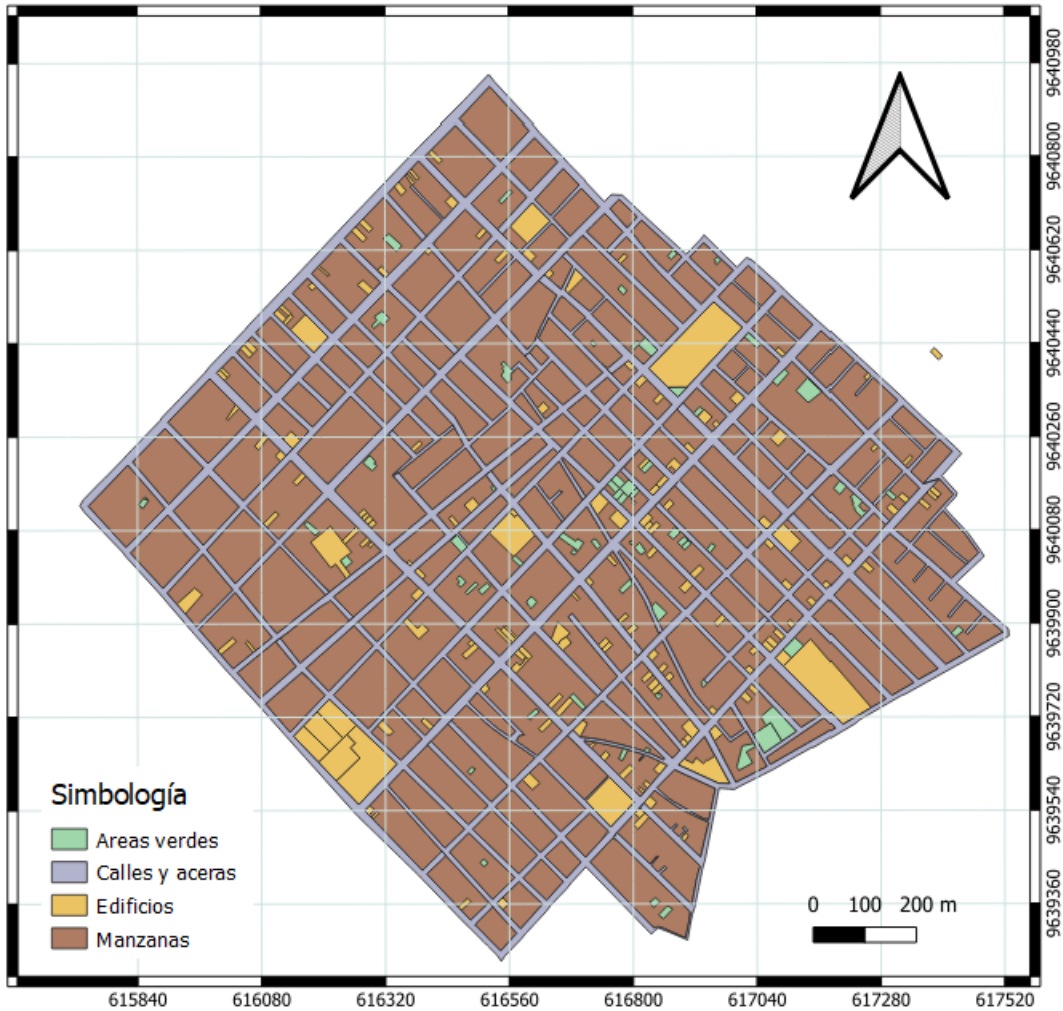
Se obtuvo el porcentaje de permeabilidad e impermeabilidad para las 12 subcuencas en la zona de estudio, según los datos obtenidos todas las subcuencas sobrepasan de 90% impermeabilidad como lo indica la tabla 14. En las superficies impermeables se agruparon por Edificios, viviendas, calles y aceras como lo indica la ilustración 11. Todas las subcuencas cuentan con diferentes áreas, sin embargo, la subcuenca 12 cuenta con un área de impermeabilidad de 23.21 ha, lo que equivale un 99,66% contando con una mínima aportación de áreas permeables.

**Tabla 14: Superficies de las subcuencas**

<b>Subcuencas</b>	<b>Superficies</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
1	Permeable	Aceras verdes	0,51	5,95
	Impermeable	Edificios, viviendas, calles y aceras	8,57	94,05
2	Permeable	Aceras verdes	0,10	1,06
	Impermeable	Edificios, viviendas, calles y aceras	9,58	98,94
3	Permeable	Aceras verdes	0,45	2,32
	Impermeable	Edificios, viviendas, calles y aceras	19,45	97,68
4	Permeable	Aceras verdes	0,19	1,37
	Impermeable	Edificios, viviendas, calles y aceras	13,58	98,63
5	Permeable	Aceras verdes	0,07	0,31
	Impermeable	Edificios, viviendas, calles y aceras	21,67	99,69
6	Permeable	Aceras verdes	0,13	1,23
	Impermeable	Edificios, viviendas, calles y aceras	10,52	98,77
7	Permeable	Aceras verdes	0,26	2,50
	Impermeable	Edificios, viviendas, calles y aceras	10,27	95,22
8	Permeable	Aceras verdes	0,10	0,78
	Impermeable	Edificios, viviendas, calles y aceras	13,29	99,22
9	Permeable	Aceras verdes	0,04	0,49
	Impermeable	Edificios, viviendas, calles y aceras	8,39	99,51
10	Permeable	Aceras verdes	0,22	2,34
	Impermeable	Edificios, viviendas, calles y aceras	9,28	97,66
11	Permeable	Aceras verdes	0,05	0,58
	Impermeable	Edificios, viviendas, calles y aceras	9,21	99,42
12	Permeable	Aceras verdes	0,08	0,34
	Impermeable	Edificios, viviendas, calles y aceras	23,21	99,66

**Fuente:** *Elaboración propia*

**Ilustración 11: Áreas permeables e impermeables**



**Fuente:** *Elaboración propia*

#### **4.5 Modelo en EPA SWMM 5.1**

El modelo Swmm fue creado para la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), con la única finalidad de simular datos cualitativos como datos de la escorrentía y cuantitativos como el volumen de la escorrentía relacionada con las aguas pluviales siendo este de gran aporte para la reducción y control de los contaminantes (Taghizadeh et al., 2021).

El modelo dinámico ayudo con la simulación de lluvias y escorrentías, el análisis y diseño de la subcuenca conformada por 12 subcuencas relacionada con el sistema de drenaje de las aguas pluviales en el área urbana, en donde también provee elementos dinámicos de desagüe,

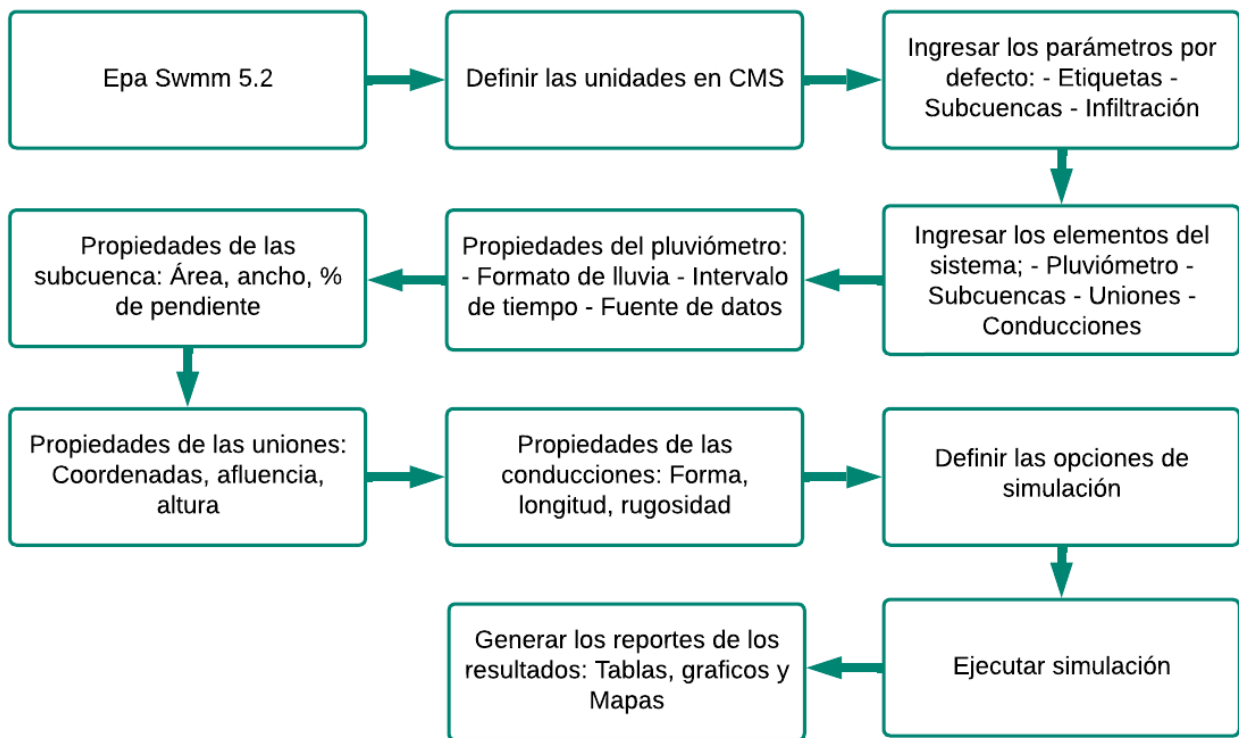


el cual ayuda a limitar los niveles de agua en el sistema como la reducción de flujo aplicando los controladores SUDS, en nuestro caso se implementó los techos verdes.

#### 4.5.1 Construcción del modelo hidrológico

En este proceso se pudo determinar las características de las subcuencas, conductos e intersecciones para realizar la simulación del modelado en Epa swmm 5.2 siguiendo el procedimiento paso a paso como lo indica la ilustración 12.

**Ilustración 12:** *Proceso del modelado Epa Swmm 5.2*



**Fuente:** *Elaboración propia*

**Ilustración 13: Modelado en Epa Swmm 5.2**



**Fuente:** *Elaboración propia*

#### **4.5.2 Limitación del drenaje**

Se realizó los modelos hidrológicos en Epa Swmm 5.2 pertenecientes a las doce subcuencas urbanas establecidas, para un periodo de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años. Una vez realizado todo el proceso como lo muestra la ilustración 11 e ingresados los parámetros que se obtuvieron como recomendación de los artículos científicos, y al final se ingresaron los

hietogramas con intervalos de 10 min, se puede conllevar el análisis, según lo demuestra la tabla posterior.

**Tabla 15:** Caudal pico y volumen de inundación

Periodo de retorno	Caudal pico (m <sup>3</sup> /s)	Volumen de inundación (m <sup>3</sup> )
5	28,13	361,72
10	32,55	419,74
25	41,49	487,67
50	45,5	534,09
100	49,3	579,26

**Fuente:** *Elaboración propia*

Para poder realizar el dimensionamiento de las SUDS se emplearán con un periodo de retorno de 100 años, dado que la situación más crítica se da en el periodo de retorno de 100 años como lo indica la ilustración 8 anteriormente. Como se demuestra en la tabla 16, se evidencia que la inundación puede igual o sobrepasar el nivel de la vereda.

**Tabla 16:** Cantidad de escorrentía de las subcuencas urbanas

Subcuencas	Alturas de precipitación		
	Precipitación (mm)	Infiltración (mm)	Escorrentía (mm)
S1	383,73	0,21	356,15
S2	383,73	0,01	370,91
S3	383,73	0,04	374,37
S4	383,73	0,08	366,18
S5	383,73	0,05	371,69
S6	383,73	0,01	930,88
S7	383,73	0,04	373,36
S8	383,73	0,17	360,18
S9	383,73	0,03	373,99
S10	383,73	0,02	781,35
S11	383,73	0,08	368,98
S12	383,73	0,02	376,32

**Fuente:** *Elaboración propia*

## **4.6 Propuesta SUDS**

### **4.6.1 Techos verdes**

Se optó por este tipo de sistema urbano de drenaje sostenible, dado que es uno del mecanismo más accesible y de mantenimiento a largo plazo, ya que si se hubiera elegido otras tipologías de SUDS como lagunas de infiltración, humedales o jardines de bio-retención no serían factibles debido a la limitación del espacio que existe en nuestra zona de estudio, siendo esta muy urbanizada.

### **4.6.2 Localización de la estructura**

En este caso, para poder aplicar el drenaje sostenible se definieron edificaciones de tres o más pisos y viviendas que forman parte de la superficie impermeable de cada subcuenca, los datos referentes como se presentó anteriormente en la tabla 14. Para lograr obtener una cubierta para los techos verdes se consideró “el 70% de la huella de la edificación como lo recomienda la ciudad Portland en unas de sus normativas para las nuevas y futuras edificaciones” (Vijayaraghavan, 2016).

### **4.6.3 Componentes de los techos verdes**

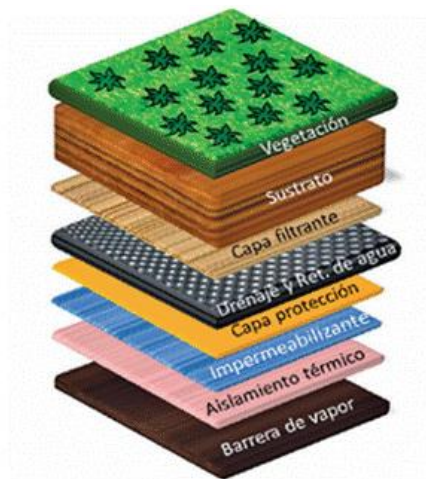
Según (Morales, 2017 citado en López-González et al., 2020) recomienda las siguientes componentes para obtener un funcionamiento y una vida útil de los techos verdes. En la siguiente ilustración 14 se pueden observar los componentes con claridad.

**Tabla 17:** Componentes de los techos verdes

Componente	Descripción
Cubierta	Se realiza la instalación
Membrana impermeable	Son láminas de pvc
Capa de protección	Impide que las raíces puedan penetrar en la membrana
Capa filtrante	Controlan el agua retenida del tejado
Sustrato	Absorbe todos los nutrientes de la vegetación
Vegetación	Plantas adaptables en el ambiente

**Fuente:** (Vidal Menco, 2023)

**Ilustración 14:** Componentes de los techos verdes

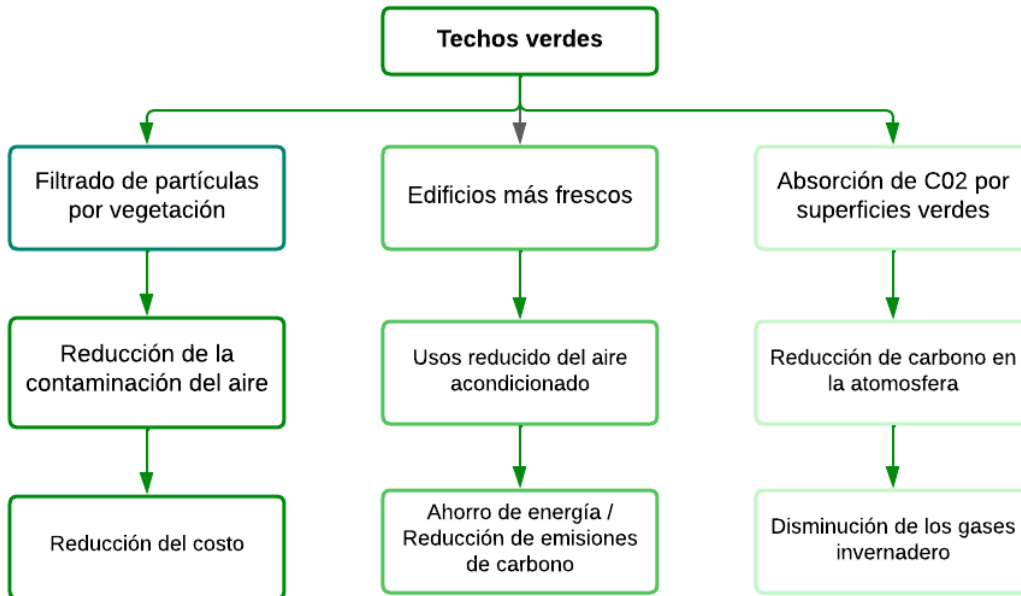


**Fuente:** (López-González et al., 2020)

#### 4.6.4 Beneficios

Según (Alves et al., 2019) “en su estudio logra valorar la relación que existe en los beneficios colaterales con los beneficios relevantes a través de método de criterio y comprendió la vinculación entre los impactos ambientales y el bienestar de la humanidad”. En la siguiente ilustración 13 se observa los beneficios de los techos verdes.

**Ilustración 15:** *Beneficios de los techos verdes*



**Fuente:** (Alves et al., 2019)

#### **4.4.5 Funcionamiento de los LID**

Se nombra Low Impact Development (LID) es una herramienta que ayuda a poner en práctica las SUDS en las subcuencas, intentando sustituir las áreas impermeables por techos verdes en las edificaciones y viviendas, por este medio se podrá controlar la retención de aguas pluviales, disminución de los caudales, disminuir y controlar las inundaciones.

Para la creación de los techos verdes se tomó las características propuestas en un caso de estudio, las cuales son importantes para el desarrollo de este sistema, el valor de la pendiente depende de la inclinación del tejado o del concreto de refuerzo. El coeficiente de rugosidad para un material de corriente natural y otros datos que indica la tabla posterior (Vidal Menco, 2023),

**Tabla 18: Variables para la creación de LID**

Variables	
Altura de la superficie vegetal	150 mm
Pendiente superficial	3%
Rugosidad superficial	0.03
Espesor del suelo	300 mm
Alfombrilla de drenaje	8 mm
Esfera de drenaje	n=0.01

**Fuente:** (Vidal Menco, 2023)

#### 4.4.6 Evaluación hidrológica de techos verdes

A continuación, se presentan los modelos evaluados para las 12 subcuencas, cada subcuenca tiene un porcentaje de área de techo verde diferente, cabe recalcar que tienen diferentes tipos de áreas y su impermeabilidad también es diferente.

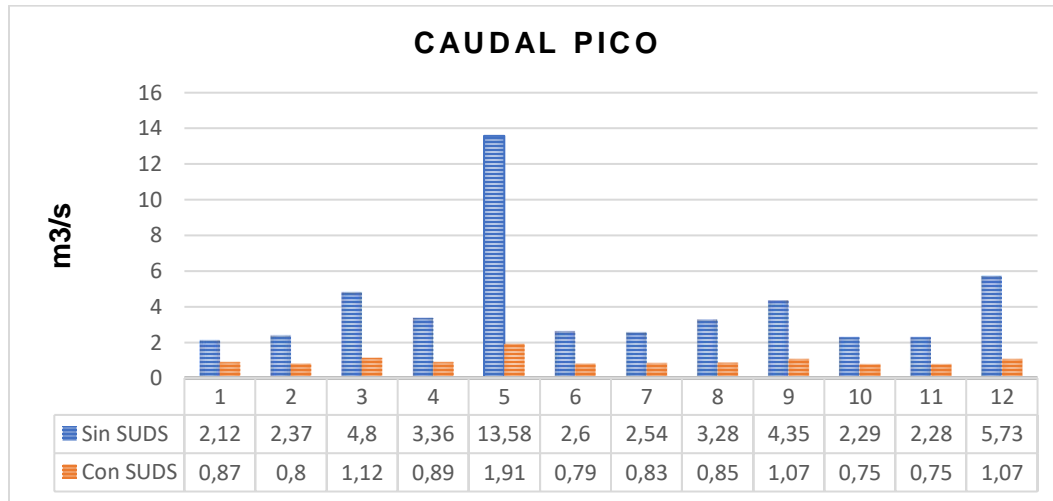
**Tabla 19: Subcuencas con y sin SUDS**

Subcuencas	% Área de techos verdes	Caudal pico (m3/s)		% de Reducción	Escorrentía (mm)		% de Reducción
		Sin SUDS	Con SUDS		Sin SUDS	Con SUDS	
S1	63,7	2,12	0,87	58,96	378,18	80,72	78,66
S2	68,7	2,37	0,8	66,24	378,32	64,04	83,07
S3	68,1	4,8	1,12	76,67	374,78	52,61	85,96
S4	70,2	3,36	0,89	73,51	376,78	54,17	85,62
S5	69,7	13,58	1,91	85,94	933,8	74,49	92,02
S6	70,7	2,6	0,79	69,62	377,95	58,04	84,64
S7	68,9	2,54	0,83	67,32	377,88	64,28	82,99
S8	71,6	3,28	0,85	74,09	376,89	51,78	86,26
S9	72,5	4,35	1,07	75,40	385,18	87,26	77,35
S10	70,6	2,29	0,75	67,25	377,68	61,66	83,67
S11	70,7	2,28	0,75	67,11	378,49	60,64	83,98
S12	72,1	5,73	1,07	81,33	372,17	42,87	88,48

**Fuente:** *Elaboración propia*

En la ilustración 16 se muestran los datos de caudales para cada subcuenca y se analizada que hubo una gran reducción de los caudales.

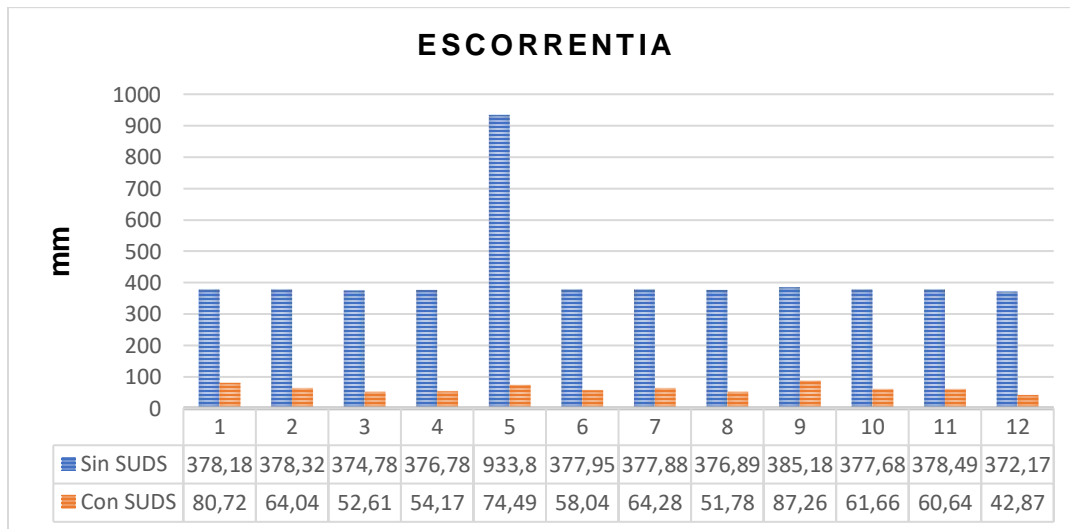
**Ilustración 16: Representación del caudal pico**



**Fuente:** *Elaboración propia*

En la ilustración 16 se muestran los datos de escorrentía para cada subcuenca y se analizada que hubo una gran reducción de las escorrentías.

**Ilustración 17: Representación de la escorrentía**



**Fuente:** *Elaboración propia*



## 5. Conclusiones

- Como se pudo analizar, los Sistemas Urbano de Drenaje Sostenible, son un recurso importante para las urbanizaciones debido a su gran desarrollo que ha tenido en los últimos años han dejado una mínima área permeable, esta herramienta SUDS sirven para la retención y captación de las aguas pluviales, acelerando el proceso de infiltración y minimizando los niveles de agua en zonas impermeables.
- Con el análisis hidrológico/hidráulico, se obtuvieron caudales máximos de las subcuencas con un periodo de retorno de 100 años se mostraron los siguientes datos 2.17, 2.37, 4.8, 3.36, 13.58, 2.6, 2.54, 3.28, 4.35, 2.29, 2.28, 5.73 m<sup>3</sup>/s, se obtuvo un porcentaje de reducción mayores al 58%, y las escorrentías de 378.18, 374.78, 376.78, 933.8, 377.95, 377.88, 377.88, 376.89, 385.18, 385.18, 377.68, 378.49, 372.17 mm y se obtuvo un porcentaje de reducción mayores al 70% siendo estas obtenidos por las SUDS.
- Los techos verdes se implementan en grandes porcentajes de cubierta dependiendo del área de la subcuenca, para que obtenga una captación que reduzca más de la mitad de las escorrentías y los caudales, las mismas que tiene otros beneficios colaterales como la reducción de los contaminantes en el aire, reducción de emisiones de carbono y reducción de los gases invernaderos.

## 6. Recomendaciones

- Debido a la escasa permeabilidad que existe en las zonas urbanas, se debería implementar estas SUDS, ya que son de gran ayuda, no tanto para las aguas pluviales, sino que también pueden ayudar con el medio ambiente.
- Es importante incentivar estas tipologías a las nuevas generaciones, para la implementación de la SUDS, ya que también sería de gran ayuda para los sistemas convencionales, aportándole así menos caudal y disminuyendo la escorrentía superficial.

## 7. Referencias

- Alcaldía de Machala. (2022). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial Cantón Machala*.  
[https://www.machala.gob.ec/documentosGAD/rendicionCuentas/2023/insumos/PDOT\\_Machala.pdf](https://www.machala.gob.ec/documentosGAD/rendicionCuentas/2023/insumos/PDOT_Machala.pdf)
- Alves, A., Gersonius, B., Kapelan, Z., Vojinovic, Z., & Sanchez, A. (2019). Assessing the Co-Benefits of green-blue-grey infrastructure for sustainable urban flood risk management. *Journal of Environmental Management*, 239, 244–254.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.036>
- Asanza, J. P. (2022). *Evaluación hidrológica de la zona de influencia de la quebrada Balsas en el Cantón Balsas para la determinación de factores y mapas de riesgo de inundación*.  
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/21209>
- Badillo, C. P. (2017). Jardines de lluvia una estrategia paisajista para aprovechar el agua pluvial de las ciudades. Caso de estudio: Azcapotzalco. *Tesis de Maestría En Diseño*.  
<http://hdl.handle.net/11191/5962>
- Castro, J., De Solminihac, H., Videla, C., & Fernández, B. (2009). Laboratory study of mixture proportioning for pervious concrete pavement. *Revista Ingeniería de Construcción*, 24(3), 271–284. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732009000300005>
- Chen, S., Li, D., Bu, S., & Li, Y. (2021). Modelling the effect of rainfall patterns on the runoff control performance of permeable pavements. *Water Science and Technology*, 84(7), 1566–1578.  
<https://doi.org/10.2166/wst.2021.352>
- Dolowitz, D. P., Bell, S., & Keeley, M. (2018). Retrofitting urban drainage infrastructure: green or grey? *Urban Water Journal*, 15(1), 83–91. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2017.1396352>

- Doswell, C. A. (2015). Hydrology, Floods and Droughts: Flooding. In *Encyclopedia of Atmospheric Sciences: Second Edition* (pp. 201–208). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382225-3.00151-1>
- El Comercio. (2020). *COE cantonal de Machala declaró en emergencia a la capital orense por inundaciones* - *El Comercio*. <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/machala-emergencia-inundaciones-barrios-oro.html>
- El Comercio. (2021). *Machala, en la provincia de El Oro, con calles y casas inundadas tras fuerte aguacero* - *El Comercio*. <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/machala-eloro-calles-inundaciones-aguacero.html>
- Extra. (2023). *Inundaciones en El Oro: calles de Machala y Santa Rosa quedaron anegadas por la fuerte lluvia*. <https://www.extra.ec/noticia/actualidad/inundaciones-oro-calles-machala-santa-rosa-que-daron-anegadas-fuerte-lluvia-82454.html>
- Ferrans, P., & Temprano, J. (2022). Continuous Quantity and Quality Modeling for Assessing the Effect of SUDS: Application on a Conceptual Urban Drainage Basin. *Environmental Processes*, 9(4). <https://doi.org/10.1007/s40710-022-00609-4>
- Ferrans, P., Torres, M. N., Temprano, J., & Rodríguez Sánchez, J. P. (2022). Sustainable Urban Drainage System (SUDS) modeling supporting decision-making: A systematic quantitative review. In *Science of the Total Environment* (Vol. 806). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150447>
- Fiori, A., Mancini, C. P., Annis, A., Lollai, S., Volpi, E., Nardi, F., & Grimaldi, S. (2023). The role of residual risk on flood damage assessment: A continuous hydrologic-hydraulic modelling approach for the historical city of Rome, Italy. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 49. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101506>

- García-Haba, E., Hernández-Crespo, C., Martín, M., & Andrés-Doménech, I. (2023). The role of different sustainable urban drainage systems in removing microplastics from urban runoff: A review. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 411). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137197>
- García-Terán, C., Tejero-Monzón, I., & Gil-Díaz, J. L. (2019). Sustainable urban drainage systems: A tool to adapt combined sewer systems to climate change. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Municipal Engineer*, 172(3), 175–184. <https://doi.org/10.1680/jmuen.17.00035>
- Garzón, A. M., & Trivales, A. M. (2020). *Diseño de piloto de sistema urbano de drenaje sostenible - Subs del tipo de zona de bioretención para la implementación de la investigación piloto de Suds interinstitucional Unicolmayor UCC-ECC*. <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/fa4ff488-0978-4aed-a4be-acbbeda20d78/content>
- Gonzalez, J. G., Sánchez, C. E., & Medina, Y. P. (2023). *Metodología para diseño de Sistemas Urbanos De Drenajes Sostenibles en vías urbanas*. 4, 66–78. <https://rcc.cujae.edu.cu/index.php/rcc/article/view/155>
- Hansen, R., & Pauleit, S. (2014). From multifunctionality to multiple ecosystem services? A conceptual framework for multifunctionality in green infrastructure planning for Urban Areas. *Ambio*, 43(4), 516–529. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0510-2>
- Hidalgo, A. E. (2019). *Análisis hidrológico para el control de inundaciones mediante la aplicación de sistemas urbanos de drenaje sostenible, en el Cantón Machala*. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15004>

- Humphrey, J., Rowett, C., Tyers, J., Gregson, M., & Comber, S. (2023). Are sustainable drainage systems (SuDS) effective at retaining dissolved trace elements? *Environmental Technology (United Kingdom)*, 44(10), 1450–1463. <https://doi.org/10.1080/09593330.2021.2004454>
- INAMHI. (2015). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación*.  
[https://www.inamhi.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO\\_DE\\_INTENSIDADES\\_V\\_FINAL.pdf](https://www.inamhi.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO_DE_INTENSIDADES_V_FINAL.pdf)
- Javadinejad, S. (2022). Causes and consequences of floods: flash floods, urban floods, river floods and coastal floods. *Resources Environment and Information Engineering*, 4(1), 156–166. <https://doi.org/10.25082/REIE.2022.01.002>
- Kia, A., Delens, J. M., Wong, H. S., & Cheeseman, C. R. (2021). Structural and hydrological design of permeable concrete pavements. *Case Studies in Construction Materials*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00564>
- López-González, B. G., Camacho, A. D., Martínez-Rodríguez, M. C., & Marcelin- Aranda, M. (2020). Techos verdes: una estrategia sustentable. *Revista Tecnología En Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v33i3.4389>
- Mmachaka, T., Nel, M. A., Snow, B., & Adams, J. B. (2023). Reduction in pollution load to an urban estuary using a sustainable drainage system treatment train. *Marine Pollution Bulletin*, 194. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115378>
- Morales, A. P., Guirado, S. G., & García, A. Q. (2021). Do we all stand equally towards the flood? Analysis of social vulnerability in the Spanish Mediterranean coast. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 88. <https://doi.org/10.21138/BAGE.2970>

- Ochoa-Tocachi, B. F. (2020). *Impactos de las zanjas de infiltración en el agua y los suelos: ¿Qué sabemos?* <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26701.87528/1>
- Paredes, D. (2018). Hydraulic analysis of urban drainage systems with conventional solutions and sustainable technologies: Case study in Quito, Ecuador. *Journal of Water Management Modeling*, 2018. <https://doi.org/10.14796/JWMM.C440>
- Rivera, Ú., Saturnino, J., Dallatorre, D., Académico Juan Manuel Zaldívar-Cruz José Saturnino Úbeda Rivera, E., Yader Delgado Dallatorre, N., & Editor Académico Juan Manuel Zaldívar-Cruz Colegio de Postgraduados, N. (2018). La infiltración del agua en los suelos y componentes artificiales y materia orgánica que se utilizan en ellos para la agricultura. *Periodicidad: Semestral*, 4. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v4i7.6299>
- Sabdy Alejandra, M.-C., & Jesús Enrique, E.-C. (2022). *Metodología para la evaluación de un sistema urbano de drenaje sostenible en vías de Esmeraldas*. <https://doi.org/10.46296/yc.v6i11edespsep.0220>
- Saraguro, G. M., Sánchez, C. E., & Solano de la Sala, C. A. (2023). Aplicación de SUDS para el control del riesgo de inundaciones en vías urbanas. *Revista Ciencia y Contrucción*, 3, 68–82. <https://rcc.cujae.edu.cu/index.php/rcc/article/view/209>
- Serrano, S., Reisancho, A., Lizano, R., Borbor-Córdova, M., & Stewart-Ibarra, A. (2016). Análisis de inundaciones costeras por precipitaciones intensas, cambio climático y fenómeno de El niño. caso de estudio. Machala. *La Granja*, 24(2), 53–68. <https://doi.org/10.17163/lgr.n24.2016.05>
- Syedashraf, O., Bottacin-Busolin, A., & Harou, J. J. (2021). Many-Objective Optimization of Sustainable Drainage Systems in Urban Areas with Different Surface Slopes. *Water Resources Management*, 35(8), 2449–2464. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02840-4>

- Singh, A., Sarma, A. K., & Hack, J. (2020). Cost-Effective Optimization of Nature-Based Solutions for Reducing Urban Floods Considering Limited Space Availability. *Environmental Processes*, 7(1), 297–319. <https://doi.org/10.1007/s40710-019-00420-8>
- Taghizadeh, S., Khani, S., & Rajaei, T. (2021). Hybrid SWMM and particle swarm optimization model for urban runoff water quality control by using green infrastructures (LID-BMPs). *Urban Forestry and Urban Greening*, 60. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127032>
- Vaz, I. C. M., Ghisi, E., & Thives, L. P. (2021). Stormwater harvested from permeable pavements as a means to save potable water in buildings. *Water (Switzerland)*, 13(14). <https://doi.org/10.3390/w13141896>
- Vidal Menco, D. de J. (2023). *Evaluación de cambios en la Repuesta Hidrológica de la Cuenca del Arroyo Siape mediante la implementación de techos verdes*. <https://hdl.handle.net/11323/10769>
- Vijayaraghavan, K. (2016). Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 57, pp. 740–752). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.119>
- Wang, L., Cui, S., Tang, J., Fang, L., Fang, X., Shrestha, S., Manandhar, B., Huang, J., & Nitivattananon, V. (2023). Riverine flood risk assessment with a combined model chain in southeastern China. *Ecological Indicators*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110686>
- Wang, W., Chen, L., & Xu, C. Y. (2021). Hydrological modeling in water cycle processes. In *Water (Switzerland)* (Vol. 13, Issue 14). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/w13141882>

Wang, Z., Timlin, D., Kouznetsov, M., Fleisher, D., Li, S., Tully, K., & Reddy, V. (2020). Coupled model of surface runoff and surface-subsurface water movement. *Advances in Water Resources*, 137. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.103499>



## **8. Anexos**

# **ANEXO 1. CURVAS IDF HIETOGRAMAS**

Intensidades máximas de 24 horas

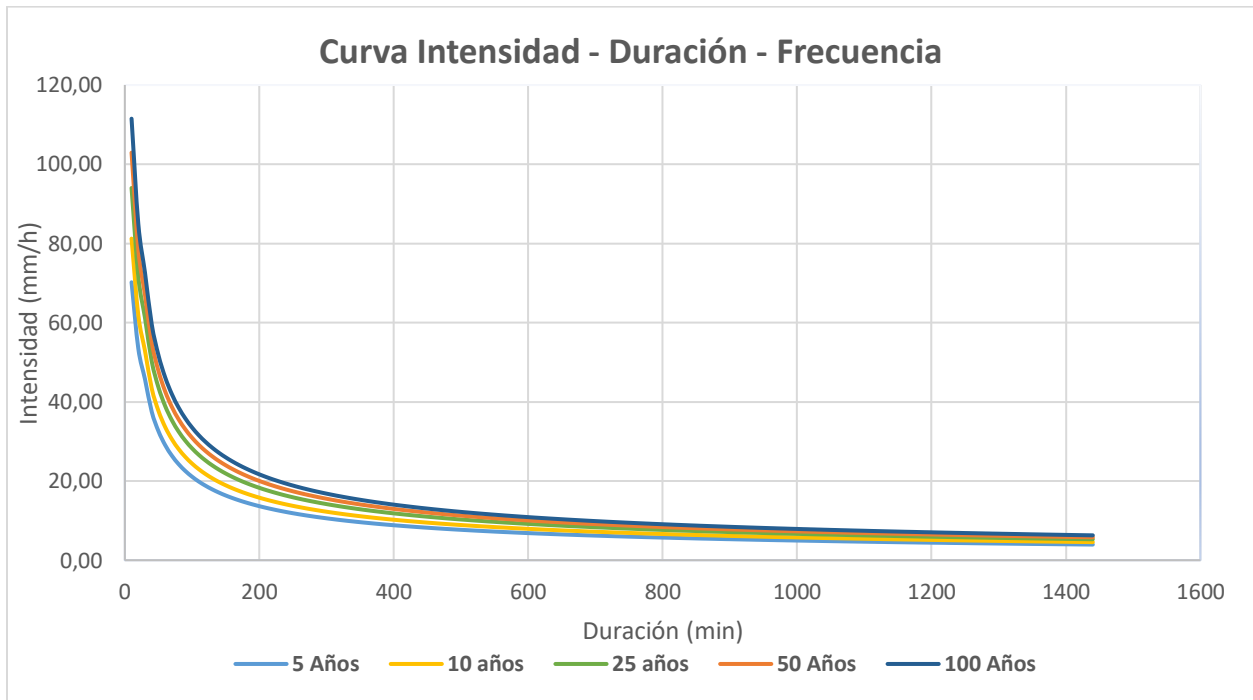
Minutos	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100
	4,01	4,64	5,37	5,88	6,37
10	70,19	81,22	93,99	102,92	111,50
20	53,52	61,93	71,67	78,48	85,02
30	45,67	52,84	61,16	66,97	72,55
40	37,49	43,38	50,20	54,97	59,55
50	32,59	37,71	43,64	47,78	51,77
60	29,06	33,63	38,92	42,62	46,17
70	26,38	30,53	35,33	38,69	41,91
80	24,26	28,08	32,49	35,58	38,54
90	22,53	26,07	30,18	33,04	35,80
100	21,09	24,41	28,25	30,93	33,51
110	19,87	22,99	26,61	29,13	31,56
120	18,81	21,77	25,19	27,58	29,88
130	17,89	20,70	23,96	26,23	28,42
140	17,08	19,76	22,87	25,04	27,13
150	16,35	18,92	21,90	23,98	25,98
160	15,70	18,17	21,03	23,03	24,95
170	15,12	17,49	20,25	22,17	24,02
180	14,59	16,88	19,53	21,39	23,17
190	14,10	16,31	18,88	20,67	22,40
200	13,65	15,80	18,28	20,02	21,69
210	13,24	15,32	17,73	19,41	21,03
220	12,86	14,88	17,22	18,86	20,43
230	12,51	14,47	16,75	18,34	19,87
240	12,18	14,09	16,31	17,85	19,34
250	11,87	13,73	15,89	17,40	18,85
260	11,58	13,40	15,51	16,98	18,39
270	11,31	13,09	15,14	16,58	17,96
280	11,05	12,79	14,80	16,21	17,56
290	10,81	12,51	14,48	15,85	17,18
300	10,58	12,25	14,17	15,52	16,81
310	10,37	12,00	13,89	15,20	16,47
320	10,16	11,76	13,61	14,90	16,15
330	9,97	11,54	13,35	14,62	15,84
340	9,79	11,32	13,10	14,35	15,54
350	9,61	11,12	12,87	14,09	15,26
360	9,44	10,92	12,64	13,84	15,00
370	9,28	10,74	12,43	13,61	14,74
380	9,13	10,56	12,22	13,38	14,50

390	8,98	10,39	12,02	13,16	14,26
400	8,84	10,22	11,83	12,96	14,04
410	8,70	10,07	11,65	12,76	13,82
420	8,57	9,92	11,48	12,57	13,61
430	8,44	9,77	11,31	12,38	13,41
440	8,32	9,63	11,15	12,20	13,22
450	8,21	9,50	10,99	12,03	13,04
460	8,09	9,37	10,84	11,87	12,86
470	7,99	9,24	10,69	11,71	12,69
480	7,88	9,12	10,55	11,56	12,52
490	7,78	9,00	10,42	11,41	12,36
500	7,68	8,89	10,29	11,26	12,20
510	7,59	8,78	10,16	11,12	12,05
520	7,49	8,67	10,04	10,99	11,91
530	7,41	8,57	9,92	10,86	11,76
540	7,32	8,47	9,80	10,73	11,63
550	7,24	8,37	9,69	10,61	11,49
560	7,15	8,28	9,58	10,49	11,36
570	7,08	8,19	9,47	10,37	11,24
580	7,00	8,10	9,37	10,26	11,12
590	6,92	8,01	9,27	10,15	11,00
600	6,85	7,93	9,17	10,05	10,88
610	6,78	7,85	9,08	9,94	10,77
620	6,71	7,77	8,99	9,84	10,66
630	6,64	7,69	8,90	9,74	10,55
640	6,58	7,61	8,81	9,65	10,45
650	6,52	7,54	8,73	9,55	10,35
660	6,45	7,47	8,64	9,46	10,25
670	6,39	7,40	8,56	9,37	10,15
680	6,33	7,33	8,48	9,29	10,06
690	6,28	7,26	8,40	9,20	9,97
700	6,22	7,20	8,33	9,12	9,88
710	6,16	7,13	8,25	9,04	9,79
720	6,11	7,07	8,18	8,96	9,71
730	6,06	7,01	8,11	8,88	9,62
740	6,01	6,95	8,04	8,81	9,54
750	5,96	6,89	7,98	8,73	9,46
760	5,91	6,83	7,91	8,66	9,38
770	5,86	6,78	7,85	8,59	9,31
780	5,81	6,72	7,78	8,52	9,23
790	5,76	6,67	7,72	8,45	9,16
800	5,72	6,62	7,66	8,39	9,09
810	5,67	6,57	7,60	8,32	9,01
820	5,63	6,52	7,54	8,26	8,95
830	5,59	6,47	7,48	8,19	8,88

840	5,55	6,42	7,43	8,13	8,81
850	5,51	6,37	7,37	8,07	8,75
860	5,47	6,32	7,32	8,01	8,68
870	5,43	6,28	7,27	7,96	8,62
880	5,39	6,23	7,21	7,90	8,56
890	5,35	6,19	7,16	7,84	8,50
900	5,31	6,15	7,11	7,79	8,44
910	5,28	6,10	7,06	7,74	8,38
920	5,24	6,06	7,02	7,68	8,32
930	5,20	6,02	6,97	7,63	8,27
940	5,17	5,98	6,92	7,58	8,21
950	5,13	5,94	6,88	7,53	8,16
960	5,10	5,90	6,83	7,48	8,10
970	5,07	5,86	6,79	7,43	8,05
980	5,04	5,83	6,74	7,38	8,00
990	5,00	5,79	6,70	7,34	7,95
1000	4,97	5,75	6,66	7,29	7,90
1010	4,94	5,72	6,62	7,25	7,85
1020	4,91	5,68	6,58	7,20	7,80
1030	4,88	5,65	6,54	7,16	7,75
1040	4,85	5,61	6,50	7,11	7,71
1050	4,82	5,58	6,46	7,07	7,66
1060	4,79	5,55	6,42	7,03	7,61
1070	4,77	5,51	6,38	6,99	7,57
1080	4,74	5,48	6,34	6,95	7,53
1090	4,71	5,45	6,31	6,91	7,48
1100	4,68	5,42	6,27	6,87	7,44
1110	4,66	5,39	6,24	6,83	7,40
1120	4,63	5,36	6,20	6,79	7,36
1130	4,60	5,33	6,17	6,75	7,31
1140	4,58	5,30	6,13	6,72	7,27
1150	4,55	5,27	6,10	6,68	7,23
1160	4,53	5,24	6,07	6,64	7,20
1170	4,51	5,21	6,03	6,61	7,16
1180	4,48	5,19	6,00	6,57	7,12
1190	4,46	5,16	5,97	6,54	7,08
1200	4,43	5,13	5,94	6,50	7,04
1210	4,41	5,10	5,91	6,47	7,01
1220	4,39	5,08	5,88	6,44	6,97
1230	4,37	5,05	5,85	6,40	6,94
1240	4,34	5,03	5,82	6,37	6,90
1250	4,32	5,00	5,79	6,34	6,87
1260	4,30	4,98	5,76	6,31	6,83
1270	4,28	4,95	5,73	6,28	6,80
1280	4,26	4,93	5,70	6,24	6,76

1290	4,24	4,90	5,67	6,21	6,73
1300	4,22	4,88	5,65	6,18	6,70
1310	4,20	4,86	5,62	6,15	6,67
1320	4,18	4,83	5,59	6,12	6,64
1330	4,16	4,81	5,57	6,10	6,60
1340	4,14	4,79	5,54	6,07	6,57
1350	4,12	4,77	5,52	6,04	6,54
1360	4,10	4,74	5,49	6,01	6,51
1370	4,08	4,72	5,46	5,98	6,48
1380	4,06	4,70	5,44	5,96	6,45
1390	4,04	4,68	5,42	5,93	6,42
1400	4,03	4,66	5,39	5,90	6,39
1410	4,01	4,64	5,37	5,88	6,37
1420	3,99	4,62	5,34	5,85	6,34
1430	3,97	4,60	5,32	5,82	6,31
1440	3,95	4,58	5,30	5,80	6,28

Fuente: *Elaboración propia*



Fuente: *Elaboración propia*

### Hietograma de precipitación – Periodo de retorno de 5 años

Intervalos de tiempo (min)		10				
Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
10	70,19	11,70	11,70	70,19	0,25	1,48
20	53,52	17,84	6,14	36,85	0,25	1,50
30	45,67	22,83	4,99	29,97	0,25	1,51
40	37,49	24,99	2,16	12,94	0,25	1,52
50	32,59	27,16	2,17	12,99	0,26	1,54
60	29,06	29,06	1,91	11,45	0,26	1,55
70	26,38	30,78	1,72	10,30	0,26	1,57
80	24,26	32,35	1,57	9,42	0,26	1,58
90	22,53	33,80	1,45	8,70	0,27	1,60
100	21,09	35,15	1,35	8,12	0,27	1,61
110	19,87	36,42	1,27	7,62	0,27	1,63
120	18,81	37,62	1,20	7,20	0,27	1,65
130	17,89	38,76	1,14	6,83	0,28	1,66
140	17,08	39,85	1,08	6,51	0,28	1,68
150	16,35	40,88	1,04	6,22	0,28	1,70
160	15,70	41,88	0,99	5,97	0,29	1,72
170	15,12	42,83	0,96	5,74	0,29	1,74
180	14,59	43,76	0,92	5,53	0,29	1,76
190	14,10	44,65	0,89	5,34	0,30	1,78
200	13,65	45,51	0,86	5,17	0,30	1,80
210	13,24	46,34	0,83	5,01	0,30	1,82
220	12,86	47,15	0,81	4,86	0,31	1,85
230	12,51	47,94	0,79	4,72	0,31	1,87
240	12,18	48,70	0,77	4,60	0,32	1,89
250	11,87	49,45	0,75	4,48	0,32	1,92
260	11,58	50,18	0,73	4,37	0,32	1,94
270	11,31	50,89	0,71	4,26	0,33	1,97
280	11,05	51,58	0,69	4,16	0,33	2,00
290	10,81	52,26	0,68	4,07	0,34	2,03
300	10,58	52,92	0,66	3,98	0,34	2,06
310	10,37	53,57	0,65	3,90	0,35	2,09
320	10,16	54,21	0,64	3,82	0,35	2,12
330	9,97	54,84	0,62	3,75	0,36	2,16
340	9,79	55,45	0,61	3,68	<b>0,37</b>	2,19

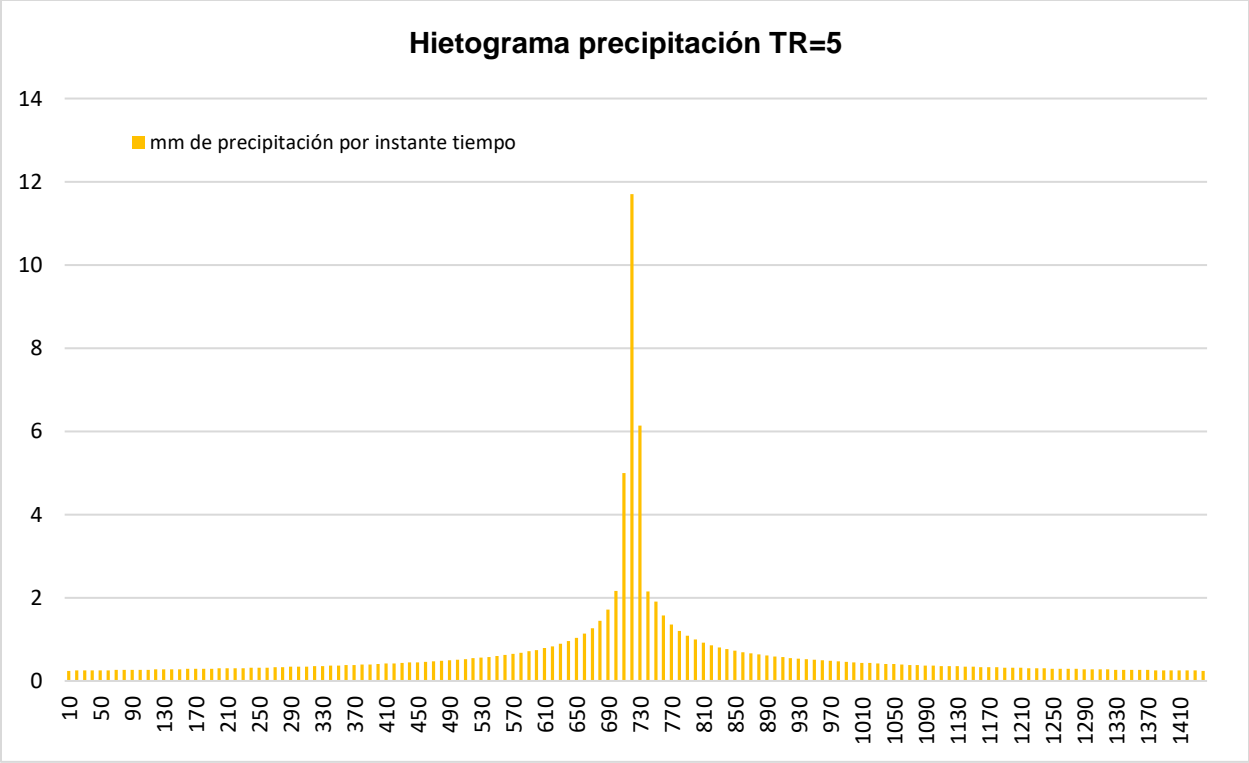
350	9,61	56,05	0,60	3,61	0,37	2,23
360	9,44	56,64	0,59	3,55	0,38	2,27
370	9,28	57,22	0,58	3,49	0,38	2,31
380	9,13	57,79	0,57	3,43	0,39	2,35
390	8,98	58,36	0,56	3,37	0,40	2,39
400	8,84	58,91	0,55	3,32	0,41	2,44
410	8,70	59,45	0,54	3,27	0,41	2,49
420	8,57	59,99	0,54	3,22	0,42	2,54
430	8,44	60,52	0,53	3,17	0,43	2,59
440	8,32	61,04	0,52	3,12	0,44	2,65
450	8,21	61,55	0,51	3,08	0,45	2,71
460	8,09	62,06	0,51	3,04	0,46	2,77
470	7,99	62,56	0,50	2,99	0,47	2,84
480	7,88	63,05	0,49	2,95	0,49	2,92
490	7,78	63,53	0,49	2,92	0,50	2,99
500	7,68	64,01	0,48	2,88	0,51	3,08
510	7,59	64,49	0,47	2,84	0,53	3,17
520	7,49	64,96	0,47	2,81	0,54	3,27
530	7,41	65,42	0,46	2,77	0,56	3,37
540	7,32	65,88	0,46	2,74	0,58	3,49
550	7,24	66,33	0,45	2,71	0,60	3,61
560	7,15	66,77	0,45	2,68	0,62	3,75
570	7,08	67,21	0,44	2,65	0,65	3,90
580	7,00	67,65	0,44	2,62	0,68	4,07
590	6,92	68,08	0,43	2,59	0,71	4,26
600	6,85	68,51	0,43	2,56	0,75	4,48
610	6,78	68,93	0,42	2,54	0,79	4,72
620	6,71	69,35	0,42	2,51	0,83	5,01
630	6,64	69,77	0,41	2,49	0,89	5,34
640	6,58	70,18	0,41	2,46	0,96	5,74
650	6,52	70,58	0,41	2,44	1,04	6,22
660	6,45	70,99	0,40	2,41	1,14	6,83
670	6,39	71,39	0,40	2,39	1,27	7,62
680	6,33	71,78	0,39	2,37	1,45	8,70
690	6,28	72,17	0,39	2,35	1,72	10,30
700	6,22	72,56	0,39	2,33	2,17	12,99
710	6,16	72,94	0,38	2,31	4,99	29,97
720	6,11	73,32	0,38	2,29	11,70	70,19
730	6,06	73,70	0,38	2,27	6,14	36,85
740	6,01	74,08	0,37	2,25	2,16	12,94

750	5,96	74,45	0,37	2,23	1,91	11,45
760	5,91	74,82	0,37	2,21	1,57	9,42
770	5,86	75,18	0,37	2,19	1,35	8,12
780	5,81	75,54	0,36	2,17	1,20	7,20
790	5,76	75,90	0,36	2,16	1,08	6,51
800	5,72	76,26	0,36	2,14	0,99	5,97
810	5,67	76,61	0,35	2,12	0,92	5,53
820	5,63	76,96	0,35	2,11	0,86	5,17
830	5,59	77,31	0,35	2,09	0,81	4,86
840	5,55	77,66	0,35	2,07	0,77	4,60
850	5,51	78,00	0,34	2,06	0,73	4,37
860	5,47	78,34	0,34	2,04	0,69	4,16
870	5,43	78,68	0,34	2,03	0,66	3,98
880	5,39	79,01	0,34	2,01	0,64	3,82
890	5,35	79,35	0,33	2,00	0,61	3,68
900	5,31	79,68	0,33	1,99	0,59	3,55
910	5,28	80,01	0,33	1,97	0,57	3,43
920	5,24	80,33	0,33	1,96	0,55	3,32
930	5,20	80,66	0,32	1,94	0,54	3,22
940	5,17	80,98	0,32	1,93	0,52	3,12
950	5,13	81,30	0,32	1,92	0,51	3,04
960	5,10	81,62	0,32	1,91	0,49	2,95
970	5,07	81,93	0,32	1,89	0,48	2,88
980	5,04	82,25	0,31	1,88	0,47	2,81
990	5,00	82,56	0,31	1,87	0,46	2,74
1000	4,97	82,87	0,31	1,86	0,45	2,68
1010	4,94	83,17	0,31	1,85	0,44	2,62
1020	4,91	83,48	0,31	1,83	0,43	2,56
1030	4,88	83,78	0,30	1,82	0,42	2,51
1040	4,85	84,09	0,30	1,81	0,41	2,46
1050	4,82	84,39	0,30	1,80	0,40	2,41
1060	4,79	84,68	0,30	1,79	0,39	2,37
1070	4,77	84,98	0,30	1,78	0,39	2,33
1080	4,74	85,28	0,29	1,77	0,38	2,29
1090	4,71	85,57	0,29	1,76	0,37	2,25
1100	4,68	85,86	0,29	1,75	0,37	2,21
1110	4,66	86,15	0,29	1,74	0,36	2,17
1120	4,63	86,44	0,29	1,73	0,36	2,14
1130	4,60	86,73	0,29	1,72	0,35	2,11
1140	4,58	87,01	0,29	1,71	0,35	2,07



1150	4,55	87,29	0,28	1,70	0,34	2,04
1160	4,53	87,58	0,28	1,69	0,34	2,01
1170	4,51	87,86	0,28	1,68	0,33	1,99
1180	4,48	88,13	0,28	1,67	0,33	1,96
1190	4,46	88,41	0,28	1,66	0,32	1,93
1200	4,43	88,69	0,28	1,66	0,32	1,91
1210	4,41	88,96	0,27	1,65	0,31	1,88
1220	4,39	89,24	0,27	1,64	0,31	1,86
1230	4,37	89,51	0,27	1,63	0,31	1,83
1240	4,34	89,78	0,27	1,62	0,30	1,81
1250	4,32	90,05	0,27	1,61	0,30	1,79
1260	4,30	90,31	0,27	1,61	0,29	1,77
1270	4,28	90,58	0,27	1,60	0,29	1,75
1280	4,26	90,85	0,26	1,59	0,29	1,73
1290	4,24	91,11	0,26	1,58	0,29	1,71
1300	4,22	91,37	0,26	1,57	0,28	1,69
1310	4,20	91,63	0,26	1,57	0,28	1,67
1320	4,18	91,89	0,26	1,56	0,28	1,66
1330	4,16	92,15	0,26	1,55	0,27	1,64
1340	4,14	92,41	0,26	1,54	0,27	1,62
1350	4,12	92,66	0,26	1,54	0,27	1,61
1360	4,10	92,92	0,26	1,53	0,26	1,59
1370	4,08	93,17	0,25	1,52	0,26	1,57
1380	4,06	93,43	0,25	1,52	0,26	1,56
1390	4,04	93,68	0,25	1,51	0,26	1,54
1400	4,03	93,93	0,25	1,50	0,26	1,53
1410	4,01	94,18	0,25	1,50	0,25	1,52
1420	3,99	94,43	0,25	1,49	0,25	1,50
1430	3,97	94,67	0,25	1,48	0,25	1,49
1440	3,95	94,92	0,25	1,48	0,25	1,48

Fuente: *Elaboración propia*



Fuente: *Elaboración propia*

### Hietograma de precipitación – Periodo de retorno de 10 años

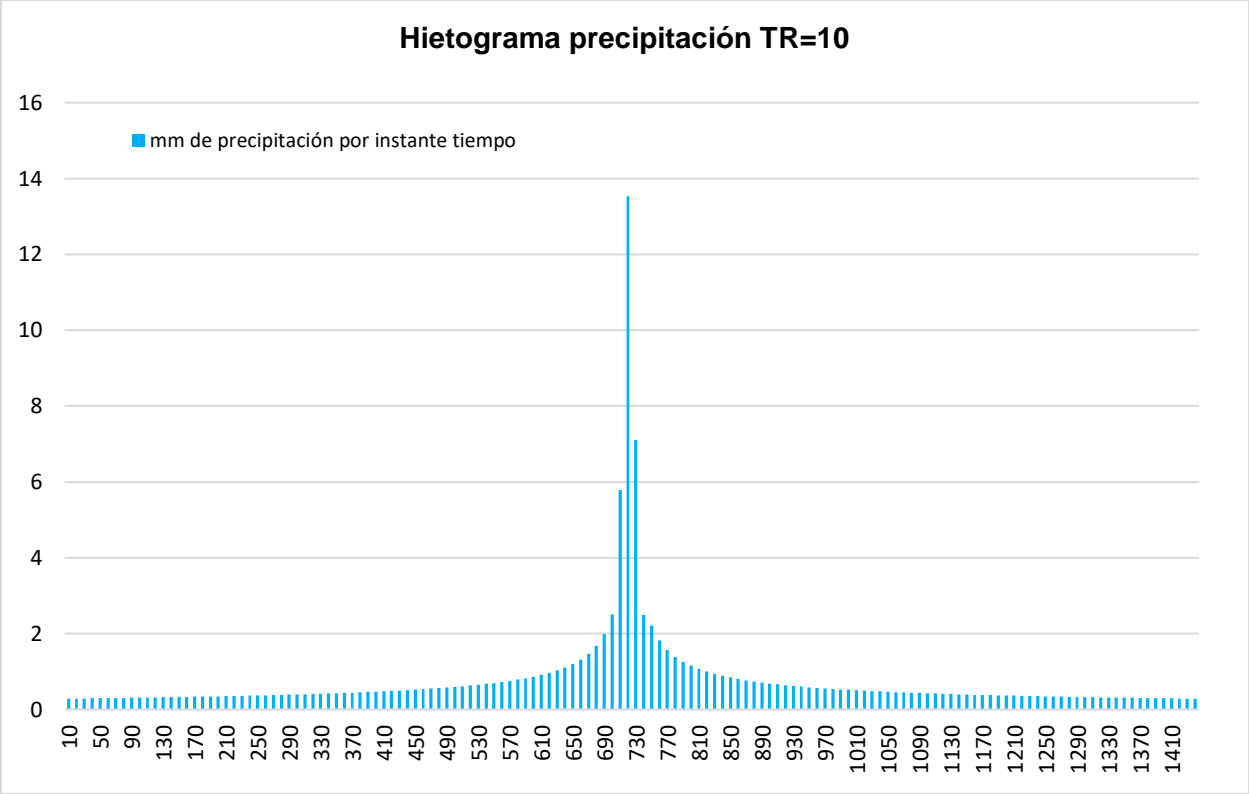
Intervalos de tiempo (min)		10				
Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
10	81,22	13,54	13,54	81,22	0,29	1,72
20	61,93	20,64	7,11	42,64	0,29	1,73
30	52,84	26,42	5,78	34,68	0,29	1,75
40	43,38	28,92	2,50	14,97	0,29	1,76
50	37,71	31,42	2,51	15,03	0,30	1,78
60	33,63	33,63	2,21	13,25	0,30	1,80
70	30,53	35,62	1,99	11,92	0,30	1,81
80	28,08	37,43	1,82	10,90	0,31	1,83
90	26,07	39,11	1,68	10,07	0,31	1,85
100	24,41	40,68	1,57	9,39	0,31	1,87
110	22,99	42,15	1,47	8,82	0,31	1,89
120	21,77	43,54	1,39	8,33	0,32	1,91
130	20,70	44,85	1,32	7,90	0,32	1,93
140	19,76	46,11	1,26	7,53	0,32	1,95
150	18,92	47,31	1,20	7,20	0,33	1,97
160	18,17	48,46	1,15	6,90	0,33	1,99
170	17,49	49,56	1,11	6,64	0,34	2,01
180	16,88	50,63	1,07	6,40	0,34	2,04
190	16,31	51,66	1,03	6,18	0,34	2,06
200	15,80	52,66	1,00	5,98	0,35	2,08
210	15,32	53,62	0,97	5,79	0,35	2,11
220	14,88	54,56	0,94	5,62	0,36	2,14
230	14,47	55,47	0,91	5,46	0,36	2,16
240	14,09	56,36	0,89	5,32	0,37	2,19
250	13,73	57,22	0,86	5,18	0,37	2,22
260	13,40	58,06	0,84	5,05	0,37	2,25
270	13,09	58,88	0,82	4,93	0,38	2,28
280	12,79	59,69	0,80	4,82	0,39	2,31
290	12,51	60,47	0,79	4,71	0,39	2,35
300	12,25	61,24	0,77	4,61	0,40	2,38
310	12,00	61,99	0,75	4,51	0,40	2,42

320	11,76	62,73	0,74	4,42	0,41	2,45
330	11,54	63,45	0,72	4,34	0,42	2,49
340	11,32	64,16	0,71	4,26	<b>0,42</b>	2,53
350	11,12	64,86	0,70	4,18	0,43	2,58
360	10,92	65,54	0,68	4,10	0,44	2,62
370	10,74	66,21	0,67	4,03	0,44	2,67
380	10,56	66,87	0,66	3,97	0,45	2,72
390	10,39	67,52	0,65	3,90	0,46	2,77
400	10,22	68,16	0,64	3,84	0,47	2,82
410	10,07	68,79	0,63	3,78	0,48	2,88
420	9,92	69,41	0,62	3,72	0,49	2,94
430	9,77	70,03	0,61	3,67	0,50	3,00
440	9,63	70,63	0,60	3,61	0,51	3,07
450	9,50	71,22	0,59	3,56	0,52	3,14
460	9,37	71,81	0,59	3,51	0,54	3,21
470	9,24	72,38	0,58	3,46	0,55	3,29
480	9,12	72,95	0,57	3,42	0,56	3,37
490	9,00	73,52	0,56	3,37	0,58	3,46
500	8,89	74,07	0,56	3,33	0,59	3,56
510	8,78	74,62	0,55	3,29	0,61	3,67
520	8,67	75,16	0,54	3,25	0,63	3,78
530	8,57	75,70	0,54	3,21	0,65	3,90
540	8,47	76,22	0,53	3,17	0,67	4,03
550	8,37	76,75	0,52	3,14	0,70	4,18
560	8,28	77,26	0,52	3,10	0,72	4,34
570	8,19	77,77	0,51	3,07	0,75	4,51
580	8,10	78,28	0,51	3,03	0,79	4,71
590	8,01	78,78	0,50	3,00	0,82	4,93
600	7,93	79,27	0,49	2,97	0,86	5,18
610	7,85	79,76	0,49	2,94	0,91	5,46
620	7,77	80,25	0,48	2,91	0,97	5,79
630	7,69	80,73	0,48	2,88	1,03	6,18
640	7,61	81,20	0,47	2,85	1,11	6,64
650	7,54	81,67	0,47	2,82	1,20	7,20
660	7,47	82,14	0,47	2,79	1,32	7,90
670	7,40	82,60	0,46	2,77	1,47	8,82
680	7,33	83,06	0,46	2,74	1,68	10,07
690	7,26	83,51	0,45	2,72	1,99	11,92
700	7,20	83,96	0,45	2,69	2,51	15,03
710	7,13	84,40	0,44	2,67	5,78	34,68

720	7,07	84,84	0,44	2,64	13,54	81,22
730	7,01	85,28	0,44	2,62	7,11	42,64
740	6,95	85,71	0,43	2,60	2,50	14,97
750	6,89	86,14	0,43	2,58	2,21	13,25
760	6,83	86,57	0,43	2,56	1,82	10,90
770	6,78	86,99	0,42	2,53	1,57	9,39
780	6,72	87,41	0,42	2,51	1,39	8,33
790	6,67	87,83	0,42	2,49	1,26	7,53
800	6,62	88,24	0,41	2,47	1,15	6,90
810	6,57	88,65	0,41	2,45	1,07	6,40
820	6,52	89,05	0,41	2,44	1,00	5,98
830	6,47	89,46	0,40	2,42	0,94	5,62
840	6,42	89,86	0,40	2,40	0,89	5,32
850	6,37	90,25	0,40	2,38	0,84	5,05
860	6,32	90,65	0,39	2,36	0,80	4,82
870	6,28	91,04	0,39	2,35	0,77	4,61
880	6,23	91,43	0,39	2,33	0,74	4,42
890	6,19	91,81	0,39	2,31	0,71	4,26
900	6,15	92,20	0,38	2,30	0,68	4,10
910	6,10	92,58	0,38	2,28	0,66	3,97
920	6,06	92,95	0,38	2,27	0,64	3,84
930	6,02	93,33	0,37	2,25	0,62	3,72
940	5,98	93,70	0,37	2,23	0,60	3,61
950	5,94	94,07	0,37	2,22	0,59	3,51
960	5,90	94,44	0,37	2,21	0,57	3,42
970	5,86	94,80	0,37	2,19	0,56	3,33
980	5,83	95,17	0,36	2,18	0,54	3,25
990	5,79	95,53	0,36	2,16	0,53	3,17
1000	5,75	95,89	0,36	2,15	0,52	3,10
1010	5,72	96,24	0,36	2,14	0,51	3,03
1020	5,68	96,59	0,35	2,12	0,49	2,97
1030	5,65	96,95	0,35	2,11	0,48	2,91
1040	5,61	97,30	0,35	2,10	0,47	2,85
1050	5,58	97,64	0,35	2,08	0,47	2,79
1060	5,55	97,99	0,35	2,07	0,46	2,74
1070	5,51	98,33	0,34	2,06	0,45	2,69
1080	5,48	98,67	0,34	2,05	0,44	2,64
1090	5,45	99,01	0,34	2,04	0,43	2,60
1100	5,42	99,35	0,34	2,02	0,43	2,56
1110	5,39	99,69	0,34	2,01	0,42	2,51

1120	5,36	100,02	0,33	2,00	0,41	2,47
1130	5,33	100,35	0,33	1,99	0,41	2,44
1140	5,30	100,68	0,33	1,98	0,40	2,40
1150	5,27	101,01	0,33	1,97	0,39	2,36
1160	5,24	101,33	0,33	1,96	0,39	2,33
1170	5,21	101,66	0,32	1,95	0,38	2,30
1180	5,19	101,98	0,32	1,94	0,38	2,27
1190	5,16	102,30	0,32	1,93	0,37	2,23
1200	5,13	102,62	0,32	1,92	0,37	2,21
1210	5,10	102,94	0,32	1,91	0,36	2,18
1220	5,08	103,26	0,32	1,90	0,36	2,15
1230	5,05	103,57	0,31	1,89	0,35	2,12
1240	5,03	103,88	0,31	1,88	0,35	2,10
1250	5,00	104,19	0,31	1,87	0,35	2,07
1260	4,98	104,50	0,31	1,86	0,34	2,05
1270	4,95	104,81	0,31	1,85	0,34	2,02
1280	4,93	105,12	0,31	1,84	0,33	2,00
1290	4,90	105,42	0,31	1,83	0,33	1,98
1300	4,88	105,73	0,30	1,82	0,33	1,96
1310	4,86	106,03	0,30	1,81	0,32	1,94
1320	4,83	106,33	0,30	1,80	0,32	1,92
1330	4,81	106,63	0,30	1,80	0,32	1,90
1340	4,79	106,93	0,30	1,79	0,31	1,88
1350	4,77	107,22	0,30	1,78	0,31	1,86
1360	4,74	107,52	0,30	1,77	0,31	1,84
1370	4,72	107,81	0,29	1,76	0,30	1,82
1380	4,70	108,10	0,29	1,75	0,30	1,80
1390	4,68	108,40	0,29	1,75	0,30	1,79
1400	4,66	108,69	0,29	1,74	0,30	1,77
1410	4,64	108,97	0,29	1,73	0,29	1,75
1420	4,62	109,26	0,29	1,72	0,29	1,74
1430	4,60	109,55	0,29	1,72	0,29	1,72
1440	4,58	109,83	0,28	1,71	0,28	1,71

Fuente: *Elaboración propia*



Fuente: *Elaboración propia*

### Hietograma de precipitación – Periodo de retorno de 25 años

Intervalos de tiempo (min)		10				
Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
10	93,99	15,67	15,67	93,99	0,33	1,99
20	71,67	23,89	8,22	49,35	0,33	2,00
30	61,16	30,58	6,69	40,13	0,34	2,02
40	50,20	33,47	2,89	17,33	0,34	2,04
50	43,64	36,37	2,90	17,40	0,34	2,06
60	38,92	38,92	2,55	15,33	0,35	2,08
70	35,33	41,22	2,30	13,80	0,35	2,10
80	32,49	43,32	2,10	12,61	0,35	2,12
90	30,18	45,27	1,94	11,66	0,36	2,14
100	28,25	47,08	1,81	10,87	0,36	2,16
110	26,61	48,78	1,70	10,21	0,36	2,18
120	25,19	50,38	1,61	9,64	0,37	2,21
130	23,96	51,91	1,52	9,15	0,37	2,23
140	22,87	53,36	1,45	8,72	0,38	2,25
150	21,90	54,75	1,39	8,33	0,38	2,28
160	21,03	56,08	1,33	7,99	0,38	2,30
170	20,25	57,36	1,28	7,68	0,39	2,33
180	19,53	58,60	1,23	7,40	0,39	2,36
190	18,88	59,79	1,19	7,15	0,40	2,38
200	18,28	60,94	1,15	6,92	0,40	2,41
210	17,73	62,06	1,12	6,70	0,41	2,44
220	17,22	63,14	1,08	6,51	0,41	2,47
230	16,75	64,20	1,05	6,32	0,42	2,50
240	16,31	65,22	1,03	6,15	0,42	2,54
250	15,89	66,22	1,00	5,99	0,43	2,57
260	15,51	67,20	0,97	5,85	0,43	2,60
270	15,14	68,15	0,95	5,71	0,44	2,64
280	14,80	69,08	0,93	5,58	0,45	2,68
290	14,48	69,98	0,91	5,45	0,45	2,72
300	14,17	70,87	0,89	5,33	0,46	2,76
310	13,89	71,74	0,87	5,22	0,47	2,80
320	13,61	72,60	0,85	5,12	0,47	2,84
330	13,35	73,43	0,84	5,02	0,48	2,89



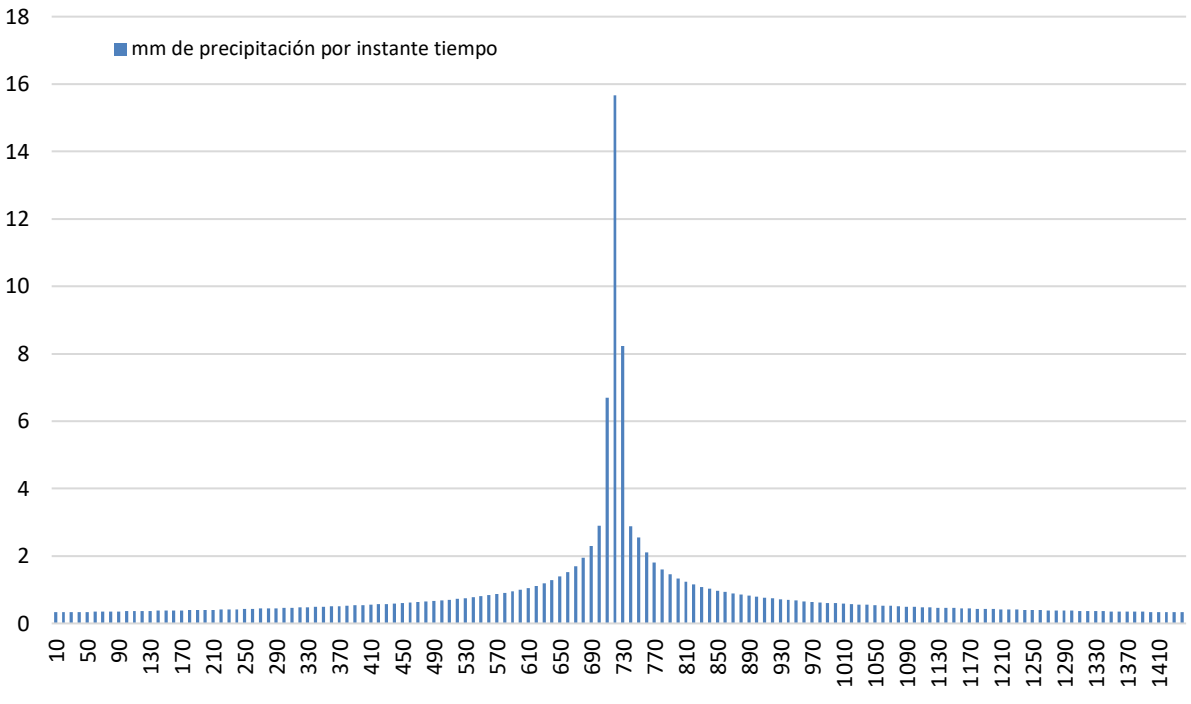
340	13,10	74,26	0,82	4,93	<b>0,49</b>	2,93
350	12,87	75,06	0,81	4,84	0,50	2,98
360	12,64	75,85	0,79	4,75	0,51	3,03
370	12,43	76,63	0,78	4,67	0,51	3,09
380	12,22	77,40	0,76	4,59	0,52	3,14
390	12,02	78,15	0,75	4,51	0,53	3,20
400	11,83	78,89	0,74	4,44	0,54	3,27
410	11,65	79,62	0,73	4,37	0,56	3,33
420	11,48	80,34	0,72	4,31	0,57	3,40
430	11,31	81,04	0,71	4,24	0,58	3,47
440	11,15	81,74	0,70	4,18	0,59	3,55
450	10,99	82,43	0,69	4,12	0,60	3,63
460	10,84	83,10	0,68	4,06	0,62	3,72
470	10,69	83,77	0,67	4,01	0,63	3,81
480	10,55	84,43	0,66	3,96	0,65	3,90
490	10,42	85,08	0,65	3,90	0,67	4,01
500	10,29	85,72	0,64	3,86	0,69	4,12
510	10,16	86,36	0,63	3,81	0,71	4,24
520	10,04	86,99	0,63	3,76	0,73	4,37
530	9,92	87,60	0,62	3,72	0,75	4,51
540	9,80	88,22	0,61	3,67	0,78	4,67
550	9,69	88,82	0,60	3,63	0,81	4,84
560	9,58	89,42	0,60	3,59	0,84	5,02
570	9,47	90,01	0,59	3,55	0,87	5,22
580	9,37	90,60	0,58	3,51	0,91	5,45
590	9,27	91,17	0,58	3,47	0,95	5,71
600	9,17	91,75	0,57	3,43	1,00	5,99
610	9,08	92,31	0,57	3,40	1,05	6,32
620	8,99	92,87	0,56	3,36	1,12	6,70
630	8,90	93,43	0,56	3,33	1,19	7,15
640	8,81	93,98	0,55	3,30	1,28	7,68
650	8,73	94,52	0,54	3,27	1,39	8,33
660	8,64	95,06	0,54	3,23	1,52	9,15
670	8,56	95,60	0,53	3,20	1,70	10,21
680	8,48	96,12	0,53	3,17	1,94	11,66
690	8,40	96,65	0,52	3,14	2,30	13,80
700	8,33	97,17	0,52	3,12	2,90	17,40
710	8,25	97,68	0,51	3,09	6,69	40,13
720	8,18	98,19	0,51	3,06	15,67	93,99
730	8,11	98,70	0,51	3,03	8,22	49,35

740	8,04	99,20	0,50	3,01	2,89	17,33
750	7,98	99,70	0,50	2,98	2,55	15,33
760	7,91	100,19	0,49	2,96	2,10	12,61
770	7,85	100,68	0,49	2,93	1,81	10,87
780	7,78	101,16	0,48	2,91	1,61	9,64
790	7,72	101,64	0,48	2,89	1,45	8,72
800	7,66	102,12	0,48	2,86	1,33	7,99
810	7,60	102,60	0,47	2,84	1,23	7,40
820	7,54	103,07	0,47	2,82	1,15	6,92
830	7,48	103,53	0,47	2,80	1,08	6,51
840	7,43	103,99	0,46	2,78	1,03	6,15
850	7,37	104,45	0,46	2,76	0,97	5,85
860	7,32	104,91	0,46	2,74	0,93	5,58
870	7,27	105,36	0,45	2,72	0,89	5,33
880	7,21	105,81	0,45	2,70	0,85	5,12
890	7,16	106,26	0,45	2,68	0,82	4,93
900	7,11	106,70	0,44	2,66	0,79	4,75
910	7,06	107,14	0,44	2,64	0,76	4,59
920	7,02	107,58	0,44	2,62	0,74	4,44
930	6,97	108,01	0,43	2,60	0,72	4,31
940	6,92	108,44	0,43	2,59	0,70	4,18
950	6,88	108,87	0,43	2,57	0,68	4,06
960	6,83	109,30	0,43	2,55	0,66	3,96
970	6,79	109,72	0,42	2,54	0,64	3,86
980	6,74	110,14	0,42	2,52	0,63	3,76
990	6,70	110,56	0,42	2,50	0,61	3,67
1000	6,66	110,97	0,41	2,49	0,60	3,59
1010	6,62	111,38	0,41	2,47	0,58	3,51
1020	6,58	111,79	0,41	2,46	0,57	3,43
1030	6,54	112,20	0,41	2,44	0,56	3,36
1040	6,50	112,60	0,40	2,43	0,55	3,30
1050	6,46	113,01	0,40	2,41	0,54	3,23
1060	6,42	113,40	0,40	2,40	0,53	3,17
1070	6,38	113,80	0,40	2,38	0,52	3,12
1080	6,34	114,20	0,39	2,37	0,51	3,06
1090	6,31	114,59	0,39	2,36	0,50	3,01
1100	6,27	114,98	0,39	2,34	0,49	2,96
1110	6,24	115,37	0,39	2,33	0,48	2,91
1120	6,20	115,75	0,39	2,32	0,48	2,86
1130	6,17	116,14	0,38	2,30	0,47	2,82

1140	6,13	116,52	0,38	2,29	0,46	2,78
1150	6,10	116,90	0,38	2,28	0,46	2,74
1160	6,07	117,28	0,38	2,27	0,45	2,70
1170	6,03	117,65	0,38	2,25	0,44	2,66
1180	6,00	118,03	0,37	2,24	0,44	2,62
1190	5,97	118,40	0,37	2,23	0,43	2,59
1200	5,94	118,77	0,37	2,22	0,43	2,55
1210	5,91	119,13	0,37	2,21	0,42	2,52
1220	5,88	119,50	0,37	2,19	0,41	2,49
1230	5,85	119,86	0,36	2,18	0,41	2,46
1240	5,82	120,23	0,36	2,17	0,40	2,43
1250	5,79	120,59	0,36	2,16	0,40	2,40
1260	5,76	120,94	0,36	2,15	0,39	2,37
1270	5,73	121,30	0,36	2,14	0,39	2,34
1280	5,70	121,66	0,35	2,13	0,39	2,32
1290	5,67	122,01	0,35	2,12	0,38	2,29
1300	5,65	122,36	0,35	2,11	0,38	2,27
1310	5,62	122,71	0,35	2,10	0,37	2,24
1320	5,59	123,06	0,35	2,09	0,37	2,22
1330	5,57	123,40	0,35	2,08	0,37	2,19
1340	5,54	123,75	0,34	2,07	0,36	2,17
1350	5,52	124,09	0,34	2,06	0,36	2,15
1360	5,49	124,43	0,34	2,05	0,35	2,13
1370	5,46	124,77	0,34	2,04	0,35	2,11
1380	5,44	125,11	0,34	2,03	0,35	2,09
1390	5,42	125,45	0,34	2,02	0,34	2,07
1400	5,39	125,78	0,34	2,01	0,34	2,05
1410	5,37	126,12	0,33	2,00	0,34	2,03
1420	5,34	126,45	0,33	1,99	0,34	2,01
1430	5,32	126,78	0,33	1,99	0,33	1,99
1440	5,30	127,11	0,33	1,98	0,33	1,98

Fuente: *Elaboración propia*

### Hietograma precipitación TR=25



### Hietograma de precipitación – Periodo de retorno de 50 años

Intervalos de tiempo (min)		10				
Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
10	102,92	17,15	17,15	102,92	0,36	2,17
20	78,48	26,16	9,01	54,03	0,37	2,19
30	66,97	33,48	7,32	43,94	0,37	2,21
40	54,97	36,65	3,16	18,97	0,37	2,23
50	47,78	39,82	3,18	19,05	0,38	2,25
60	42,62	42,62	2,80	16,79	0,38	2,28
70	38,69	45,14	2,52	15,11	0,38	2,30
80	35,58	47,44	2,30	13,81	0,39	2,32
90	33,04	49,56	2,13	12,76	0,39	2,34
100	30,93	51,55	1,98	11,90	0,39	2,37
110	29,13	53,41	1,86	11,17	0,40	2,39
120	27,58	55,17	1,76	10,55	0,40	2,42
130	26,23	56,84	1,67	10,02	0,41	2,44
140	25,04	58,43	1,59	9,54	0,41	2,47
150	23,98	59,95	1,52	9,12	0,42	2,49
160	23,03	61,41	1,46	8,75	0,42	2,52
170	22,17	62,81	1,40	8,41	0,43	2,55
180	21,39	64,16	1,35	8,11	0,43	2,58
190	20,67	65,47	1,30	7,83	0,43	2,61
200	20,02	66,73	1,26	7,58	0,44	2,64
210	19,41	67,95	1,22	7,34	0,45	2,67
220	18,86	69,14	1,19	7,12	0,45	2,71
230	18,34	70,29	1,15	6,92	0,46	2,74
240	17,85	71,42	1,12	6,74	0,46	2,78
250	17,40	72,51	1,09	6,56	0,47	2,81
260	16,98	73,58	1,07	6,40	0,48	2,85
270	16,58	74,62	1,04	6,25	0,48	2,89
280	16,21	75,64	1,02	6,10	0,49	2,93
290	15,85	76,63	0,99	5,97	0,50	2,97
300	15,52	77,61	0,97	5,84	0,50	3,02
310	15,20	78,56	0,95	5,72	0,51	3,06
320	14,90	79,49	0,93	5,61	0,52	3,11
330	14,62	80,41	0,92	5,50	0,53	3,16

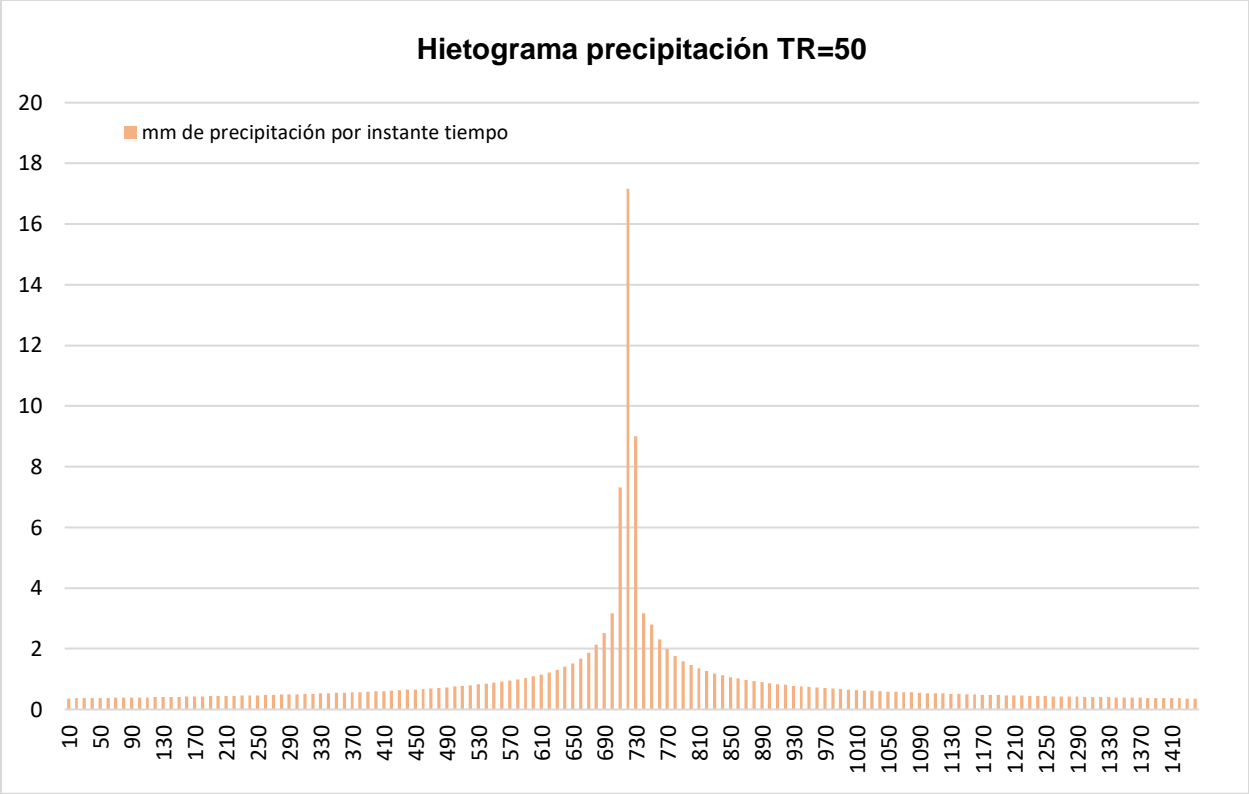
340	14,35	81,31	0,90	5,39	<b>0,54</b>	3,21
350	14,09	82,19	0,88	5,29	0,54	3,27
360	13,84	83,06	0,87	5,20	0,55	3,32
370	13,61	83,91	0,85	5,11	0,56	3,38
380	13,38	84,75	0,84	5,02	0,57	3,44
390	13,16	85,57	0,82	4,94	0,58	3,51
400	12,96	86,38	0,81	4,86	0,60	3,58
410	12,76	87,18	0,80	4,79	0,61	3,65
420	12,57	87,96	0,79	4,72	0,62	3,72
430	12,38	88,74	0,77	4,65	0,63	3,80
440	12,20	89,50	0,76	4,58	0,65	3,89
450	12,03	90,25	0,75	4,51	0,66	3,97
460	11,87	91,00	0,74	4,45	0,68	4,07
470	11,71	91,73	0,73	4,39	0,69	4,17
480	11,56	92,45	0,72	4,33	0,71	4,28
490	11,41	93,16	0,71	4,28	0,73	4,39
500	11,26	93,87	0,70	4,22	0,75	4,51
510	11,12	94,56	0,69	4,17	0,77	4,65
520	10,99	95,25	0,69	4,12	0,80	4,79
530	10,86	95,92	0,68	4,07	0,82	4,94
540	10,73	96,59	0,67	4,02	0,85	5,11
550	10,61	97,26	0,66	3,97	0,88	5,29
560	10,49	97,91	0,65	3,93	0,92	5,50
570	10,37	98,56	0,65	3,89	0,95	5,72
580	10,26	99,20	0,64	3,84	0,99	5,97
590	10,15	99,83	0,63	3,80	1,04	6,25
600	10,05	100,46	0,63	3,76	1,09	6,56
610	9,94	101,08	0,62	3,72	1,15	6,92
620	9,84	101,69	0,61	3,68	1,22	7,34
630	9,74	102,30	0,61	3,65	1,30	7,83
640	9,65	102,90	0,60	3,61	1,40	8,41
650	9,55	103,50	0,60	3,58	1,52	9,12
660	9,46	104,09	0,59	3,54	1,67	10,02
670	9,37	104,67	0,58	3,51	1,86	11,17
680	9,29	105,25	0,58	3,47	2,13	12,76
690	9,20	105,83	0,57	3,44	2,52	15,11
700	9,12	106,40	0,57	3,41	3,18	19,05
710	9,04	106,96	0,56	3,38	7,32	43,94
720	8,96	107,52	0,56	3,35	17,15	102,92
730	8,88	108,07	0,55	3,32	9,01	54,03

740	8,81	108,62	0,55	3,29	3,16	18,97
750	8,73	109,17	0,54	3,27	2,80	16,79
760	8,66	109,70	0,54	3,24	2,30	13,81
770	8,59	110,24	0,54	3,21	1,98	11,90
780	8,52	110,77	0,53	3,19	1,76	10,55
790	8,45	111,30	0,53	3,16	1,59	9,54
800	8,39	111,82	0,52	3,14	1,46	8,75
810	8,32	112,34	0,52	3,11	1,35	8,11
820	8,26	112,85	0,51	3,09	1,26	7,58
830	8,19	113,36	0,51	3,06	1,19	7,12
840	8,13	113,87	0,51	3,04	1,12	6,74
850	8,07	114,37	0,50	3,02	1,07	6,40
860	8,01	114,87	0,50	3,00	1,02	6,10
870	7,96	115,37	0,50	2,97	0,97	5,84
880	7,90	115,86	0,49	2,95	0,93	5,61
890	7,84	116,35	0,49	2,93	0,90	5,39
900	7,79	116,83	0,49	2,91	0,87	5,20
910	7,74	117,32	0,48	2,89	0,84	5,02
920	7,68	117,79	0,48	2,87	0,81	4,86
930	7,63	118,27	0,48	2,85	0,79	4,72
940	7,58	118,74	0,47	2,83	0,76	4,58
950	7,53	119,21	0,47	2,81	0,74	4,45
960	7,48	119,68	0,47	2,79	0,72	4,33
970	7,43	120,14	0,46	2,78	0,70	4,22
980	7,38	120,60	0,46	2,76	0,69	4,12
990	7,34	121,06	0,46	2,74	0,67	4,02
1000	7,29	121,51	0,45	2,72	0,65	3,93
1010	7,25	121,96	0,45	2,71	0,64	3,84
1020	7,20	122,41	0,45	2,69	0,63	3,76
1030	7,16	122,85	0,45	2,67	0,61	3,68
1040	7,11	123,30	0,44	2,66	0,60	3,61
1050	7,07	123,74	0,44	2,64	0,59	3,54
1060	7,03	124,18	0,44	2,63	0,58	3,47
1070	6,99	124,61	0,43	2,61	0,57	3,41
1080	6,95	125,04	0,43	2,59	0,56	3,35
1090	6,91	125,47	0,43	2,58	0,55	3,29
1100	6,87	125,90	0,43	2,56	0,54	3,24
1110	6,83	126,32	0,43	2,55	0,53	3,19
1120	6,79	126,75	0,42	2,54	0,52	3,14
1130	6,75	127,17	0,42	2,52	0,51	3,09

1140	6,72	127,59	0,42	2,51	0,51	3,04
1150	6,68	128,00	0,42	2,49	0,50	3,00
1160	6,64	128,41	0,41	2,48	0,49	2,95
1170	6,61	128,83	0,41	2,47	0,49	2,91
1180	6,57	129,23	0,41	2,45	0,48	2,87
1190	6,54	129,64	0,41	2,44	0,47	2,83
1200	6,50	130,05	0,40	2,43	0,47	2,79
1210	6,47	130,45	0,40	2,42	0,46	2,76
1220	6,44	130,85	0,40	2,40	0,45	2,72
1230	6,40	131,25	0,40	2,39	0,45	2,69
1240	6,37	131,64	0,40	2,38	0,44	2,66
1250	6,34	132,04	0,39	2,37	0,44	2,63
1260	6,31	132,43	0,39	2,35	0,43	2,59
1270	6,28	132,82	0,39	2,34	0,43	2,56
1280	6,24	133,21	0,39	2,33	0,42	2,54
1290	6,21	133,60	0,39	2,32	0,42	2,51
1300	6,18	133,98	0,38	2,31	0,41	2,48
1310	6,15	134,36	0,38	2,30	0,41	2,45
1320	6,12	134,75	0,38	2,29	0,40	2,43
1330	6,10	135,12	0,38	2,28	0,40	2,40
1340	6,07	135,50	0,38	2,26	0,40	2,38
1350	6,04	135,88	0,38	2,25	0,39	2,35
1360	6,01	136,25	0,37	2,24	0,39	2,33
1370	5,98	136,62	0,37	2,23	0,38	2,31
1380	5,96	136,99	0,37	2,22	0,38	2,29
1390	5,93	137,36	0,37	2,21	0,38	2,26
1400	5,90	137,73	0,37	2,20	0,37	2,24
1410	5,88	138,10	0,37	2,19	0,37	2,22
1420	5,85	138,46	0,36	2,18	0,37	2,20
1430	5,82	138,82	0,36	2,17	0,36	2,18
1440	5,80	139,18	0,36	2,16	0,36	2,16

Fuente: *Elaboración propia*





Fuente: *Elaboración propia*

### Hietograma de precipitación – Periodo de retorno de 100 años

Intervalos de tiempo (min)		10				
Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
10	111,50	18,58	18,58	111,50	0,39	2,36
20	85,02	28,34	9,76	58,54	0,40	2,38
30	72,55	36,27	7,93	47,61	0,40	2,40
40	59,55	39,70	3,43	20,56	0,40	2,42
50	51,77	43,14	3,44	20,64	0,41	2,44
60	46,17	46,17	3,03	18,18	0,41	2,47
70	41,91	48,90	2,73	16,37	0,41	2,49
80	38,54	51,39	2,49	14,96	0,42	2,51
90	35,80	53,69	2,30	13,83	0,42	2,54
100	33,51	55,84	2,15	12,89	0,43	2,56
110	31,56	57,86	2,02	12,11	0,43	2,59
120	29,88	59,77	1,91	11,43	0,44	2,62
130	28,42	61,58	1,81	10,85	0,44	2,64
140	27,13	63,30	1,72	10,34	0,45	2,67
150	25,98	64,95	1,65	9,88	0,45	2,70
160	24,95	66,53	1,58	9,48	0,46	2,73
170	24,02	68,04	1,52	9,11	0,46	2,76
180	23,17	69,51	1,46	8,78	0,47	2,79
190	22,40	70,92	1,41	8,48	0,47	2,83
200	21,69	72,29	1,37	8,21	0,48	2,86
210	21,03	73,62	1,33	7,95	0,48	2,90
220	20,43	74,90	1,29	7,72	0,49	2,93
230	19,87	76,15	1,25	7,50	0,49	2,97
240	19,34	77,37	1,22	7,30	0,50	3,01
250	18,85	78,55	1,19	7,11	0,51	3,05
260	18,39	79,71	1,16	6,93	0,51	3,09
270	17,96	80,84	1,13	6,77	0,52	3,13
280	17,56	81,94	1,10	6,61	0,53	3,18
290	17,18	83,02	1,08	6,47	0,54	3,22
300	16,81	84,07	1,05	6,33	0,54	3,27
310	16,47	85,11	1,03	6,20	0,55	3,32
320	16,15	86,12	1,01	6,07	0,56	3,37
330	15,84	87,11	0,99	5,96	0,57	3,42

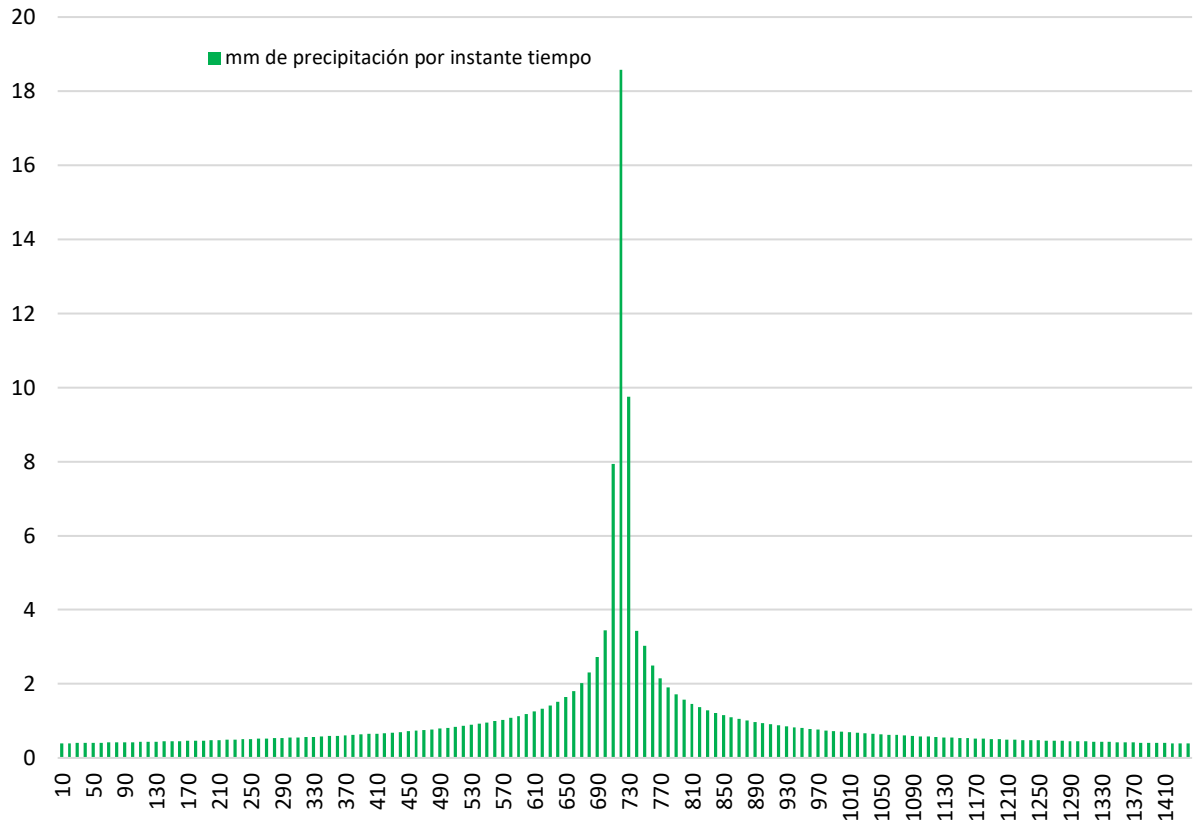
340	15,54	88,08	0,97	5,84	<b>0,58</b>	3,48
350	15,26	89,04	0,96	5,74	0,59	3,54
360	15,00	89,98	0,94	5,63	0,60	3,60
370	14,74	90,90	0,92	5,54	0,61	3,66
380	14,50	91,81	0,91	5,44	0,62	3,73
390	14,26	92,70	0,89	5,35	0,63	3,80
400	14,04	93,58	0,88	5,27	0,65	3,87
410	13,82	94,44	0,86	5,19	0,66	3,95
420	13,61	95,30	0,85	5,11	0,67	4,03
430	13,41	96,13	0,84	5,03	0,69	4,12
440	13,22	96,96	0,83	4,96	0,70	4,21
450	13,04	97,78	0,81	4,89	0,72	4,31
460	12,86	98,58	0,80	4,82	0,73	4,41
470	12,69	99,37	0,79	4,76	0,75	4,52
480	12,52	100,15	0,78	4,69	0,77	4,63
490	12,36	100,93	0,77	4,63	0,79	4,76
500	12,20	101,69	0,76	4,57	0,81	4,89
510	12,05	102,44	0,75	4,52	0,84	5,03
520	11,91	103,18	0,74	4,46	0,86	5,19
530	11,76	103,92	0,73	4,41	0,89	5,35
540	11,63	104,64	0,73	4,36	0,92	5,54
550	11,49	105,36	0,72	4,31	0,96	5,74
560	11,36	106,07	0,71	4,26	0,99	5,96
570	11,24	106,77	0,70	4,21	1,03	6,20
580	11,12	107,47	0,69	4,16	1,08	6,47
590	11,00	108,15	0,69	4,12	1,13	6,77
600	10,88	108,83	0,68	4,07	1,19	7,11
610	10,77	109,50	0,67	4,03	1,25	7,50
620	10,66	110,17	0,67	3,99	1,33	7,95
630	10,55	110,83	0,66	3,95	1,41	8,48
640	10,45	111,48	0,65	3,91	1,52	9,11
650	10,35	112,12	0,65	3,87	1,65	9,88
660	10,25	112,76	0,64	3,84	1,81	10,85
670	10,15	113,40	0,63	3,80	2,02	12,11
680	10,06	114,02	0,63	3,76	2,30	13,83
690	9,97	114,65	0,62	3,73	2,73	16,37
700	9,88	115,26	0,62	3,70	3,44	20,64
710	9,79	115,87	0,61	3,66	7,93	47,61
720	9,71	116,48	0,61	3,63	18,58	111,50
730	9,62	117,08	0,60	3,60	9,76	58,54

740	9,54	117,67	0,59	3,57	3,43	20,56
750	9,46	118,26	0,59	3,54	3,03	18,18
760	9,38	118,85	0,58	3,51	2,49	14,96
770	9,31	119,43	0,58	3,48	2,15	12,89
780	9,23	120,00	0,58	3,45	1,91	11,43
790	9,16	120,57	0,57	3,42	1,72	10,34
800	9,09	121,14	0,57	3,40	1,58	9,48
810	9,01	121,70	0,56	3,37	1,46	8,78
820	8,95	122,26	0,56	3,34	1,37	8,21
830	8,88	122,81	0,55	3,32	1,29	7,72
840	8,81	123,36	0,55	3,29	1,22	7,30
850	8,75	123,90	0,54	3,27	1,16	6,93
860	8,68	124,45	0,54	3,25	1,10	6,61
870	8,62	124,98	0,54	3,22	1,05	6,33
880	8,56	125,52	0,53	3,20	1,01	6,07
890	8,50	126,05	0,53	3,18	0,97	5,84
900	8,44	126,57	0,53	3,15	0,94	5,63
910	8,38	127,09	0,52	3,13	0,91	5,44
920	8,32	127,61	0,52	3,11	0,88	5,27
930	8,27	128,13	0,51	3,09	0,85	5,11
940	8,21	128,64	0,51	3,07	0,83	4,96
950	8,16	129,14	0,51	3,05	0,80	4,82
960	8,10	129,65	0,50	3,03	0,78	4,69
970	8,05	130,15	0,50	3,01	0,76	4,57
980	8,00	130,65	0,50	2,99	0,74	4,46
990	7,95	131,14	0,49	2,97	0,73	4,36
1000	7,90	131,64	0,49	2,95	0,71	4,26
1010	7,85	132,12	0,49	2,93	0,69	4,16
1020	7,80	132,61	0,49	2,91	0,68	4,07
1030	7,75	133,09	0,48	2,90	0,67	3,99
1040	7,71	133,57	0,48	2,88	0,65	3,91
1050	7,66	134,05	0,48	2,86	0,64	3,84
1060	7,61	134,52	0,47	2,84	0,63	3,76
1070	7,57	134,99	0,47	2,83	0,62	3,70
1080	7,53	135,46	0,47	2,81	0,61	3,63
1090	7,48	135,93	0,47	2,79	0,59	3,57
1100	7,44	136,39	0,46	2,78	0,58	3,51
1110	7,40	136,85	0,46	2,76	0,58	3,45
1120	7,36	137,31	0,46	2,75	0,57	3,40
1130	7,31	137,77	0,46	2,73	0,56	3,34

1140	7,27	138,22	0,45	2,72	0,55	3,29
1150	7,23	138,67	0,45	2,70	0,54	3,25
1160	7,20	139,12	0,45	2,69	0,53	3,20
1170	7,16	139,56	0,45	2,67	0,53	3,15
1180	7,12	140,00	0,44	2,66	0,52	3,11
1190	7,08	140,45	0,44	2,64	0,51	3,07
1200	7,04	140,88	0,44	2,63	0,50	3,03
1210	7,01	141,32	0,44	2,62	0,50	2,99
1220	6,97	141,75	0,43	2,60	0,49	2,95
1230	6,94	142,18	0,43	2,59	0,49	2,91
1240	6,90	142,61	0,43	2,58	0,48	2,88
1250	6,87	143,04	0,43	2,56	0,47	2,84
1260	6,83	143,47	0,43	2,55	0,47	2,81
1270	6,80	143,89	0,42	2,54	0,46	2,78
1280	6,76	144,31	0,42	2,53	0,46	2,75
1290	6,73	144,73	0,42	2,51	0,45	2,72
1300	6,70	145,15	0,42	2,50	0,45	2,69
1310	6,67	145,56	0,41	2,49	0,44	2,66
1320	6,64	145,97	0,41	2,48	0,44	2,63
1330	6,60	146,38	0,41	2,47	0,43	2,60
1340	6,57	146,79	0,41	2,45	0,43	2,58
1350	6,54	147,20	0,41	2,44	0,43	2,55
1360	6,51	147,61	0,41	2,43	0,42	2,53
1370	6,48	148,01	0,40	2,42	0,42	2,50
1380	6,45	148,41	0,40	2,41	0,41	2,48
1390	6,42	148,81	0,40	2,40	0,41	2,45
1400	6,39	149,21	0,40	2,39	0,41	2,43
1410	6,37	149,60	0,40	2,38	0,40	2,41
1420	6,34	150,00	0,39	2,37	0,40	2,39
1430	6,31	150,39	0,39	2,36	0,39	2,37
1440	6,28	150,78	0,39	2,34	0,39	2,34

Fuente: *Elaboración propia*

### Hietograma de precipitación T=100 años



## **ANEXO 2.**

# **PORCENTAJE DE PERMEABILIDAD E IMPERMEABILIDAD DE LAS SUBCUENCAS**

### Superficies permeables e impermeables de las subcuencas

Subcuencas	Superficies	Tipo	Área (ha)	Área (km <sup>2</sup> )	%
S1	Permeable	Áreas verdes	0,510	0,005	5,950
	Impermeable	Calles y aceras	2,405	0,024	28,068
		Viviendas	5,209	0,052	60,788
		Edificios	0,445	0,004	5,194
S2	Permeable	Áreas verdes	0,102	0,001	1,062
	Impermeable	Calles y aceras	2,896	0,029	30,240
		Viviendas	5,302	0,053	55,364
		Edificios	1,277	0,013	13,333
S3	Permeable	Áreas verdes	0,451	0,005	2,317
	Impermeable	Calles y aceras	5,746	0,057	29,538
		Viviendas	11,173	0,112	57,441
		Edificios	2,082	0,021	10,704
S4	Permeable	Áreas verdes	0,186	0,002	1,368
	Impermeable	Calles y aceras	3,865	0,039	28,460
		Viviendas	8,626	0,086	63,511
		Edificios	0,905	0,009	6,661
S5	Permeable	Áreas verdes	0,066	0,001	0,305
	Impermeable	Calles y aceras	6,509	0,065	30,037
		Viviendas	12,369	0,124	57,083
		Edificios	2,725	0,027	12,574
S6	Permeable	Áreas verdes	0,129	0,001	1,230
	Impermeable	Calles y aceras	2,946	0,029	28,009
		Viviendas	6,919	0,069	65,790
		Edificios	0,523	0,005	4,971



S7	Permeable	Áreas verdes	0,257	0,003	2,502
	Impermeable	Calles y aceras	2,938	0,029	27,932
		Viviendas	6,339	0,063	60,273
		Edificios	0,738	0,007	7,018
S8	Permeable	Áreas verdes	0,104	0,001	0,785
	Impermeable	Calles y aceras	3,679	0,037	27,676
		Viviendas	9,016	0,090	67,816
		Edificios	0,495	0,005	3,723
S9	Permeable	Áreas verdes	0,041	0,000	0,488
	Impermeable	Calles y aceras	2,268	0,023	27,016
		Viviendas	5,980	0,060	71,245
		Edificios	0,105	0,001	1,251
S10	Permeable	Áreas verdes	0,218	0,002	2,344
	Impermeable	Calles y aceras	2,510	0,025	27,036
		Viviendas	6,433	0,064	69,294
		Edificios	0,123	0,001	1,326
S11	Permeable	Áreas verdes	0,054	0,001	0,585
	Impermeable	Calles y aceras	2,643	0,026	28,691
		Viviendas	5,822	0,058	63,197
		Edificios	0,694	0,007	7,528
S12	Permeable	Áreas verdes	0,079	0,001	0,340
	Impermeable	Calles y aceras	6,390	0,064	27,535
		Viviendas	15,996	0,160	68,927
		Edificios	0,742	0,007	3,197

Fuente: *Elaboración propia*

## **ANEXO 3.**

# **PARAMETROS DE LAS SUBCUENCAS, CONDUCCIONES Y UNIONES**

### Parámetros de las subcuencas

Subcuenca	Área	Impermeabilidad	Pendiente	Coeficiente Manning		Almacenamiento en depresiones		%Zero-Imperv	Punto de descarga	Pluviometro	Horton	
	(ha)	%	%	Impermeable	Permeable	Impermeable	Permeable				Infil. Max mm/h	Infil Min mm/h
<b>S1</b>	8,57	94,05	3	0,012	0,014	1,6	7,5	25	J26	1	25	3
<b>S2</b>	9,58	98,94	3	0,012	0,014	1,6	7,5	25	J1	1	25	3
<b>S3</b>	19,45	97,68	3	0,012	0,014	1,6	7,5	25	J26	1	25	3
<b>S4</b>	13,58	98,63	3	0,012	0,014	1,6	7,5	25	J20	1	25	3
<b>S5</b>	21,67	99,69	3	0,012	0,014	1,6	7,5	25	J39	1	25	3
<b>S6</b>	10,52	98,77	3	0,012	0,014	1,6	7,5	25	J8	1	25	3
<b>S7</b>	10,27	95,22	3	0,012	0,014	1,6	7,5	25	S5	1	25	3
<b>S8</b>	13,29	99,22	3	0,012	0,014	1,6	7,5	25	J11	1	25	3
<b>S9</b>	8,39	99,51	3	0,012	0,014	1,6	7,5	25	J10	1	25	3
<b>S10</b>	9,28	97,66	3	0,012	0,014	1,6	7,5	25	J12	1	25	3
<b>S11</b>	9,21	99,42	3	0,012	0,014	1,6	7,5	25	S9	1	25	3
<b>S12</b>	23,21	96,66	3	0,012	0,014	1,6	7,5	25	S5	1	25	3

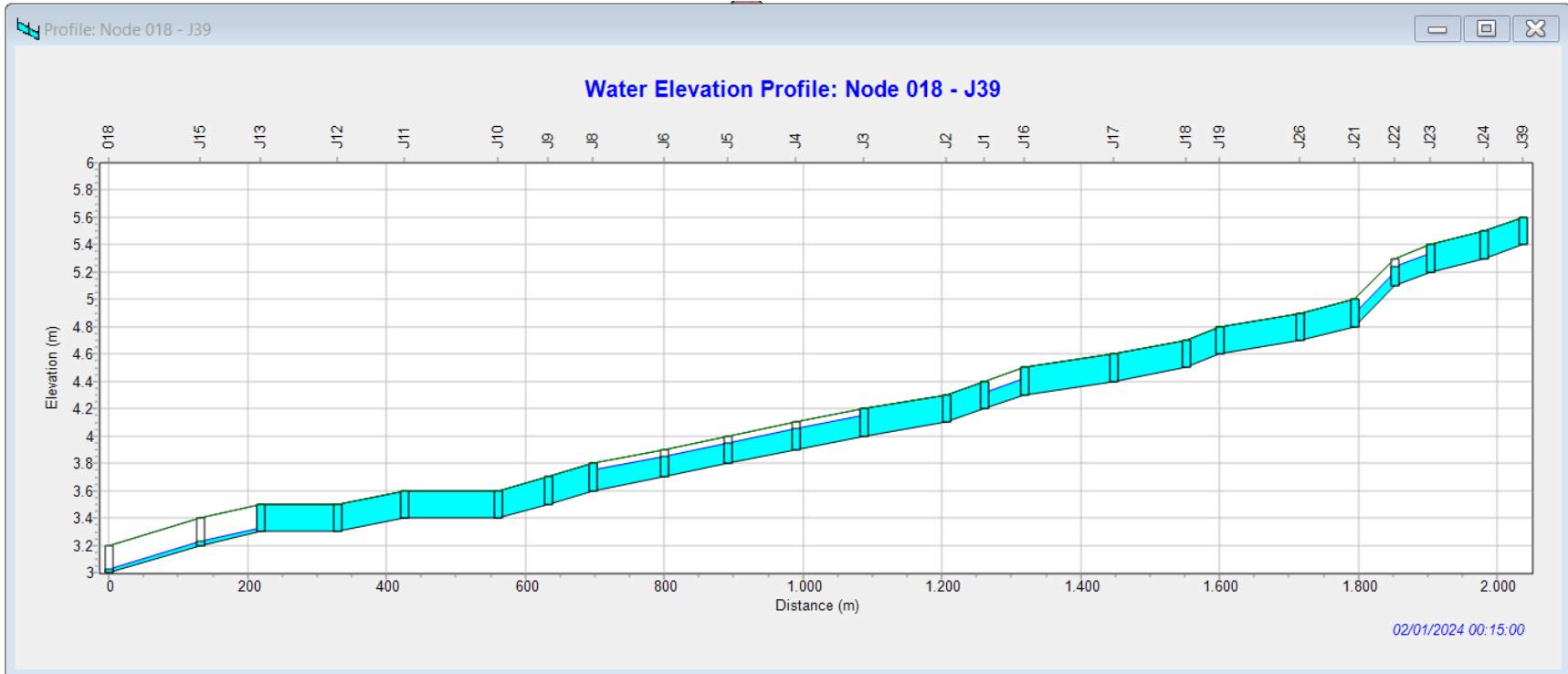
Fuente: *Elaboración propia*

### Parámetros de los conductos

Conducción	Longitud (m)	Inicio	Fin	Coef. Rugosidad	Sección Circular (m)
C1	56,29	J39	J24	0,09	0,2
C2	76,32	J24	J23	0,09	0,2
C3	52,58	J23	J22	0,09	0,2
C4	57,7	J22	J21	0,09	0,2
C5	78,07	J21	J26	0,09	0,2
C6	115,69	J26	J19	0,09	0,2
C7	48,6	J19	J18	0,09	0,2
C8	103,7	J18	J17	0,09	0,2
C9	128,56	J17	J16	0,09	0,2
C10	57,77	J16	J1	0,09	0,2
C11	55,31	J1	J2	0,09	0,2
C12	117,65	J2	J3	0,09	0,2
C13	98,58	J3	J4	0,09	0,2
C14	98,3	J4	J5	0,09	0,2
C15	91,84	J5	J6	0,09	0,2
C16	101,91	J6	J8	0,09	0,2
C17	64,03	J8	J9	0,09	0,2
C18	72,12	J9	J10	0,09	0,2
C19	135,8	J10	J11	0,09	0,2
C20	96,8	J11	J12	0,09	0,2
C21	110,34	J12	J13	0,09	0,2
C22	87,27	J13	J15	0,09	0,2
C23	130,92	J15	Punto de salida	0,09	0,2

Fuente: *Elaboración propia*

## Perfil de elevaciones

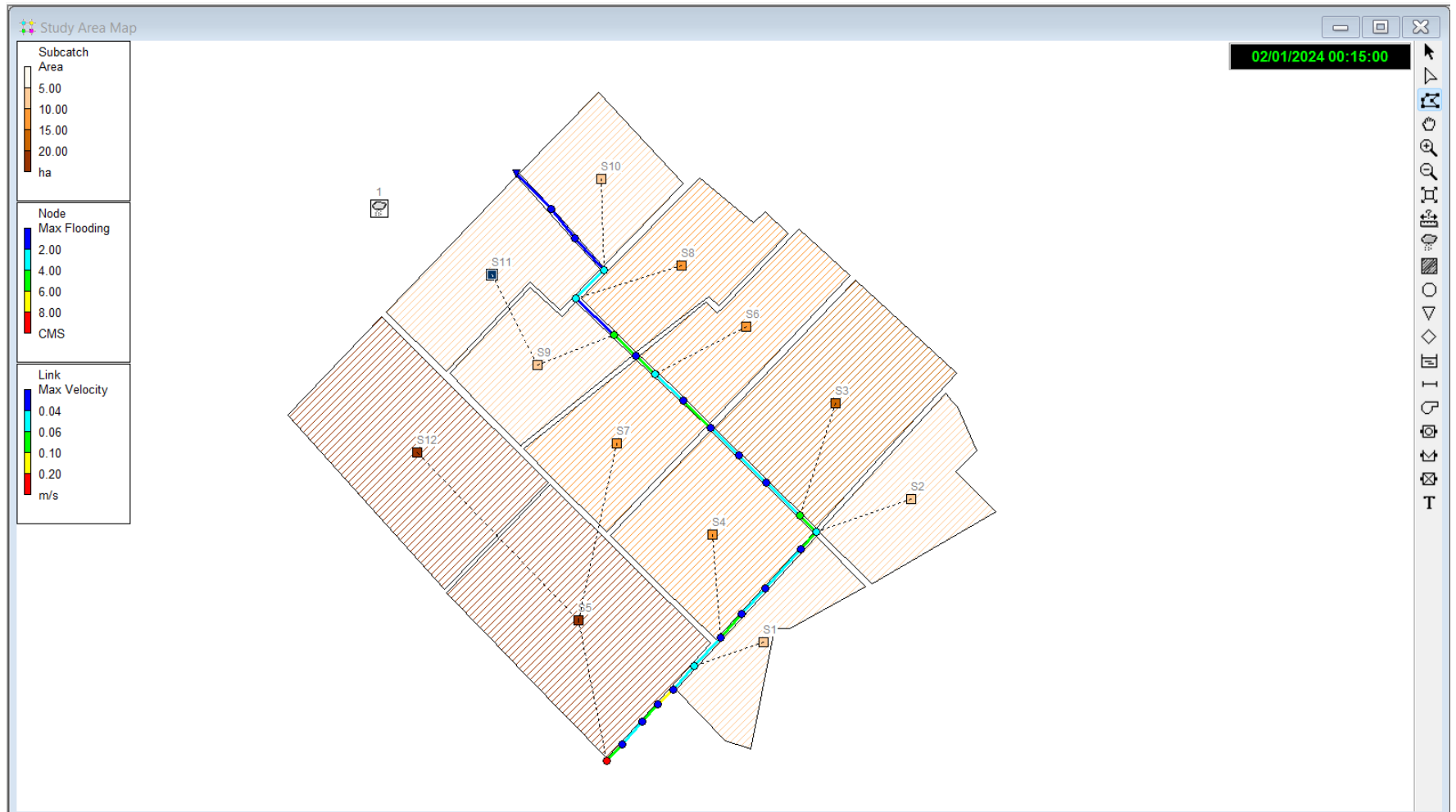


Fuente: *Elaboración propia*

## **ANEXO 3.**

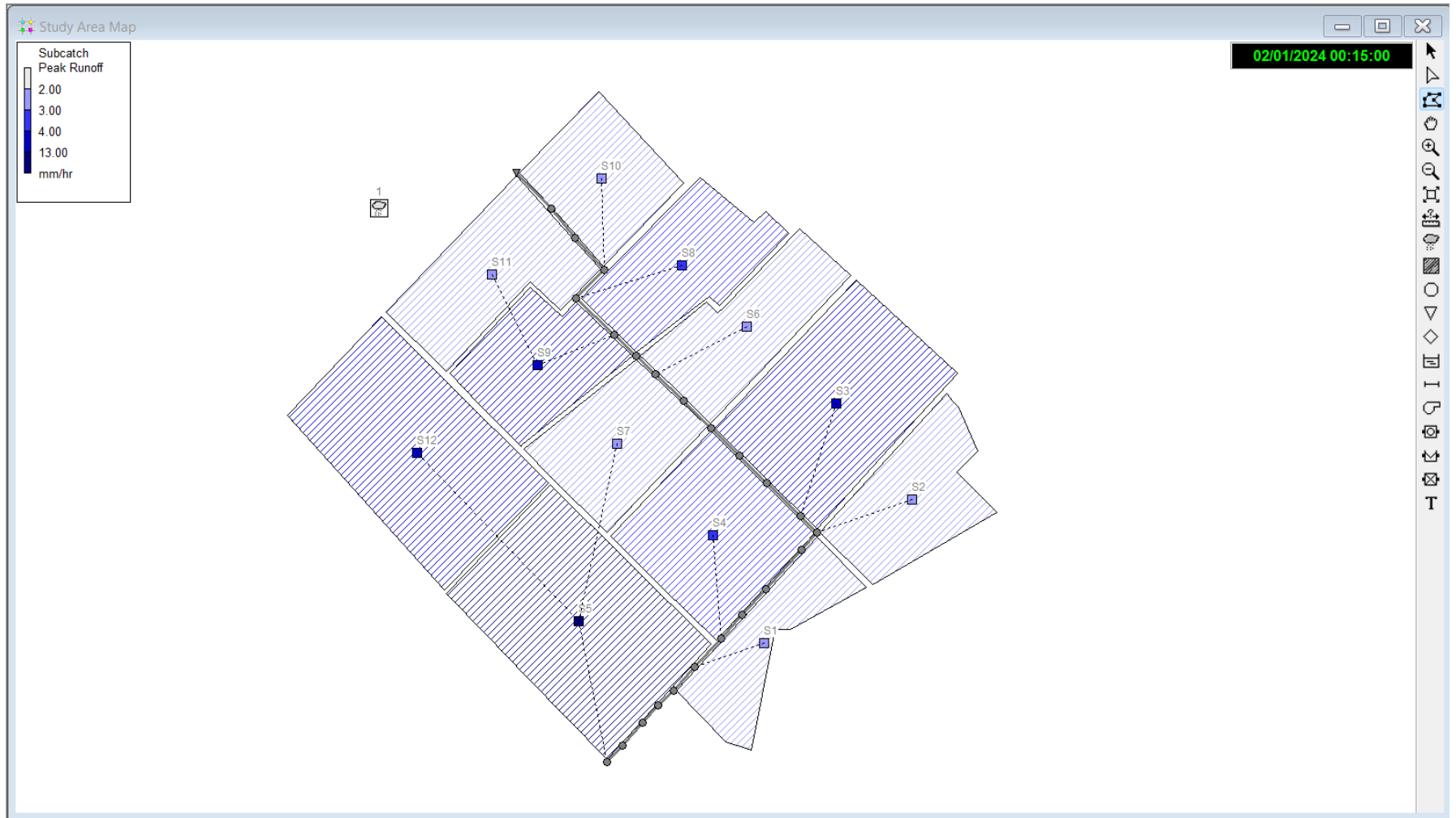
### **SIMULACION DE LAS SUBCUENCAS SIN SUDS**

## Área, Inundación máxima en los nudos



Fuente: *Elaboración propia*

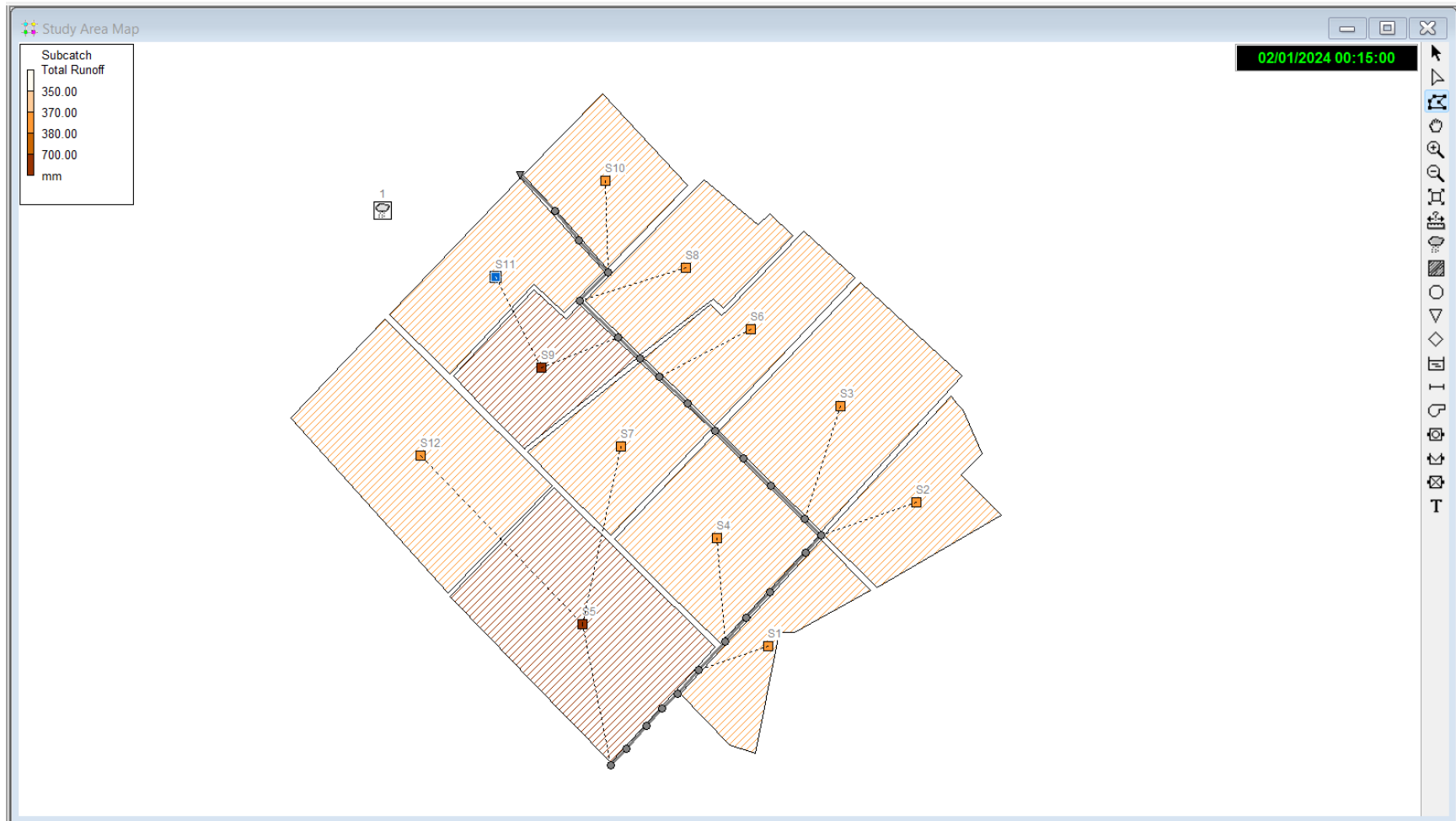
## Caudal pico en las subcuencas



Fuente: *Elaboración propia*



## Nivel de escorrentías en las subcuencas



Fuente: *Elaboración propia*

## Resultados de las inundaciones en las subcuencas

Summary Results

Topic: Subcatchment Runoff Click a column header to sort the column.

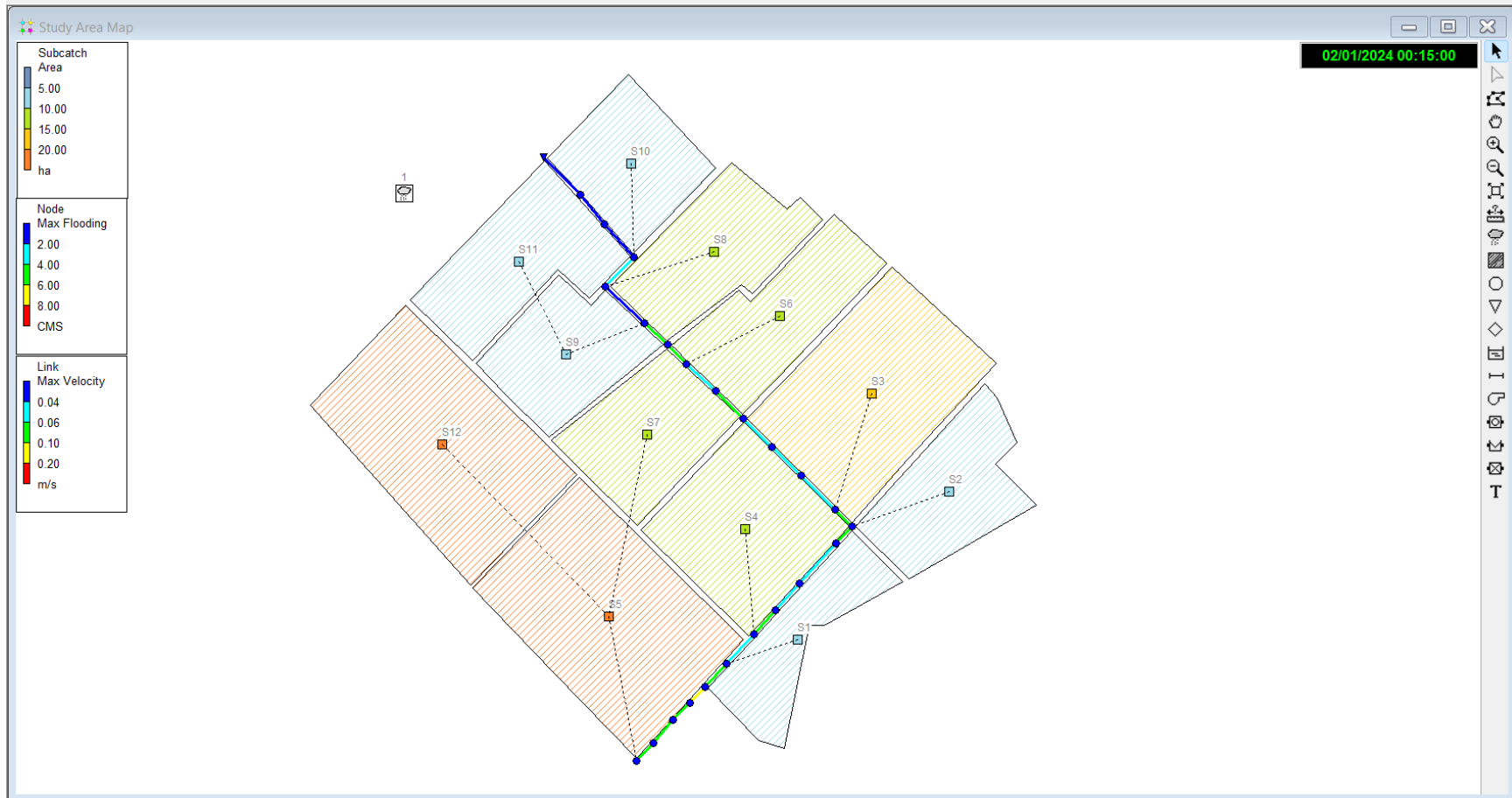
Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Imperv Runoff mm	Perv Runoff mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 <sup>6</sup> ltr	Peak Runoff CMS	Runoff Coeff
S1	383.73	0.00	0.00	0.21	356.15	22.03	378.18	32.41	2.12	0.986
S10	383.73	0.00	0.00	0.08	368.98	8.70	377.68	35.05	2.29	0.984
S11	383.73	0.00	0.00	0.02	376.32	2.16	378.49	34.86	2.28	0.986
S12	383.73	0.00	0.00	0.01	370.91	1.27	372.17	86.38	5.73	0.970
S2	383.73	0.00	0.00	0.04	374.37	3.95	378.32	36.24	2.37	0.986
S3	383.73	0.00	0.00	0.08	366.18	8.60	374.78	72.89	4.80	0.977
S4	383.73	0.00	0.00	0.05	371.69	5.10	376.78	51.17	3.36	0.982
S5	383.73	566.27	0.00	0.01	930.88	2.91	933.80	202.36	13.58	0.983
S6	383.73	0.00	0.00	0.04	373.36	4.58	377.95	39.76	2.60	0.985
S7	383.73	0.00	0.00	0.17	360.18	17.70	377.88	38.81	2.54	0.985
S8	383.73	0.00	0.00	0.03	373.99	2.91	376.89	50.09	3.28	0.982
S9	383.73	407.34	0.00	0.02	781.35	3.83	785.18	65.88	4.35	0.993

Fuente: *Elaboración propia*

## **ANEXO 3.**

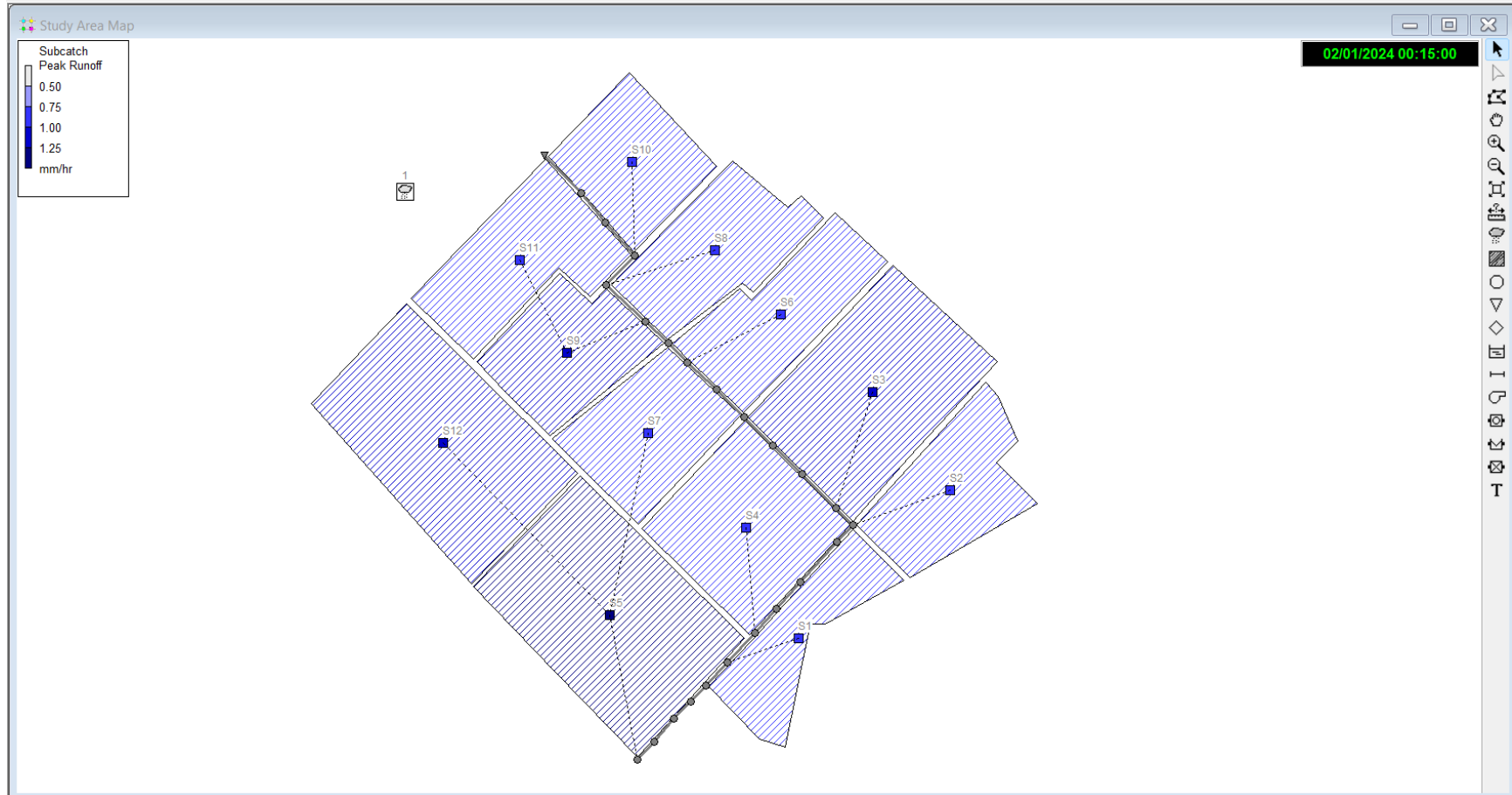
# **SIMULACION DE LAS SUBCUENCAS CON SUDS**

## Área, Inundación máxima en los nudos



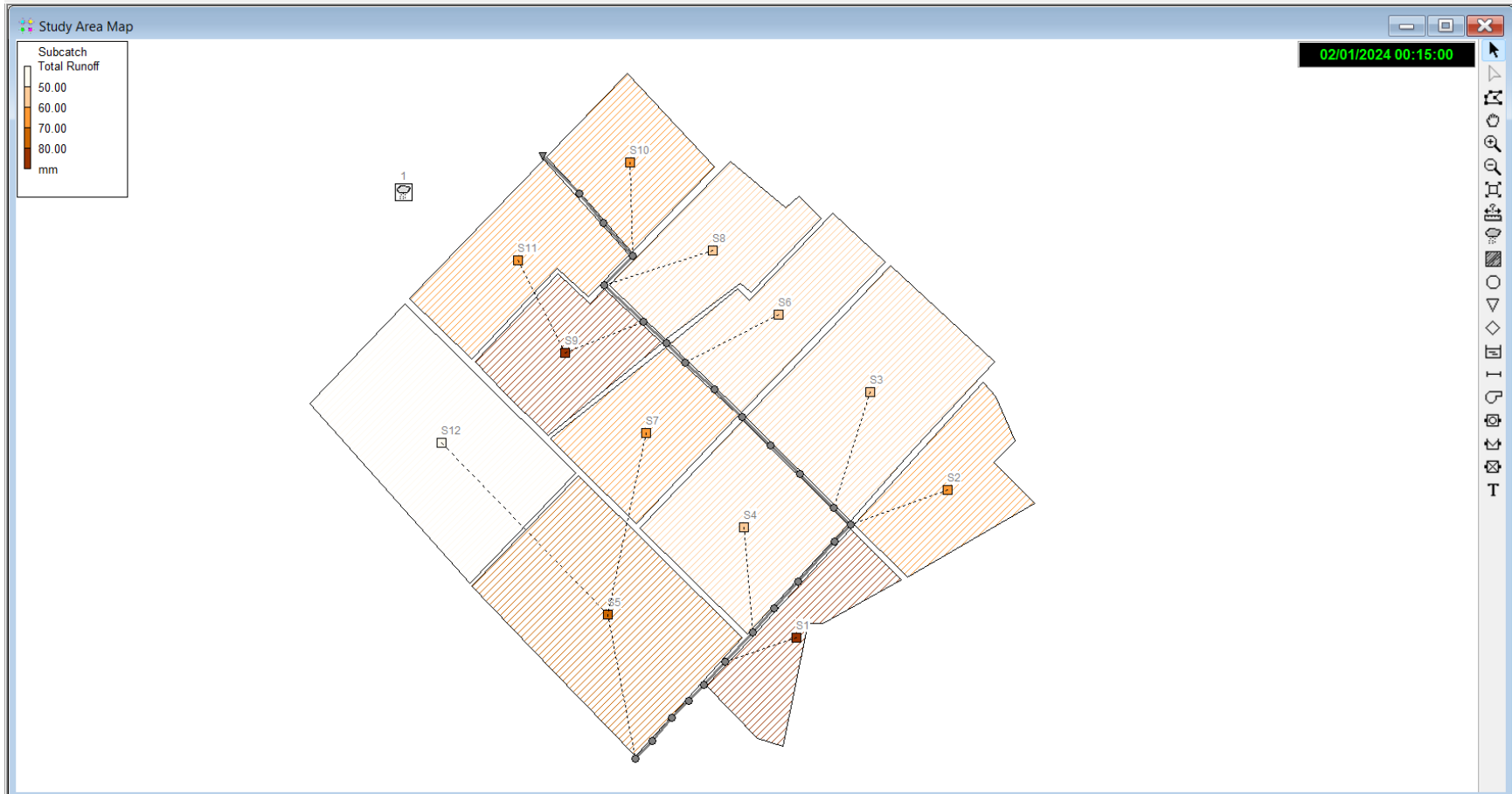
Fuente: *Elaboración propia*

## Caudal pico en las subcuencas



Fuente: *Elaboración propia*

# Nivel de escorrentías en las subcuencas



## Resultados de las inundaciones en las subcuencas

Summary Results										
Topic: Subcatchment Runoff <span style="float: right;">Click a column header to sort the column.</span>										
Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Imperv Runoff mm	Perv Runoff mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 <sup>6</sup> ltr	Peak Runoff CMS	Runoff Coeff
S1	383.73	0.00	0.00	0.08	130.23	8.05	80.72	6.92	0.87	0.210
S10	383.73	0.00	0.00	0.02	109.31	2.57	61.66	5.72	0.75	0.161
S11	383.73	0.00	0.00	0.01	110.96	0.63	60.64	5.58	0.75	0.158
S12	383.73	0.00	0.00	0.00	105.36	0.35	42.87	9.95	1.07	0.112
S2	383.73	0.00	0.00	0.01	118.23	1.24	64.04	6.13	0.80	0.167
S3	383.73	0.00	0.00	0.03	118.19	2.75	52.61	10.23	1.12	0.137
S4	383.73	0.00	0.00	0.01	112.03	1.52	54.17	7.36	0.89	0.141
S5	383.73	73.75	0.00	0.00	187.92	0.58	74.49	16.14	1.91	0.163
S6	383.73	0.00	0.00	0.01	110.21	1.34	58.04	6.11	0.79	0.151
S7	383.73	0.00	0.00	0.05	112.90	5.53	64.28	6.60	0.83	0.168
S8	383.73	0.00	0.00	0.01	107.50	0.83	51.78	6.88	0.85	0.135
S9	383.73	63.90	0.00	0.00	167.95	0.82	87.26	7.32	1.07	0.195

Fuente: *Elaboración propia*