

**UNIVERSIDAD SAN PEDRO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL**



**“Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS) para regular las  
aguas pluviales en la cuenca urbana del rio Chilca, distrito de  
Pucusana, Lima 2022”**

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero civil

**AUTOR**

James Oswaldo Rázuri Osorio

**ASESOR**

Miguel Solar Jara

Código ORCID: 0000-0002-8661-418X

**Chimbote – Perú**

**2022**

## INDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	11
II. METODOLOGÍA	45
III. RESULTADOS	52
IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	79
V. CONCLUSIONES	81
VI. RECOMENDACIONES	82
AGRADECIMIENTOS	83
DEDICATORIA	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
ANEXOS	87

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1	Probabilidad de que un suceso de periodo de retorno T ocurra en n años .....	15
Tabla N° 2	Comparación del Sistema de Drenaje Convencional y el Sistema Alternativo SUDS .....	25
Tabla N° 3	Operacionalización de las Variables .....	43
Tabla N° 4	Parámetros morfométricos del Área de Drenaje .....	54
Tabla N° 5	Valores Históricos en la Estación S.L. de Escomarca.....	55
Tabla N° 6	Precipitación máxima en diferentes periodos de retorno .....	58
Tabla N° 7	Tiempo de concentración .....	61
Tabla N° 8	Obtención de caudales máximos mediante método racional .....	61
Tabla N° 9	Características de la red de drenaje en el área de estudio .....	63
Tabla N° 10	Resumen de las cámaras que presentan inundación .....	69
Tabla N° 11	Matriz de Selección según Uso del Suelo .....	71
Tabla N° 12	Matriz de Selección según características del Sitio.....	71
Tabla N° 13	Matriz de Priorización, según cantidad y calidad de escorrentía .....	71
Tabla N° 14	Matriz de selección según Factores Ambientales y de Comunidad .....	72
Tabla N° 15	Matriz de Optimización Resultados .....	73
Tabla N° 16	Resumen de las cámaras que presentan inundación (con SUDS) .....	76

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Hidrograma Unitario.....	16
Figura 2	Hietograma de diseño construido con el método de bloques alternados.....	19
Figura 3	Tipos de Pavimentos Permeables .....	28
Figura 4	Ejemplo de aplicación de zanja de infiltración.....	29
Figura 5	Ejemplo de construcción de zanja de infiltración con drenaje .....	30
Figura 6	Ejemplo de Alcorques Inundables.....	32
Figura 7	Ejemplo de Depósitos y estanques de infiltración.....	33
Figura 8	Ejemplo de Franjas filtrantes.....	34
Figura 9	Ejemplo de Depósitos superficiales de detención .....	35
Figura 10	Ejemplo de Estanques de retención .....	36
Figura 11	Modelo conceptual del sistema de drenaje urbano.....	38
Figura 12	Mapa del Distrito de Pucusana.....	45
Figura 13	Zona de Estudio.....	46
Figura 14	Esquema del Diseño de Investigación.....	48
Figura 15	Delimitación de las subcuencas del Río Chilca.....	52
Figura 16	Subcuenca S21 – Chilca Baja.....	53
Figura 17	Zona de estudio – Área de drenaje .....	53
Figura 18	Gráfica de precipitación máxima en 24 horas .....	57
Figura 19	Curva IDF de la estación SL de Escomarca .....	59

Figura 20	Hietograma de 2 horas para un periodo de retorno de 5 años - Precipitaciones...	62
Figura 21	Hietograma de 2 horas para un periodo de retorno de 5 años – Intensidades .....	64
Figura 22	Comportamiento hidráulico de Sistema de Drenaje Convencional.....	66
Figura 23	Control de inundación del sistema sin SUDS.....	67
Figura 24	Zonas críticas de inundación en minuto 65 .....	68
Figura 25	Área urbana donde se aplicará las Zanjas de infiltración .....	74
Figura 26	Análisis hidráulico con SUDS.....	75
Figura 27	Comparación de hidrogramas Modelo Convencional vs aplicación de SUDS ....	77
Figura 28	Comparación del control de inundación del Modelo Convencional vs aplicación de SUDS .....	78

## **PALABRAS CLAVE**

Sistema Urbano de Drenaje Sostenible, Modelamiento Hidráulico, aguas pluviales.

## **KEYWORDS:**

Urban Sustainable Drainage System, Hydraulic Modeling, Rainwater

## **LINEA DE INVESTIGACION**

OCDE			LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
ARIEA	SUB-AREA	DISCIPLINA	
Ingeniería, Tecnología	Ingeniería Civil	Ingeniería Civil	Hidráulica



## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, Vicerrector de Investigación de la Universidad San Pedro:

### HACE CONSTAR

Que, de la revisión del trabajo titulado **“Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS) para regular las aguas pluviales en la cuenca urbana del río Chilca, distrito de Pucusana, Lima 2022”** del (a) estudiante: **James Oswaldo Rázuri Osorio**, identificado(a) con **Código N° 0200320119**, se ha verificado un porcentaje de similitud del **27%**, el cual se encuentra dentro del parámetro establecido por la Universidad San Pedro mediante resolución de Consejo Universitario N° 5037-2019-USP/CU para la obtención de grados y títulos académicos de pre y posgrado, así como proyectos de investigación anual Docente.

Se expide la presente constancia para los fines pertinentes.

Chimbote, 3 de Enero de 2023

  
 UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
**Dr. CARLOS URBINA SANJINES**  
VICERRECTOR



**NOTA:**

Este documento carece de valor si no tiene adjunta el reporte del Software TURNITIN.

## **TITULO**

**Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS) para regular las aguas  
pluviales en la cuenca urbana del rio Chilca, distrito de Pucusana, Lima**

**2022**

## RESUMEN

La presente tesis abarca los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), ya que por los numerosos factores que influyen en el clima a nivel nacional, en la ciudad de Lima, más específicamente en el distrito de Pucusana se enfrenta a periodos en los que las lluvias aumentan considerablemente y en otras ocasiones ese aumento está afectado por fenómenos meteorológicos. El último registro de este tipo de eventos con intensas lluvias se dio en los años 2016 y 2017 donde se registraron pérdidas humanas; esto nos lleva a considerar nuevas propuestas para regular los caudales picos y volúmenes de escorrentía excedentes, además de buscar sistemas de drenajes pluviales más eficientes en el sentido hidráulico y también teniendo en cuenta el desarrollo sostenible. En nuestro país la implementación de SUDS es muy limitada, por lo cual, aún no se cuenta con una regulación legal que nos proponga una guía a considerar en los diseños, la construcción y mantenimientos de SUDS, por consiguiente, en el presente informe se describió la propuesta de un SUDS que permita regular las aguas pluviales. El propósito principal de esta investigación es analizar el comportamiento hidráulico de un SUDS implementado a un sistema de drenaje convencional. La metodología empleada fue la siguiente: Analizar el comportamiento hidráulico de un sistema de drenaje convencional para regular los caudales pico en la cuenca urbana del Río chilca, posterior a ello, la implementación SUDS al sistema propuesto anteriormente, finalmente, realizar el análisis del impacto de la propuesta aplicando SUDS mediante un modelamiento hidráulico SWMM.

## **ABSTRACT**

This thesis covers the Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), since due to the numerous factors that influence the climate at the national level, in the city of Lima, more specifically in the district of Pucusana, it faces periods in which the Rains increase considerably and at other times this increase is affected by meteorological phenomena. The last record of this type of event with heavy rains occurred in the years 2016 and 2017 where human losses were recorded; This leads us to consider new proposals to regulate peak flows and excess runoff volumes, in addition to seeking more efficient storm drainage systems in the hydraulic sense and taking sustainable development into account. In our country, the implementation of SUDS is very limited, therefore, there is still no legal regulation that proposes a guide to consider in the designs, the construction and maintenance of SUDS, therefore, in this report it was described the proposal of a SUDS that allows regulating rainwater. The principal purpose of this research is to analyze the hydraulic behavior of a SUDS implemented in a conventional drainage system. The methodology used was the following: Analyze the hydraulic behavior of a conventional drainage system to regulate peak flows in the urban basin of the Chilca River, after that, the SUDS implementation of the previously proposed system, finally, carry out the analysis of the impact of the proposal applying SUDS through SWMM hydraulic modeling.

# I. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Antecedentes

### 1.1.1. *Antecedentes Internacionales*

Según Trujillo (2015), en su Tesis de investigación sobre: Selección y Priorización de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles en el campus de la Universidad de Los Andes, demuestra que las metodologías planteadas por el Manual CIRIA, sobre priorización y selección permiten delinear un plan de gestión de aguas pluviales, que generaría menos problemas de escorrentía en el lugar de estudio, para las personas que habitan el sector una mejor calidad de vida, riesgo menor de inundaciones, asimismo otros beneficios que aportaría la construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible. Dicha investigación muestra lo esencial que es el uso de las matrices con el fin de identificar cuáles serían las mejores técnicas SUDS a efectuar en el lugar de estudio.

Según Castrillón Ocampo (2014), en su Tesis de indagación sobre: Estrategias para el control de inundaciones en la zona urbana de la cuenca del Río Meléndez. En dicha investigación, se concluyó que el modelo PC-SWMM permitió la estimación de la actuación hidráulica del sistema de drenaje y el efecto de la planificación de la administración de inundaciones presentadas. Esta tesis muestra la facultad de manejar paralelamente cuencas urbanas y rurales, además los requerimientos de investigación exponen la viabilidad de la herramienta SWMM como la más adecuada ya sea para dicho asunto o similares.

Según Pérez & Sora (2019), en su Tesis de investigación sobre: Descripción de los SUDS como alternativa de control y regulación de las Aguas Lluvias y Modelación de Tanques Tormenta en la Ciudad de Bogotá, afirma que con la implementación de dos tanques de tormenta (técnica SUDS) se obtuvo una disminución efectiva del caudal pico en las descargas

del sistema del 10% en comparación al modelo inicial sin SUDS. Esta tesis evidencia el impacto de los SUDS desde el punto de vista técnico, sin requerir modificaciones a la cobertura del suelo o mayor inversión en las redes existentes (tuberías y pozos), siendo necesaria únicamente la ejecución de obras puntuales que modificarán el comportamiento hidráulico de todo el sistema de drenaje.

### ***1.1.2. Antecedentes Nacionales***

Según Lima & Quispe (2018), en su Tesis de investigación sobre: Evacuación de aguas pluviales aplicando técnicas de drenaje urbano sostenible en la localidad de Alto Libertad. Perú, concluye que el sistema filtrante en los drenajes (técnica SUDS) retarda el tiempo de presentación del máximo caudal, además este método puede llegar a reducir el caudal que circula en las calles en un 60 %. Se muestra cómo las técnicas SUDS son más eficientes que el sistema tradicional de drenaje urbano, en el contexto nacional, presentándonos pautas a considerar en el diseño del sistema.

Según Calle Patiño (2019), en su Tesis de investigación sobre: Diseño de un Sistema de Drenaje Pluvial Eco-sostenible para la zona de Piura urbana, concluye que por medio la aplicación del sistema racional se encontró que los caudales son mínimos al máximo autorizado. La investigación presentada afirma que este procedimiento de análisis hidrológico es uno de los factores significativos para el posterior diseño del sistema de drenaje pluvial.

Según Luna Victoria Narro (2021), en su Tesis de investigación sobre: Diseño de un Sistema de Drenaje Pluvial Urbano en la ciudad de Otuzco, La Libertad mediante el uso del modelo matemático SWMM, recomienda la preparación de un procedimiento de aplacamiento de inundaciones por potencial rebose de quebradas y ríos que traspasan la localidad. Dicha tesis

muestra que incluso cumpliendo con la norma OS.060, el sistema de drenaje pluvial urbano no contempla una estrategia de control de inundaciones.

Según Cubas López (2021), en su Tesis de investigación sobre: Diseño de sistema de drenaje pluvial del Asentamiento Humano Los Algarrobos II y IV Etapa (Piura-Piura), señala que es fundamental reconocer los lugares en el cual desembocan las aguas, dado que representan el más grande inconveniente de inundaciones focalizadas en una cuenca. Esta tesis muestra cómo estas zonas tendrían que ser drenadas con premura y además impedir que las aguas de lluvias afecten el alcantarillado e ingresen a las construcciones.

### ***1.1.3. Antecedentes Locales***

Según Oliva & Vásquez (2017), en su Tesis de investigación sobre: Evaluación de la inundación por desborde del Río Chilca y de la quebrada Chutana. Distrito de Pucusana. Lima. Perú. Los autores de la investigación emplearon una modelación hidráulica numérica IBER para el cálculo de las elevaciones de inundación en un lugar del distrito de Pucusana, obteniendo alturas promedio de 1.50 m. Esta investigación nos permite tener una pauta en el análisis hidrológico de la zona durante un periodo máximas avenidas.

## **1.2. Fundamentación Científica**

### ***1.2.1. Aguas de lluvia***

A partir de la perspectiva de la ingeniería hidrológica, el ímpetu es el origen primario del agua del plano terrestre; sus intervenciones y estudios constituyen el punto de partida de los referentes estudios al control y utilidad del agua. La herramienta delegada para el registro de la elevación de la lluvia de acuerdo con el tiempo es denominada pluviógrafo, por el que se permite establecer la intensidad de la precipitación (Villón, 2004).

Esta información registrada en las estaciones meteorológicas es esgrimida como el ingreso en el sistema y los caudales consecuentes mediante este; se calculan esgrimiendo la circulación de caudales y operaciones de lluvia-escorrentía. Lo mencionado se denomina tormenta de diseño, el efectuarlo inicia con uso de valores puntuales de precipitación con técnica racional para establecer caudales elevados en alcantarillas de aguas de lluvia y alcantarillas de autopistas, finalizando con el uso de hietogramas de tormenta a modo de entradas para el análisis de lluvia-escorrentía en las represas de detención de aguas urbanas o diseño de vertederos en planes que impliquen grandes represas (Chow, 1994).

#### **1.2.1.1. Periodo de Retorno**

Para el diseño de estructuras hidráulicas se concede una vida rentable, siendo una fase de tiempo de espera donde la estructura se desempeñe bajo las especificaciones y criterios esgrimidos en su diseño. Según la estructura se puede determinar su vida útil o en base al diseñador que toma en cuenta los daños posibles de la estructura. “Hasta ahora, concebimos que el sistema de drenaje está establecido elementalmente por la red de alcantarilla o red de drenaje, y el principal problema que se esboza es concluir para qué tipo de eventos de lluvia correspondemos diseñar estas instalaciones. La pregunta adyacente es: ¿qué nivel de seguridad correspondemos esgrimir en el diseño de la red?” (Gómez Valentín, 2004).

La Tabla N° 1 evidencia la probabilidad de que un suceso de periodo de retorno de T años suceda en un periodo de tiempo de n años, señalada en porcentaje.

**Tabla N° 1**

*Probabilidad de que un suceso de periodo de retorno T ocurra en n años*

Periodo de N Años	T=5	T=10	T=50	T=100	T=500
1	20	10	2	1	0.2
2	36	19	4	2	0.4
5	67	41	10	5	1
10	89	65	18	10	2
20	99	88	33	18	4
50	99.9	99.5	64	40	10
100	99.9	99.9	87	63	18
500	99.9	99.9	99.9	99.3	63

Nota. Adaptado de Probabilidad de que un suceso de periodo de retorno T ocurra en n años, por Gómez Valentín, 2004, Ingeniería Hidrológica.

### **1.2.1.2. Número de curva**

Se fundamenta en el técnico propuesta por el Soil Conservation Service, esgrimiendo el criterio del modelo Tipo de Suelo Hidrológico, según el uso de la tierra y tipo de suelo. Se precisan cuatro grupos de suelos:

- Grupo A: Arena profunda, limos agregados, suelos profundos depositados por el viento.
- Grupo B: Suelos pocos profundos depositados por el viento, marga arenosa.
- Grupo C: Margas arcillosas, suelos con bajo contenido orgánico, margas arenosas poco profundas y suelos con altos contenidos de arcilla.
- Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, ciertos suelos salinos y arcillas altamente plásticas.

Los valores de CN para diferentes tipos de querencia de la tierra para los mencionados tipos de suelos se exponen en el Anexo 5. Para una cuenca formada de diferentes tipos de suelos

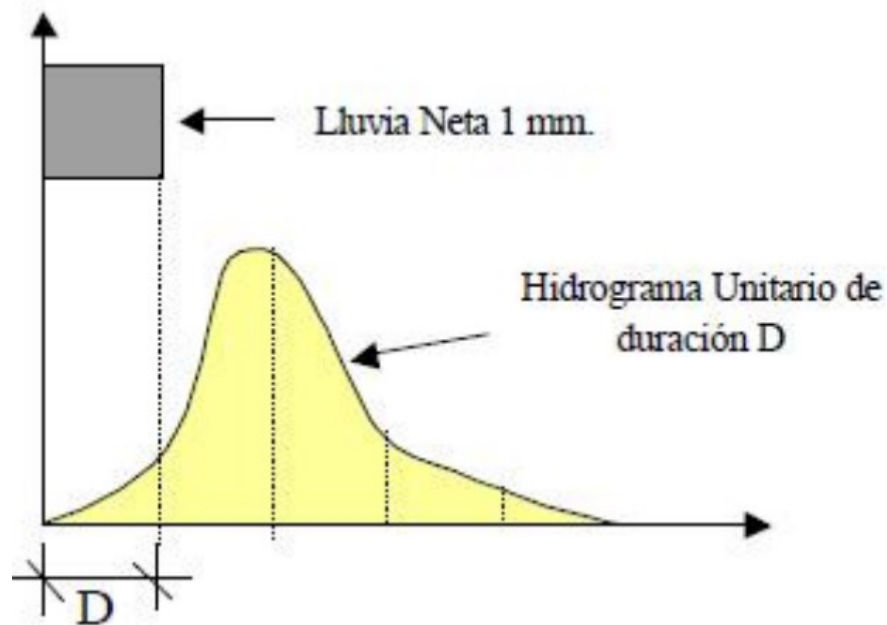
y con desiguales usos de la tierra, se consigue calcular un CN compuesto. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones).

### 1.2.1.3. Hidrograma Unitario

Se define el concepto de hidrograma unitario como el hidrograma resultante de un impulso de lluvia efectiva unitaria distribuido uniformemente sobre la cuenca y constante durante una unidad de tiempo. El hidrograma unitario instantáneo así definido considera que la transformación lluvia-caudal es la de un sistema lineal e invariable en el tiempo. (Gómez, 2007). En general, se suele referir a una duración cualquiera  $D$ , por lo que se tiene el hidrograma como se visualiza en la Figura 1.

**Figura 1**

*Hidrograma Unitario*



Nota: Adaptado de Hidrograma Unitario, Gómez, 2007. Hidrología Urbana.

Las propiedades finales reconocen que la respuesta de la cuenca es semejante al inicio y final de las lluvias. A pesar de que no es rigurosamente verdadero, se consiente como hipótesis

que facilita su ocupación. El hidrograma unitario es la forma más general utilizado en la investigación hidrológico de cuencas naturales. La cualidad del método reside en que el hidrograma unitario sea característico de la situación de la cuenca.

De manera que, debe conseguirse a partir de proporcionadas de campo, de las que se pueda extirpar el hidrograma unitario. Diferente opción es acudir a hidrogramas unitarios sintéticos, en otros términos, acercamientos al hidrograma unitario fundadas en data resumidos de la cuenca, como el tiempo de concentración, etc. Y estos acercamientos cuando la cuenca es chica pueden conjeturar notables discrepancias con la realidad. (Gómez, 2007).

- ✓ Hidrograma Unitario Triangular SCS
- ✓ Hidrograma Unitario Adimensional SCS
- ✓ Hidrograma Unitario de Clark

#### **1.2.1.4. Curvas Intensidad Duración Frecuencia**

Concebimos por intensidad, profundidad o la altura de precipitación por unidad de tiempo (mm/h). Ordinariamente se esgrime una intensidad estándar señalada como.

$$i = \frac{P}{Td}$$

*Curvas Intensidad Duración Frecuencia*

En donde:

- i: Intensidad de la precipitación (mm/h).
- P: Profundidad de la precipitación (mm).
- Td: Duración de la precipitación (h).

No obstante, la frecuencia es el curso de tiempo promedio que existe entre precipitaciones de igual o mayor magnitud a la lluvia de diseño estimado en función al periodo de retorno T.

### **Método de Dick Peschke**

El método de Dick Peschke se esgrime para tormentas con duraciones mínimas a 1 hora o en casos que no se detalle con registros pluviográficos para la elaboración de intensidades máximas, esta técnica concierne la precipitación máxima de 24 horas con la duración de la tormenta conforme a la expresión siguiente:

$$P_D = P_{24h} \times \left( \frac{D}{1440} \right)^{0.25}$$

*Método de Dick Peschke*

En donde:

- $P_D$ : Precipitación total (mm).
- $P_{24h}$ : Precipitación máxima en 24 horas (mm).
- $D$ : Duración en minutos.

#### **1.2.1.5. Hietograma de Diseño**

Las metodologías esgrimidas, como el método racional, sólo supone el caudal pico sin suponer el tiempo de distribución del caudal o la distribución temporal de la precipitación tal como lo demuestra Chow et al. (1994). En el presente un buen modelo hidrológico demanda mucho más que valores de intensidad y duración de una tormenta, por ese motivo, la altura de precipitación en mm de una tormenta que se ocasiona en una duración “d” en horas, se tiene que considerar el progreso de esa precipitación a lo largo de todo el periodo de tiempo “d” que dura la tormenta. (Ven te Chow,1994).

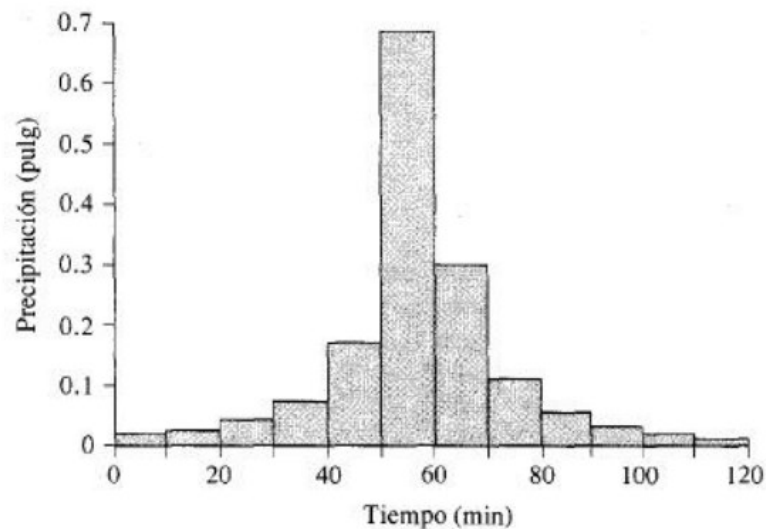
### **Método de Los Bloques Alternados**

Esta metodología escueta para el progreso de un hietograma de diseño en base a las curvas IDF, en la Figura 2 se expone el método, que reside en preferir un periodo de retorno

concreto, ya con la Curva IDF concerniente a ese periodo de retorno, lo que se hace es dividir la duración total de la precipitación en intervalos de tiempo más chicos e iguales. (Ven te Chow et al. ,1994)

## Figura 2

*Hietograma de diseño construido con el método de bloques alternados*



Nota: Adaptado de Hietograma de diseño construido con el método de bloques alternados.

Ven te Chow et al. (1994), Hidrología Aplicada.

### 1.2.1.6. Caudal de diseño

#### A. Método Racional

El método Racional es una representación escueta del proceso lluvia-escorrentía, en la cual los efectos de la lluvia y de la zona de cuenca son tomados abiertamente y las secuelas de los medios físicos de la cuenca se consideran de manera indirecta a través del  $T_c$  y del valor de  $C$ . La infiltración y otras mermas no se consideran de una manera física real, tan solo indirecta global en el coeficiente de escorrentía  $C$  según se expuso inicialmente. El almacenamiento

temporal de la escorrentía sobre el terreno y en los cauces, al igual que las variaciones temporales y espaciales de la lluvia no se toman en cuenta por completo, por ello la técnica sólo es admitido cuando los mencionados efectos son pequeños (Campos, 2010).

El Método Racional emplea la siguiente fórmula:

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

*Método Racional*

- Q: caudal (l/s)
- I: intensidad de la lluvia (mm/h)
- A: área de la cuenca (m<sup>2</sup>)

Con la finalidad de utilizar la metodología racional se debe considerar que la cuenca debe ser  $\leq 13$  km<sup>2</sup> según Chow, Maidment, & Mays (2000). Pero si la cuenca urbana es  $> 13$  km<sup>2</sup> se pueden esgrimir hidrogramas unitarios o piloto de simulacro.

### **Coeficiente escorrentía**

El coeficiente de escorrentía es un valor que para su elección se demanda de buen juicio y capacitación. Se estiman algunas características como, aplazado y grado de impermeabilización del plano, condiciones y peculiaridades del suelo (capacidad de infiltración, humedad, etc.), acopio por depresiones del terreno, duración e intensidad de la precipitación, cercanía del nivel freático. En la zona de drenaje se cuenta con espacios impermeables y permeables donde cae la lluvia. Se evalúan impermeables a los andenes pavimentos, tejados y patios; por el contrario, son permeables parques, prados, potreros y bosques (Pérez, 2015).

## ***B. Modelamiento Hidrológico con HEC-HMS***

El modelo Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), de acceso libre, fue perfeccionado por el Centro de Ingeniería Hidrológica, por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE.UU, este piloto de simulación hidrológica semi distribuido está planteado para evaluar hidrogramas de salida en una o varias subcuencas, empleando para ello técnicas numéricas como, pérdidas por infiltración, cálculo de hietogramas de diseño, flujo base y transformación de lluvia en escorrentía directa. (Menéndez & Re, 2009).

El HEC-HMS es un piloto hidrológico de simulación del proceso lluvia-escorrentía, aplicado en simulaciones hidrológicas de ejemplar eventual y perennes (Bedient, Huber, & Vieux, 2008).

El método de transformación cambia el exceso de lluvia en escorrentía cuando el suelo está atiborrado. Los métodos disponibles en el modelo HEC-HMS son los siguientes:

- Kinematic Wave
- ModClark
- User Specified S-Graph
- User Specified Unit Hydrograph
- Hidrogramas Sintéticos: Clark, SCS y Snyder

Los hidrogramas sintéticos se edifican a partir de información sobre particularidades frecuentes de la cuenca, y su principio es el de valorar la evolución del exceso de lluvia la escorrentía a partir de un diagrama unitario paramétrico, el cual esgrime particularidades externas al comportamiento juzgado de la lluvia para apreciar dicha transformación (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

### 1.2.1.7. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración dentro del lugar urbana continúa conservando la definición tradicional en hidrología, en otros términos, el tiempo que difiere una gota desde el punto más apartado de la cuenca en conseguir el punto en el cual pretendemos establecer el tiempo de concentración. No obstante, las particularidades del hecho urbano se reflejan que el agua transita regularmente dos tipos de caminos: el primero superficial, hasta conseguir alguna de los dispositivos de captación y ser atrapada por la red; el segundo, por la propia red de drenaje. (Gómez, 2007).

Para esta investigación se emplearán las ecuaciones empíricas esbozadas por algunos autores para establecer el tiempo de concentración.

#### 1.2.1.7.1 *Federal Aviation Administration*

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

*Federal Aviation Administration*

Donde:

- $t_c$ : tiempo de concentración (min)
- $L$ : longitud de escurrimiento superficial (m)
- $S$ : pendiente promedio de la cuenca (m/m)
- $C$ : coeficiente de escorrentía del método

#### 1.2.1.7.2 *Kirpich*

$$t_c = 0,02L^{0,77} * S^{-0,385}$$

*Ecuación de Kirpich*

Donde:

- $t_c$ : tiempo de concentración (min)
- L: longitud de escurrimiento superficial (m)
- S: pendiente promedio de la cuenca (m/m)

#### **1.2.1.7.3 California Culverts Practice**

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

*California Culverts Practice*

Donde:

- $t_c$ : tiempo de concentración (min)
- L: longitud de escurrimiento superficial (m)
- H: diferencia de altura en la cuenca (m)

#### **1.2.1.7.4 Ecuación de Retardo SCS:**

$$t_c = \frac{0.0136 * L^{0.8} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{S^{0.5}}$$

*Ecuación de Retardo SCS*

Donde:

- $t_c$ : tiempo de concentración (min)
- L: longitud de escurrimiento superficial (m)
- CN: número de curva según SCS
- S: pendiente promedio de la cuenca (m/m)

#### **1.2.1.7.5 Método de Témez:**

$$t_c = 0.3 * L^{0.8} \left( \frac{L}{i^{0.25}} \right)^{0.76}$$

*Ecuación de Témez*

Donde:

- $t_c$ : tiempo de concentración (min)
- $L$ : longitud del curso de agua más largo (Km)
- $i$ : Pendiente promedio de la cuenca, m/m

#### **1.2.2. Sistema Urbano de Drenaje Sostenible**

Un sistema de alcantarilla se nombra como el conjunto de estructuras y conductos destinados a recoger, transportar, evacuar y disponer las aguas a causa del movimiento humana o precipitaciones. De modo que, en toda zona donde exista la presencia de lluvias o sistema de suministro de agua se demanda un sistema de evacuación (Pérez, 2015).

Estos sistemas se deben diseñar con el objetivo de incrementar los beneficios y oportunidades de una apropiada gestión de aguas superficiales; la filosofía de técnicas SUDS es personalizar un ciclo hidrológico natural delantero a la actividad humana o urbanización. Diferente intención de estas técnicas es garantizar la reducción de los impactos del crecimiento urbanístico en correlación a la calidad y cantidad de la escorrentía, de esta manera también mejorar el aspecto paisajístico, social y ambiental de la comunidad.

Un aspecto importante de las técnicas SUDS corresponde a solucionar un gran problema presentado en la red de colectores convencionales, el cual es la disminución de y caudales

máximos y volúmenes de escorrentía, de esta manera se puede aumentar el porcentaje de daños ante una posible inundación en periodos de máximas avenidas.

**Tabla N° 2**

*Comparación del Sistema de Drenaje Convencional y el Sistema Alternativo SUDS*

	SISTEMA CONVENCIONAL DE COLECTORES	SISTEMA ALTERNATIVO SUDS
Coste de Construcción	Puede ser equivalentes, aunque los usos indirectos de los SUDS reducen su coste real	
Costes de Operación y Mantenimiento	Establecido	No establecido: falta experiencia
Control de inundaciones en la propia cuenca	Si	Si
Control de inundaciones aguas abajo	No	Si
Reutilización	No	Si
Recarga/Infiltración	No	Si
Eliminación de contaminantes	Baja	Alta
Beneficios en servicio al ciudadano	No	Si
Beneficios educacionales	No	Si
Vida Útil	Establecida	No Establecida: falta experiencia
Requerimientos de Espacio	Insignificante	Dependiendo del sistema pueden ser importantes
Criterios de diseño	Establecidos	No establecidos: falta experiencia

Nota. Adaptado de Comparación del Sistema de Drenaje Convencional y el Sistema Alternativo SUDS, Perales y Domenech, 2007, Congreso Nacional de la Ingeniería Civil.

Como se muestra en la Tabla N°2, a pesar que los SUDS garantizan un mejor desempeño en el control de inundaciones, reutilización del agua, eliminación de contaminantes, y demás beneficios en general; también es de resaltar que sus costos de construcción y criterios de diseño no están aún establecidos; sin embargo, en los últimos años la organización CIRIA

(Construction Industry Research and Information Association) viene publicando guías como el SUDS manual, el cual contiene criterios de selección, diseño y mantenimiento de estos sistemas (Perales & Domenech).

### **1.2.2.1. Tipos de SUDS**

Según Abellán A. Las técnicas de drenaje urbano sostenible se las puede catalogar de incomparables formas. La habitual y sencilla es por medio de dos subdivisiones. La subdivisión primera es por medio de no estructurales siendo las que no presumen la colocación de ninguna estructura provechosa y para las estructurales se requieren medidas de la edificación de uno o diversos elementos. Para la subdivisión segunda, entre de las medidas estructurales residiría en distinguir entre, medidas de retención, de infiltración, detención y retardo y medidas que usan vegetación de filtración.

#### ***1.2.2.1.1 Medidas no estructurales***

Las medidas no estructurales son aquellas que no urgen ni actuación directa sobre la red, ni la construcción de infraestructura alguna. (CIIA- 2017). Como, por ejemplo:

- Educación y programas de participación ciudadana para sensibilizar sobre el problema de la gestión del agua y hacer cómplice del proceso de gestión hidrológica a la población, integrando sus imposiciones en la ejecución de los programas.
- Limpieza y mantenimiento habituales del sistema de colectores subterráneos, de canales superficiales de las carreteras y calles para disminuir la acumulación de contaminantes que consecutivamente serán arrastrados por el agua de escorrentía.
- Impedir que la escorrentía entre en contacto con contaminantes, vigilando la concentración de herbicidas y fungicidas en parques y jardines, vigilando los lugares

en obras para impedir el arrastre de sedimentos e interviniendo en las conexiones ilegales al sistema de drenaje.

- Uso de procedimientos de actuación y equipamiento apropiado para tratar episodios de vertidos accidentales ágilmente con técnicas en seco en lugar de la tradicional limpieza con agua.
- Recogida y reutilización de aguas pluviales por parte del ciudadano.

#### ***1.2.2.1.2 Medidas estructurales***

Se toman como medidas estructurales a las que gestionan la escorrentía mediante actuaciones que contengan algún elemento constructivo o supongan la adopción de criterios urbanísticos ad hoc. (CIIA- 2017). Las más utilizadas son:

##### **1.2.2.1.2.1 Pavimentos permeables**

Residen en un grupo de sistemas cuyo importante propósito es reemplazar el pavimento convencional por un tipo de pavimento que consienta drenar el agua hacia el subsuelo, de manera que la escorrentía no se acopie en la superficie. Contiene un grupo de componentes subterráneos que no conforman los pavimentos convencionales, mediante los cuales se da el proceso de infiltración y filtración hacia el subsuelo. Puesto que ese tipo de pavimentos es más perceptivo frente al peso y la velocidad del tráfico que puede aguantar en comparación con los sistemas tradicionales, su ejecución no se recomienda en avenidas de alto tráfico ni en zonas en el que transite tráfico pesado, se tiene la probabilidad de que el suelo y las capas superficiales se desestabilicen, haciendo que se dividan los intersticios de las capas. Debido a ello, los primordiales espacios de implementación de este tipo de estructuras consisten en los parqueaderos descubiertos, las bahías públicas de estacionamiento y en vías con baja carga

peatonal o vehicular (Universidad de los Andes, 2017). En la Figura 3 se aprecia algunos de los tipos de pavimentos permeables.

### **Figura 3**

#### *Tipos de Pavimentos Permeables*



Nota. Se visualiza los distintos tipos de pavimentos permeables, adaptado de Pavimentos Permeables, Universidad de los Andes, 2017, Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA.

#### **1.2.2.1.2.2 Zanjas de infiltración**

Las Zanjas o trincheras de infiltración son una de las tipologías de SUDS más implementadas, a causa de su flexibilidad en cuanto a construcción y localización. Esta estructura comúnmente radica en una excavación lineal y cuadrangular, que es completada con material granular, y en casos particulares, conectada con estructuras de drenaje suplementarias. Esta tipología tiene como ocupación primordial la obstrucción y detención temporal del flujo de agua de escorrentía derivado de un evento de lluvia. El agua es almacenada en los intersticios del material granular, para disminuir el caudal pico, e inmediatamente infiltrar en el suelo circundante el volumen acopiado a través del fondo de la estructura. En este sentido, se suelen envolver con geotextil las paredes laterales de la excavación, para avalar la dirección vertical

del flujo y prevenir la inestabilidad del suelo inmediato. En algunos sucesos el fondo de la zanja igualmente es protegido con geotextil, a causa de que la calidad de la escorrentía interceptada puede comprometer de manera considerable en caso de que recarguen los acuíferos ubicados en el lugar intervenido. En la Figura 4 se estima que, en otros casos, se cubre el fondo de la zanja cuando el suelo intervenido no tiene una buena tasa de infiltración, y es necesaria la instalación de tuberías que evacuen el volumen de agua almacenado (CIIA, 2017).

#### **Figura 4**

*Ejemplo de aplicación de zanja de infiltración*



Nota: Adaptado de aplicación de zanja de infiltración, Universidad de los Andes, 2017, Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA.

El material granular utilizado para este tipo de estructura desempeña la función de filtro de sedimentos y partículas gruesas, por tanto, las zanjas tienen potencial para perfeccionar la calidad del agua de escorrentía, por medio de procesos de intercepción y absorción de contaminantes. Existen varios tipos de materiales que pueden ser esgrimidos para dicho puesto. El habitual es la piedra o roca a causa de su bajo costo y sencilla adquisición. No obstante,

actualmente existe una extensa cantidad de opciones (cristales de zeolita, carbón activado, escombros, módulos agregados de plástico y arenas) que pueden componer la totalidad del relleno de la zanja o conformar combinaciones parciales con roca, de modo que sea posible acrecentar significativamente la absorción de contaminantes concretos y dilatar el tiempo de colmatación del reservorio. (CIIA, 2017)

### **Figura 5**

*Ejemplo de construcción de zanja de infiltración con drenaje*



Nota: Adaptado de construcción de zanja de infiltración con drenaje, Universidad de los Andes, 2017, Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA.

Este tipo de estructura de infiltración habitualmente posee una capacidad limitada de operación, a causa de que las partículas y sedimentos atrapados en el estanque reduce gradualmente la eficiencia de la misma. En consecuencia, es necesario agregar a esta tipología algunas estructuras previas de pretratamiento que reduzcan la carga de sedimentos de la escorrentía interceptada. Las estructuras habituales son las franjas de césped (ver Figura 5), que

son coberturas lineales de césped muy denso situadas en lugares de ingreso de la escorrentía. En la medida en que el flujo de agua traspasa este tipo de cubierta vegetal, se disminuye la cantidad de sedimentos que ingresan al estanque de la zanja. Las franjas de césped pueden tener ornamentos florales que mejoren la visualización urbana de esta tipología, con el fin de aumentar así el valor paisajístico de la misma. (CIIA- 2017)

#### **1.2.2.1.2.3 Alcorques Inundables**

Esta tipología reside, habitualmente, en una caja de concreto prefabricada, situada en condición subterránea, y rellena con suelo compuesto por una mezcla de arena, grava y compost vegetal, para de esta manera replantar un arbusto o árbol de mediana envergadura. De esta manera, la parte superior de la estructura se halla a nivel con las superficies viales o peatonales, para de esta manera facilitar la entrada de la escorrentía a este tipo de estructura. Una vez el agua ingresa, ésta se almacena y contiene temporalmente en los intersticios del suelo empleado, interactuando directamente con la planta instalada. Favoreciendo al tratamiento del agua a partir de los procesos físicos de filtración del suelo, asimismo de forma biológica a partir de la captación radicular por medio de la planta. En este sentido, las particularidades de las plantas presentes en esta tipología deben tomarse en consideración, ya que el desarrollo de éstas no debe afectar la estructura prefabricada (Medina et. al, 2018). En la Figura 6 se aprecia ejemplos de su estructura interna de dicho sistema.

## Figura 6

### *Ejemplo de Alcorques Inundables*



Nota: Perspectivas internas de la estructura del sistema. Adaptado de Alcorques Inundables, Medina et. al (2018), Universidad Católica de Colombia, Programa de Especialización en Recursos Hídricos.

#### **1.2.2.1.2.4 Depósitos y estanques de infiltración**

Son depresiones en el terreno o embalses poco profundos que se diseñan para almacenar e infiltrar progresivamente la escorrentía generada en las superficies adyacentes. El propósito de estos depósitos es la transformación de un flujo superficial en subterráneo, excluyendo los contaminantes mediante filtración, absorción y transformaciones biológicas. Aparte de contar con la capacidad de tratar la contaminación disuelta todavía tienen capacidad para minimizar los efectos de la contaminación térmica sobre los medios receptores, ya que la temperatura del

agua se temple con el ambiente antes de ser vertida. (Abellán, 2014). En la Figura 7 se aprecia un ejemplo del sistema mencionado.

### **Figura 7**

*Ejemplo de Depósitos y estanques de infiltración*



Nota: Ejemplos de perspectivas de antes y después de su aplicación del sistema propuesto.

Adaptado de Depósitos y estanques de infiltración, Abellán, 2014, SuD Sostenible (<http://sudsostenible.com/>).

#### **1.2.2.1.2.5 Franjas filtrantes**

Las franjas filtrantes son franjas de suelo cubiertas de vegetación, anchas y con poca pendiente, estacionadas entre una superficie impermeable y el medio que recibe la escorrentía. Esta práctica beneficia la sedimentación de las partículas y contaminantes arrastrados por el agua, así como la infiltración del agua. (Abellán, 2014)

Las pendientes de las franjas filtrantes deben ser suaves y la anchura a cruzar por el agua lo mayor posible ya que a mayor ancho y alta densidad de vegetación se obtiene una mayor

capacidad filtrante y un considerable grado de depuración. Las franjas de filtración pueden acoger cualquier forma de vegetación natural, comenzando en un prado hasta un pequeño bosque. (Abellán, 2014). En la Figura 8 se ve la aplicación en una zona urbana.

### **Figura 8**

#### *Ejemplo de Franjas filtrantes*



Nota: Zona urbana con la aplicación del sistema. Adaptado de Franjas filtrantes, Abellán, 2014, SuD Sostenible (<http://sudsostenible.com/>).

#### **1.2.2.1.2.6 Depósitos superficiales de detención**

Son depósitos que almacenan de temporalmente la escorrentía generada aguas arriba, laminando los caudales punta y atenuando los picos de caudal (Ver Figura 9). Esto disminuye ampliamente el riesgo de inundación. Como no acumulan agua de forma indeleble, también se les llama depósitos secos.

Benefician la sedimentación de contaminantes eliminándolos así de la masa de agua. Pueden ser arreglados con otros usos, como en parques, recreacionales e instalaciones deportivas o localizarse en “lugares muertos”, lugares que no tienen ningún uso en la actualidad ni proyectado.

Para un correcto funcionamiento el área drenante ha de estar comprendida dentro 4-30 hectáreas; la pendiente longitudinal, ha de ser menor a 15%, las diferencias de cotas entrada-salida del agua ha de ser de metro y medio, se tiene que impermeabilizar anticipadamente el suelo. (Abellán A. 2014).

### **Figura 9**

*Ejemplo de Depósitos superficiales de detención*



Nota: Zona urbana con la aplicación del sistema. Adaptado de Depósitos superficiales de detención, Abellán, 2014, SuD Sostenible (<http://sudsostenible.com/>).

#### **1.2.2.1.2.7 Estanques de retención**

Son lagunas artificiales que tienen agua de forma permanente por lo que aprueban la proliferación de flora y fauna acuáticas (Ver Figura 10). Su profundidad ha de estar

comprendida entre 1,2-2 m. El volumen de agua invariable oculta bancos de sedimentos antiestéticos e acrecienta el rendimiento en la eliminación de nutrientes, metales pesados, coliformes y materia orgánica. La particularidad esencial que tiene este sistema es su capacidad de eliminación de contaminantes, ya sea por sedimentación o por procesos de biodegradación llevados a cabo por las plantas y microorganismos que allí habitan.

Se dimensionan para garantizar extensos periodos de conservación de la escorrentía, de 2-3 semanas. Ya que demandan de un caudal base elevado, este tipo de estanque se esgrime en estrategias de control regional. (Abellán A. 2014).

### **Figura 10**

#### *Ejemplo de Estanques de retención*



Nota: Zona urbana con la aplicación del sistema. Adaptado de Estanques de retención, Abellán, 2014, SuD Sostenible (<http://sudsostenible.com/>).

#### **1.2.2.2. Modelación de sistemas de drenaje urbano**

Estos modelos son utilizados para estudios, operación, diseño y manejo de sistemas de drenaje complejos, por planificadores, consultores y científicos que trabajan en el campo de la

hidrología urbana (Cambez et al., 2008; Kleidofe, 2009). Con ellos, se pueden asemejar zonas que se hallen en riesgo de sufrir inundaciones (Rukma, 2003). Asimismo, permiten la incorporación de diversos escenarios para analizar el comportamiento del sistema bajo desiguales condiciones, lo cual es de gran categoría en el proceso de planeación, ya que consiente a los actores llegar a un convenio de los riesgos e incertidumbres en el proceso de planeación, valorando en forma sistemática y consistente tendencias futuras posibles, y el impacto que probablemente tendrán en el sistema (Batchelor y Butterworth, 2008; CINARA-UNIVALLE., 2010).

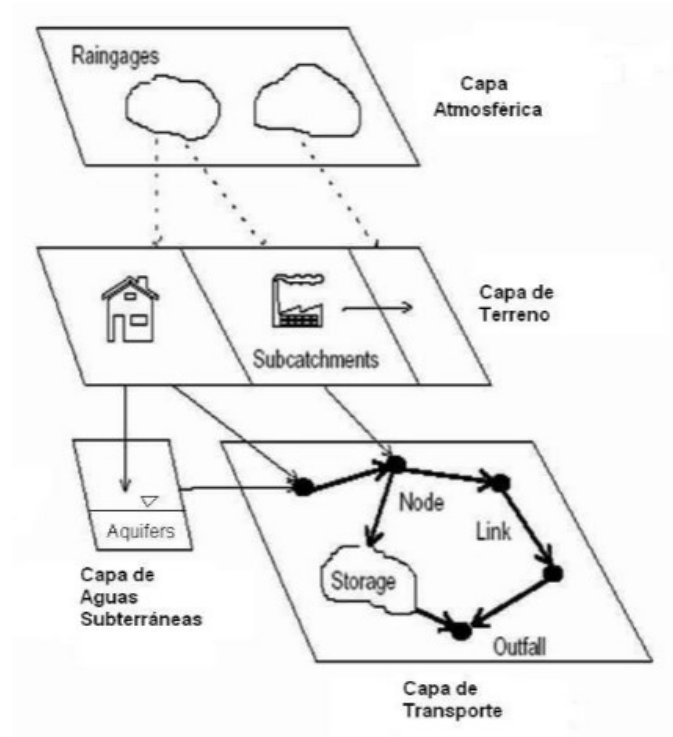
### **1.2.2.3. Modelo SWMM**

SWMM es un piloto dinámico de simulacro de precipitación desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) en 1971, que puede ser utilizado para un único evento o para simulacro continuo en periodo extenso. Permite suponer el comportamiento hidráulico e hidrológico de un sistema de drenaje urbano, en términos de cantidad y calidad del agua. Conjuntamente, a partir de la versión 5 permite modelar SUDS (Concha, 2007). Se ha empleado en diversos lugares del mundo desde su creación y entre sus diligencias se encuentran:

El modelo en SWMM conceptualiza un sistema de drenaje como una serie de flujos de agua y materiales entre varios compartimientos. Estos compartimientos y sus respectivos propósitos incluyen (Ver Figura 11) (Rossman, 2010):

**Figura 11**

*Modelo conceptual del sistema de drenaje urbano*



Nota: Adaptado de Modelo conceptual del sistema de drenaje urbano, Concha, R., 2007, Curso de análisis y rehabilitación de redes de alcantarillado mediante el código SWMM 5.0.

### **1.3. Justificación de la investigación**

#### **1.3.1. Beneficio Social**

La investigación presente se justifica por la necesidad de un sistema que pueda controlar las aguas de lluvia y a su vez, combine aspectos hidrológicos, medioambientales y sociales; tal como son las técnicas SUDS; ya que no existe ninguna infraestructura pluvial en la ciudad actualmente, además este debe ajustarse a las condiciones que el área de drenaje presenta y a los criterios de diseño SUDS que son necesarios para que este sistema sea eficiente y capaz de afrontar las grandes crecidas presentadas en el entorno donde se desarrollaría.

### ***1.3.2. Aporte Científico***

Ante la falta de investigaciones sobre el tema de las técnicas SUDS en el territorio peruano, el presente estudio pretende contribuir en las investigaciones efectuadas en la localidad, e incluso a nivel nacional; por tal razón, en la investigación presente se planteó una propuesta de un nuevo Sistema de Drenaje bajo la aplicación de los SUDS siguiendo las normativas CIRIA del Reino Unido. El objetivo principal de esta investigación es presentar un Sistema de drenaje Sostenible como alternativa de solución ante este problema, concretamente lo que se busca es disminuir los caudales picos y los volúmenes de esorrentía.

## **1.4. Problema de investigación**

### ***1.4.1. Realidad Problemática***

En la actualidad se han presentado avenidas extraordinarias en la cuenca del Río Chilca, afectando de manera considerable la infraestructura social y pública del Distrito de Pucusana. La quebrada del río Chilca concierne a la cuenca hidrográfica del Océano Pacífico, con nacientes en la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes, con camino casi perpendicular en dirección oeste hasta su entrega al mar a través de su cauce sur atravesando el distrito Chilca; pero hacia el norte toma un llamado cauce norte que no descarga hacia al mar sino se dirige hacia Pucusana a través de un canal artificial construido en los años 60' el cuál en las máximas avenidas produce inundaciones al final de este a la altura de la vía de acceso a la ciudad de Pucusana.

Según el ANA (Autoridad Nacional del Agua) en su Informe Técnico “Diagnóstico y Determinación del Cauce del Río Chilca para el Control de Máximas Avenidas desde el Sector La Palma Hasta su Descarga al Mar-Parte I”, como parte del Proyecto de Inversión Pública

“Obras de encauzamiento, defensas y control ribereñas del Río Chilca” describe los siguientes eventos de máximas avenidas:

- Durante el siglo XX hasta antes del fenómeno El Niño extraordinario de 1997-1998 acontecieron 25 sucesos del fenómeno mencionado a diferente intensidad. Las crónicas bibliográficas muestran que los sucesos del fenómeno El Niño de 1891 y 1925, fueron sucesos de ímpetu semejante a los de 1982-1983 y 1997-1998. En lo que va del siglo XXI, de acuerdo con el Índice ONI (Oceanic Niño Index) de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), se presentaron cuatro sucesos del fenómeno El Niño en el Pacífico central: dos de intensidad débil (años 2004-2005 y 2006-2007) y dos de intensidad moderada (años 2002-2003 y 2009-2010).
- En 1983 se rebasó el río Chilca erosionando las bases de la carretera panamericana sur por el aumento del huayco que aquejó a los lugares de la periferia, en 1994 el ministerio de transportes y comunicaciones terminó la nueva autopista de la Panamericana sur, que es la única vía de acceso pavimentada al distrito. En 1997 el fenómeno aquejó a la agricultura del valle en las partes bajas.
- Por medio del D.S N 045-2015-PCM (05 julio 2015), se emitió el Estado de Emergencia en circunscripciones y provincias percibidos en muchos departamentos de todo el país, por peligro apremiante ante el periodo de lluvias 2015-2016 y la ocurrencia del Fenómeno, el cual se mantuvo en los informes de estimación de riesgos desplegados por la Autoridad Nacional del Agua, asimismo el informe técnico del INDECI marcó que los efectos del periodo de lluvias 2015-2016, así como la ocurrencia del Niño pueden ocasionar inundaciones con secuelas catastróficas.
- El último suceso climatológico presentado en nuestro territorio, el Niño Costero, inició a desplegarse en Perú a finales de noviembre del año 2016, aquejando a los

departamentos del norte del país como La Libertad, Lambayeque, Piura y Tumbes. En marzo del 2017, INDECI reportó un total de 101 fallecidos, 353 heridos, 19 desaparecidos, 141000 damnificados y casi un millón de afectados a nivel nacional. fue afectada Lima metropolitana en 17 distritos como Chaclacayo, Pucusana San Juan de Lurigancho, Cieneguilla, Huachipa y Rímac.

Si bien es cierto que ya se han presentado alternativas técnicas para evitar daños en las infraestructuras de la zona durante los periodos de máximas avenidas, estas aún proponen métodos convencionales como la utilización de un sistema de alcantarillas de concreto armado, defensas riverañas (diques, gaviones, etc.) en el cual la noción de aguas pluviales se piensa más, un remanente que un recurso (Carrasco, 2009). Otra manera de regular y controlar estas máximas avenidas es a través de la ejecución de un sistema no convencional SUDS (Sistema Urbano de Drenaje Sostenible), el cual permite la gestión de las aguas pluviales desde una perspectiva diferente, que combina aspectos medioambientales, hidrológicos y sociales. Precisamente, las Técnicas SUDS se ofrecen como una opción y un mejoramiento al tratamiento convencional y, efectivamente, son una solución en sí mismos (Rodríguez, 2008). Esta filosofía de diseño es la que exige a la institución de sistemas que permitan reducir los caudales máximos generados por la escorrentía pluvial, no sólo perfeccionando la gestión de las aguas pluviales, sino la gestión del agua en general, tanto en cuanto al suministro como al drenaje y posterior tratamiento (Rodríguez, 2005).

#### ***1.4.2. Formulación del problema***

La situación de peligro en que la población de Pucusana se encuentra en cada periodo de avenidas permite plantear la siguiente interrogante:

¿Cómo realizar el análisis hidráulico de un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS) para regular las aguas pluviales en la cuenca urbana del río Chilca, distrito de Pucusana, Lima 2022?

Además, se presentaron otras interrogantes específicas a tener en consideración.

- ¿Cómo analizar el comportamiento hidráulico de un sistema de drenaje convencional para regular las aguas pluviales en la cuenca urbana del río Chilca, distrito de Pucusana, Lima 2022?
- ¿Cómo implementar SUDS para mejorar el comportamiento hidráulico de un sistema de drenaje convencional en la cuenca urbana del río Chilca, distrito de Pucusana, Lima 2022?
- ¿Cómo analizar el impacto del Sistema de drenaje con SUDS mediante el modelamiento hidráulico EPA-SWMM en la cuenca urbana del río Chilca, distrito de Pucusana, Lima 2022?

### **1.5. Conceptuación y operacionalización de las variables**

Es una característica o propiedad que puede ser medible y observada (Sampieri, 2015).

Para esta investigación se cuenta con dos variables, las aguas de lluvia y el Sistema Urbano de Drenaje Sostenible.

**Tabla N° 3**

*Operacionalización de las Variables*

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	INSRUMENTO
Aguas de lluvia (V.D.)	A partir de la perspectiva de la ingeniería hidrológica, el ímpetu es el origen primario del agua del plano terrestre; sus intervenciones y estudios constituyen el punto de partida de los referentes estudios al control y utilidad del agua. La herramienta delegada para el registro de la elevación de la lluvia de acuerdo con el tiempo es denominada pluviógrafo, por el que se permite establecer la intensidad de la precipitación (Villón, 2004).	Las aguas de lluvia hacen referencia a la información de las precipitaciones provenientes de las inundaciones que determinan las condiciones de diseño iniciales para el sistema de drenaje. Por ello, se realizó un modelamiento hidrológico del medio receptor (cuenca urbana del Río Chilca), aplicando métodos de cálculo de caudales máximos, para lo cual, también se procesó información pluviométrica extraídas de ANA y SENAHMI, además de calcular el tiempo de concentración de la escorrentía de lluvia en la cuenca, el Número de Curva (con ArcGIS) y las intensidades máximas (mediante el método de bloques alternos) para un periodo de retorno de 5 años por tratarse de una obra de drenaje pluvial.	Modelamiento Hidrológico	Subcuencas hidrográficas	ArcMap ArcGIS
			Parámetros de Diseño	Precipitaciones Máximas en 24 h	Software Hydrognomon
				Número de Curva	ArcMap ArcGIS
				Tiempo de Concentración	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Federal Aviation Administration</li> <li>• Método de Kirpich</li> <li>• Método de California</li> <li>• Método del SCS</li> <li>• Método de Témez</li> </ul>
				Intensidades Máximas	Modelo de Dick Peschke
Sistema de Drenaje Urbano Sostenible (V.I.)	La filosofía de los SUDS es reproducir, de la manera más fiel posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación humana. El propósito es menguar los impactos del crecimiento urbanístico en cuanto a la cantidad y la calidad de la escorrentía (en origen, durante su transporte y en destino), así como maximizar la integración paisajística y el valor social y ambiental de la actuación. (Gazpio, 2015).	Los sistemas de Drenaje Urbano Sostenible mejoran la gestión de aguas pluviales bajo un aspecto no contractual que incluyan fachadas hidrológicas, sociales y medioambientales, la cuales se vienen incrementando a nivel mundial. Por ello haremos uso de la metodología multicriterio de selección SUDS de CIRIA, para establecer que tipo se adecua mejor a la realidad de la zona; para después emplear las microcuencas urbanas de del lugar de estudio y la lluvia de diseño, mediante un modelamiento hidráulico SWMM aplicando el SUDS elegido que finalmente permita regular las aguas de lluvia.	Criterios de Selección SUDS	Uso del suelo	Matrices de Selección CIRIA
				Características físicas del suelo	Matrices de Selección CIRIA
				Control Hidráulico	Matrices de Selección CIRIA
			Modelamiento Hidráulico	Microcuencas urbanas	Modelo SWMM
				Lluvia de diseño	Modelo SWMM

## **1.6. Hipótesis**

### ***1.6.1. Hipótesis general***

El análisis hidráulico de un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS), será eficiente para regular las aguas de lluvia en la cuenca urbana del río Chilca, distrito de Pucusana, Lima 2022.

### ***1.6.2. Hipótesis específicas***

- Las aguas de lluvia en la cuenca urbana del río chilca se podrán regular con un sistema de drenaje convencional, distrito de Pucusana, Lima 2022.
- El comportamiento hidráulico de un sistema de drenaje en la cuenca urbana del río Chilca se podrá mejorar con la implementación de un SUDS, distrito de Pucusana, Lima 2022.
- El análisis del impacto del Sistema de drenaje con SUDS será significativo mediante el modelamiento hidráulico EPA-SWMM en la cuenca urbana del río chilca, distrito de Pucusana, Lima 2022.

## **1.7. Objetivos**

### ***1.7.1. Objetivo general***

Realizar el análisis hidráulico de un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS) para regular las aguas pluviales en la cuenca urbana del Río Chilca, distrito de Pucusana, Lima 2022.

### ***1.7.2. Objetivos específicos***

- Analizar el comportamiento hidráulico de un sistema de drenaje convencional para regular las aguas pluviales en la cuenca urbana del río chilca, distrito de Pucusana, Lima 2022.
- Implementar SUDS para mejorar el comportamiento hidráulico de un sistema de drenaje convencional en la cuenca urbana del río chilca, distrito de Pucusana, Lima 2022.
- Analizar el impacto del Sistema de drenaje con SUDS mediante el modelamiento hidráulico EPA-SWMM en la cuenca urbana del río chilca, distrito de Pucusana, Lima 2022.

## II. METODOLOGÍA

### 2.1. Población y muestra

#### 2.1.1. Población

En la presente investigación el caso a estudiar corresponde a la zona urbana dentro de la Cuenca del Río Chilca, más específicamente Chilca Baja, que corresponde a 615 Ha.

#### Figura 12

*Mapa del Distrito de Pucusana.*



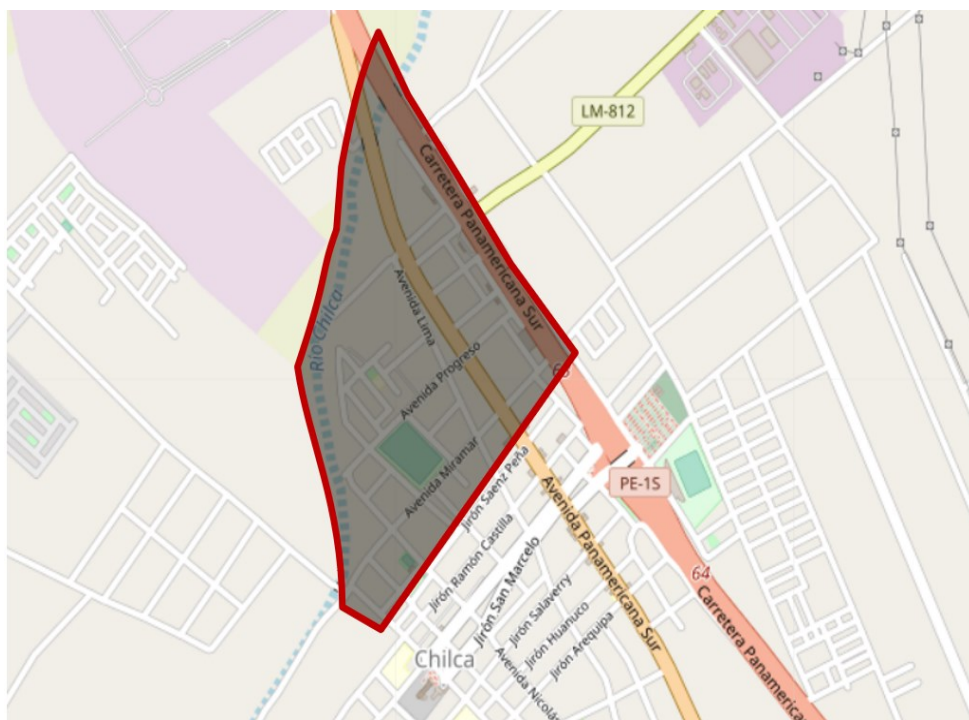
Nota: Extraído de la Municipalidad de Cañete, 2022.

### 2.1.2. Muestra

Según Sampieri (2015), las muestras no probabilísticas, la selección del elemento no se somete a la probabilidad, sino a causas concernientes con el propósito del investigador o características del estudio. Por tal motivo, se está tomando como muestra un área urbana limitada por la Carretera Nueva Panamericana Sur y El Río Chilca; por ser parte de una zona estudiada previamente por la ANA, y evaluada posteriormente por la empresa INDUPARK en su informe técnico; dicha muestra reúne las características específicas previamente planteadas en el problema de nuestra investigación y tiene un área de 52 Ha.

**Figura 13**

*Zona de Estudio*



Nota: Extraído de Google earth

## **2.2. Tipo de investigación**

### ***2.2.1. Enfoque de investigación***

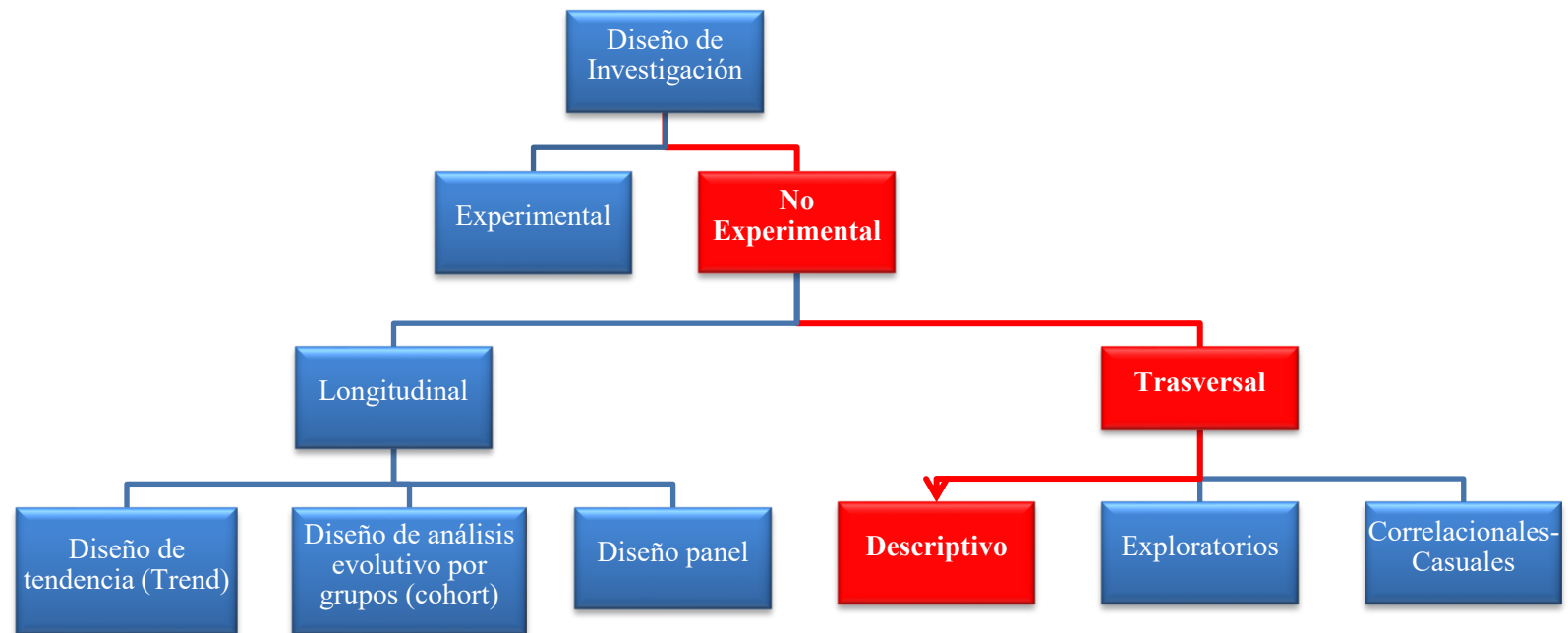
El estudio tiene un enfoque cuantitativo debido a que parte de una idea que va delimitándose y, una vez delimitada, donde resultan objetivos y preguntas de investigación, se examina la literatura y se cimienta una proyección teórica; también esgrime el acopio de data para experimentar hipótesis en base al análisis estadístico y cálculo numérico, teniendo como finalidad determinar patrones de conducta y probar teorías (Sampieri, 2015). Por ello esta investigación toma este rumbo ya que se busca medir las hipótesis para poder evaluarlas y probarlas objetivamente; con el fin que después de recopilar información se pueda determinar el comportamiento de las variables.

### ***2.2.3. Diseño de investigación***

El estudio es no experimental, puesto que no se manipula las variables; transversal ya que se recopila data en un solo periodo y en tiempo determinado; y descriptivo ya que tiene como propósito investigar el acontecimiento y los valores en que se declara una o más variables (Sampieri, 2015). La investigación será no experimental ya que será diseñada en la ruta de analizar las variables sin alterarlas en su estado real; es decir se empleará información de otras fuentes para dar un aporte al tema de estudio, y será transversal o transeccional porque el análisis estará evaluado en un único tiempo de retorno.

**Figura 14**

*Esquema del Diseño de Investigación*



### **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

De acuerdo con Sampieri (2015), la recaudación y análisis de data se debe contar con métodos, suelen ser genéricamente; además el instrumento es la regla detallada en el que se plasma la técnica y el procedimiento explica cómo se aplica la técnica. Debido a ello, a continuación, se describen las técnicas e instrumentos de recaudación y análisis de data de la investigación presente:

#### ***2.3.1. Técnicas de recolección de datos***

Las técnicas esgrimidas para la recaudación de data fueron las siguientes:

- ✓ La búsqueda de data pluviométrica en diversas instituciones del Perú, como lo son ANA y SENAMHI, contando con registros entre los años de 1980 y 2020. Así mismo, se obtuvo un modelo digital de superficie (DEM) desde la página web del satélite ALOS PALSAR para la delimitación de las subcuencas hidrográficas.
- ✓ Con respecto al tratamiento de la topografía para el planteamiento del sistema de drenaje convencional en el área de estudio, se obtuvo de la carta Nacional del IGN.
- ✓ Mediante la recopilación de información de terceros, se obtuvo los estudios básicos de suelo e información de la zona, los cuales fueron extraídos de investigaciones, revistas e informes técnicos (fuentes externas); también se empleó información extraída del Manual CIRIA, con el objetivo de generar una data que se adapte a nuestra investigación y permita el uso de las matrices multicriterio SUDS.

#### ***2.3.2. Técnicas de análisis de datos***

Las técnicas esgrimidas para el análisis de data fueron las siguientes:

- ✓ Para realizar el modelo hidrológico de la cuenca del Río Chilca, se empleó el software HEC-HMS y luego se procesó la información en ArcGIS. Posteriormente con el propósito de obtener el caudal de diseño, se utiliza el método racional y una simulación de lluvia mediante un modelamiento HEC-HMS.
- ✓ Las matrices de selección SUDS propuestas por CIRIA, las cuales se usaron para la evaluación de las técnicas SUDS a emplear en el lugar de estudio.
- ✓ Mediante el software EPA-SWMM, se realizó un modelamiento hidráulico del sistema de drenaje convencional y su simulación, además de la aplicación del SUDS elegido al sistema inicial.

### **2.3.3. Procedimientos**

A continuación, se detalla cómo se aplican las técnicas descritas con anterioridad para cada uno de los objetivos específicos:

#### **Procedimiento del primer objetivo:**

Para el análisis del comportamiento hidráulico de un sistema de drenaje convencional para regular las aguas pluviales en la cuenca urbana del río chilca, distrito de Pucusana, Lima 2022 el procedimiento es el siguiente: Se realiza un modelamiento hidrológico, para el cual previamente se requiere un modelo digital de terreno (DEM). También se obtienen parámetros de diseño a partir de datos pluviométricos, tipos de suelos e información del grupo hidrológico. Con esta información se puede obtener el caudal de diseño. Luego se realiza el planteamiento del sistema de drenaje convencional, y finalmente se ejecuta el modelamiento y simulación en el EPA-SWMM con el uso de información previamente obtenida de colectores y conductos de drenaje, subcuencas urbanas y hietograma de lluvia de diseño.

#### **Procedimiento del segundo objetivo:**

El procedimiento para la implementación de SUDS para mejorar el comportamiento hidráulico de un sistema de drenaje convencional en la cuenca urbana del río Chilca, distrito de Pucusana, Lima 2022 es el siguiente: Se hace la evaluación e identificación de las zonas críticas, si no se identifican zonas críticas se concluye que no requiere implementar SUDS, si se identifican zonas críticas se procede a implementar SUDS; para esto se ejecuta el proceso de selección de SUDS con el uso de las matrices de selección CIRIA, para lo cual se usa información previamente obtenida como uso del suelo, características del suelo, rendimiento del control de la calidad de aguas y factores ambientales y sociales. Finalmente se implementa el SUDS seleccionado en el sistema de drenaje convencional modelado en el EPA-SWMM.

**Procedimiento del tercer objetivo:**

El análisis del impacto del Sistema de drenaje con SUDS mediante el modelamiento hidráulico EPA-SWMM en la cuenca urbana del río Chilca, distrito de Pucusana, Lima 2022 es de la siguiente manera: Se analizan los comportamientos hidráulicos de ambos sistemas modelados en el EPA-SWMM; es decir, cuando el sistema se encuentra en una situación sin SUDS y con SUDS, determinando la disminución de los caudales picos y los volúmenes de escorrentía en la red del sistema de drenaje.

### III. RESULTADOS

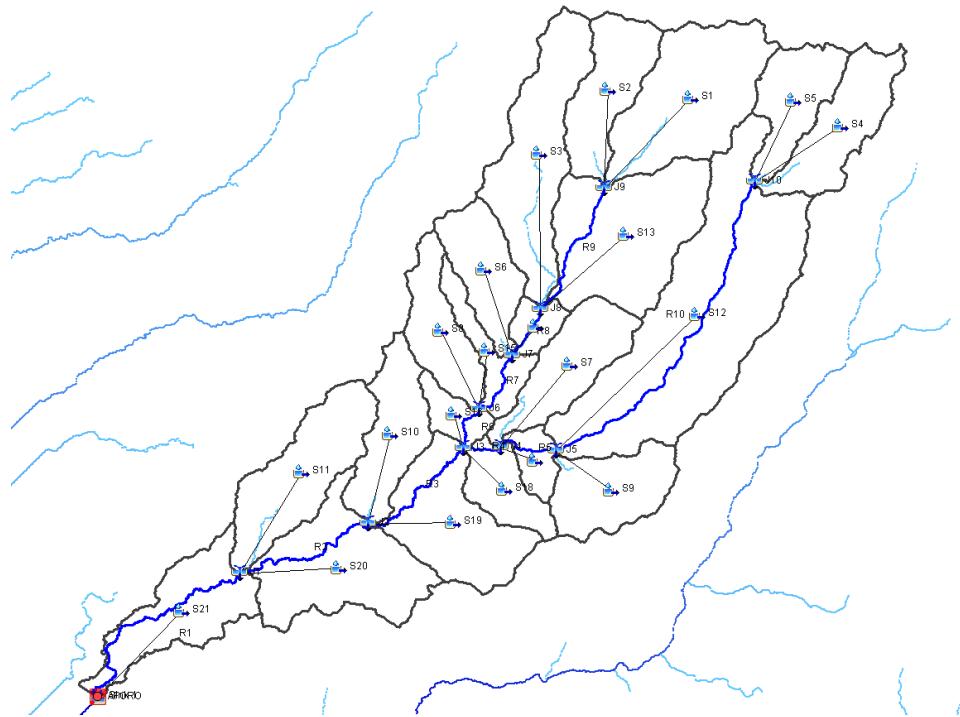
#### 3.1. Propuesta de Sistema de Drenaje Convencional

##### 3.1.1. Modelo Hidrológico

Mediante el software HEC-HMS se realiza la delimitación de cuencas desde información satelital obtenida en formato DEM, resultando 21 Subcuencas hidrográficas.

**Figura 15**

*Delimitación de las subcuencas del Río Chilca*



Se analiza la cuenca hidrográfica S21, correspondiente a la Subcuenca Chilca Baja, la cual contiene zonas urbanas e industriales en la ciudad de Chilca.

## Figura 16

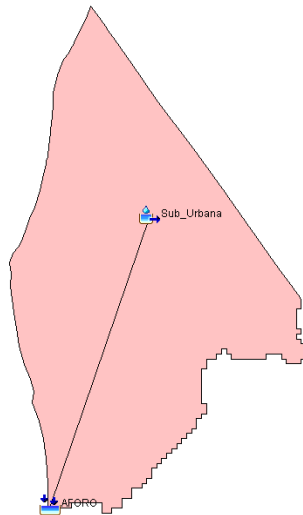
*Subcuenca S21 – Chilca Baja*



Se define el área de drenaje a analizar para el presente estudio.

## Figura 17

*Zona de estudio – Área de drenaje*



Posteriormente se exporta a Arc Map – Argis, procesando los datos obtenidos se determina los parámetros morfométricos de la zona de estudio (Tabla N°4).

**Tabla N° 4***Parámetros morfométricos del Área de Drenaje*

DESCRIPCION	UND	Zona de Estudio
De la superficie		
Área de la Cuenca	Ha	0.51
Perímetro de la Cuenca	km	3.66
Pendiente de la Cuenca	%	27.44
Índice de Compacidad		1.44
Factor de Forma		0.30
Cotas		
Cota máxima	msnm	31.02
Cota mínima	msnm	25.00
Centroide (PSC: wgs 1984 UTM Zone 18S)		
X centroide	m	311.09
Y centroide	m	8616.32
Z centroide	msnm	28.32
Altitudes		
Altitud Media	msnm	45.57
Altitud Mediana	msnms	46.56
De la Red Hídrica		
Longitud del Cauce Principal	m	1316.26
Pendiente del Cauce Principal	m/m	0.005

**3.1.2. Parámetros de diseño**

Para determinar precipitación de diseño es necesario seguir el siguiente procedimiento:

**Precipitación máxima en 24 horas**

Se usarán los datos pluviométricos (Tabla N° 5) obtenidos de la Estación San Lorenzo de Escomarca.

**Tabla N° 5**

*Valores Históricos en la Estación S.L. de Escomarca*

AÑO	SL ESCOMARCA	UND
1980	20.10	mm
1981	27.30	mm
1982	21.00	mm
1983	30.00	mm
1984	13.80	mm
1985	16.50	mm
1986	15.50	mm
1987	15.60	mm
1988	30.00	mm
1989	7.80	mm
1990	10.50	mm
1991	6.80	mm
1992	6.50	mm
1993	9.30	mm
1994	20.00	Mm
1995	15.00	Mm
1996	18.00	Mm
1997	40.00	Mm
1998	11.70	Mm

---

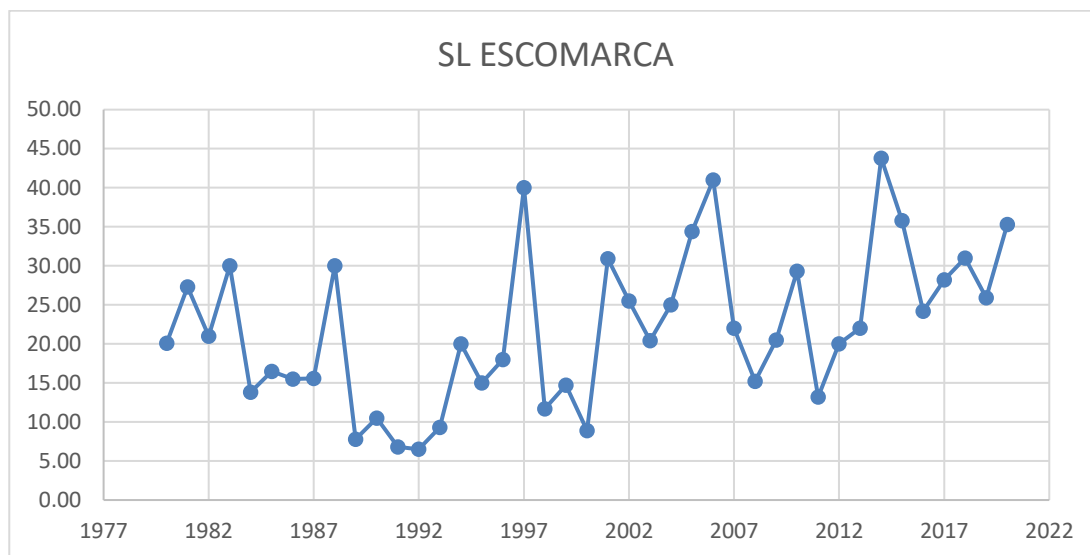
1999	14.70	Mm
2000	8.90	Mm
2001	30.90	Mm
2002	25.50	Mm
2003	20.40	Mm
2004	25.00	Mm
2005	34.40	Mm
2006	41.00	Mm
2007	22.00	Mm
2008	15.20	Mm
2009	20.50	Mm
2010	29.30	Mm
2011	13.20	Mm
2012	20.00	Mm
2013	22.00	Mm
2014	43.80	Mm
2015	35.80	Mm
2016	24.20	Mm
2017	28.20	Mm
2018	31.00	Mm
2019	25.90	Mm
2020	35.30	Mm

---

Nota. Adaptado de Registros Históricos de la Estación S.L. de Escomarca, SENAMHI, ANA.

**Figura 18**

*Gráfica de precipitación máxima en 24 horas*



Nota. Adaptado de Registros Históricos de la Estación S.L. de Escobarca, SENAMHI, ANA.

### **Distribución de serie de Datos y Pruebas de bondad**

La evaluación de las tormentas máximas se ejecutó conforme a la estación SL de Escobarca que conserva data de precipitaciones máximas 24 horas con un periodo de registro del 1980-2020. Se acoplaron las precipitaciones conseguidas por el factor 1.13 (Tabla N°6); para corregir los sesgos de subestimación de mediciones adquiridas en intervalos fijos cada 24 horas. En seguida del análisis, con un nivel de significación 5% de error, y una prueba de bondad de ajuste Smirnov Kolmogorov, mediante el software Hydrognomon, se evaluó que distribución se ajustaba más a la data correspondientes (ver Anexo 1 y 2). Resultando Gumbel la distribución que más se ajusta a la serie de datos, posteriormente el programa calcula la Precipitación Máxima a diversos periodos de retorno como se observa a continuación:

**Tabla N° 6**

*Precipitación máxima en diferentes periodos de retorno*

Periodo de Retorno T (años)	Hydrognomon Pmax (mm)	Pmax corregido (mm)	Probabilidad de No Ocurrencia
2	20.410	23.063	0.5
5	29.044	32.819	0.8
10	34.760	39.279	0.9
25	41.982	47.440	0.96
50	47.341	53.495	0.98
100	52.659	59.505	0.99
500	64.949	73.393	0.998

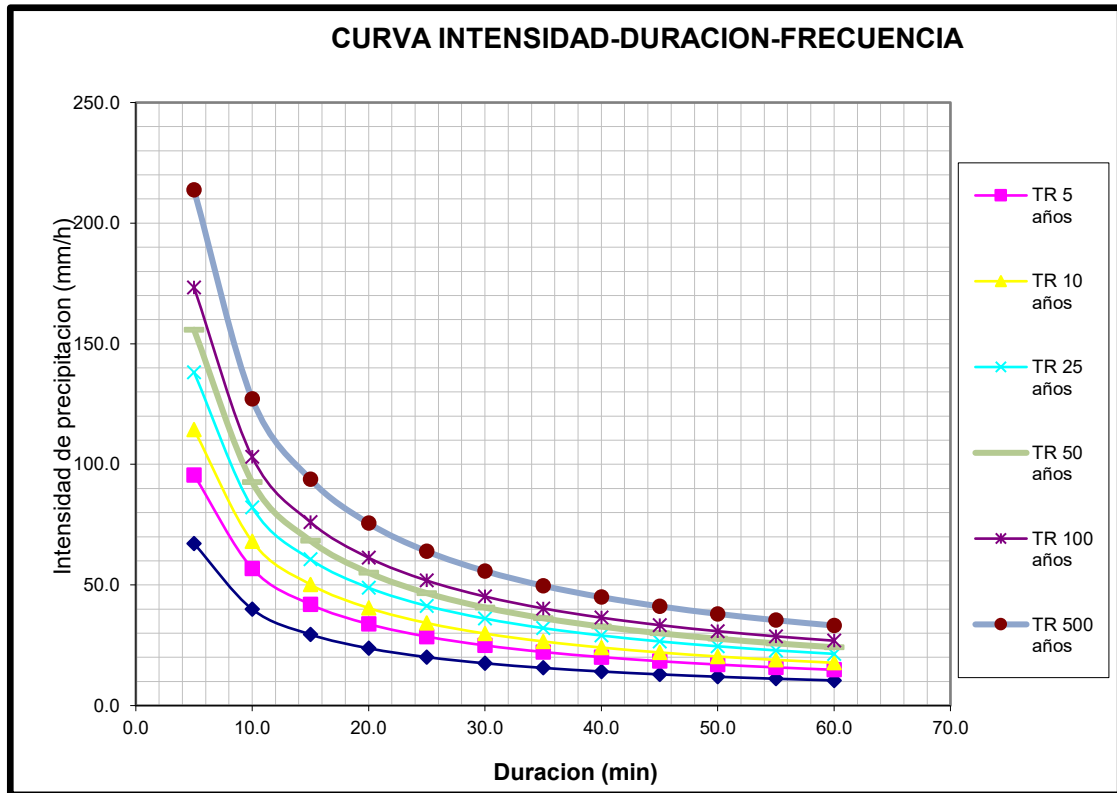
Para los cálculos posteriores se trabajará con la lluvia máxima Pmax en un periodo de retorno **T =5 años**, a causa de que la infraestructura a analizar será de drenaje pluvial, que conforme a la Norma OS. 060 se debe considerar un periodo de retorno dentro 2-10 años.

### **Curvas IDF**

Mediante las curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) se correlaciona la intensidad de la tormenta, la duración de la misma y la frecuencia con la que se presenta el evento, en otros términos, su periodo de retorno. De diversos modos existentes para conseguir las curvas se decide esgrimir el de Dick y Peschke, ya que permite convertir las precipitaciones máximas de 24 horas a tiempos menores. Se muestran en el Anexo 3 las diversas precipitaciones de diseño para cada duración de tiempo y periodo de retorno. Finalmente, se obtienen curvas IDF para una duración de 1 hora y diferentes periodos de retorno como se muestra en la Figura 19.

**Figura 19**

*Curva IDF de la estación SL de Escomarca*



### Hietograma de diseño

El hietograma de diseño expone la distribución de lluvias por medio del tiempo y es necesario ejecutar para cada tipo de elemento del sistema. En el diseño de la red de drenaje pluvial se utilizará un periodo de retorno de 5 años.

Al tratarse de una zona donde no se tiene registros sobre la duración de las precipitaciones, se consideran igual al tiempo de concentración. Por lo cual, para el diseño de lluvia se ha seleccionado por una duración de dos horas, siendo el tiempo límite divisoria de lluvias cortas de lluvias largas.

Durante el transcurso del cálculo de los bloques selectivos se visualiza que las intensidades menguan a mayor tiempo, a oposición de las precipitaciones que acrecientan

(Anexo 4). Los hietogramas constantemente tienen forma piramidal, inician con la lluvia suave hasta llegar a un punto elevado de mayor intensidad y posteriormente decaen hasta concluir.

### ***3.1.3. Caudal de diseño***

Para realizar cálculo del caudal máximo en una avenida es fundamental tener delimitada la cuenca de investigación, conocer sus particularidades y utilizar de la lluvia o precipitación de diseño.

#### **Curva Número**

Haciendo uso de los datos de Cobertura vegetal, se considera el uso del suelo en el lugar de investigación según el Anexo 5 y que el Grupo hidrológico de la zona es Tipo B, ya que se cuenta con zona urbana (88%) , comercial (7%) y área verde (6%), se genera obtiene un C(II) para condiciones normales de 84,13. Posteriormente se calcula el C(III) para condiciones Húmedas resultando 92.

#### **Tiempo de Concentración**

Se dispone de variables específicas a cada formula, todas contienen la longitud y pendiente que previamente se habían obtenida del examen hidrológico del lugar de investigación, haciendo uso de las ecuaciones para el tiempo de concentraión se obtiene el siguiente cuadro:

## Tabla N° 7

### *Tiempo de concentración*

Fórmula	Tc (min)
FAA	12.825
California	39.162
Kirpich	8.301
Témez	28.358
SCS	12.590

Se descarta el valor máximo y mínimo, los demás valores se promedian obteniendo un Tc igual a 21.53 minutos para la zona de estudio.

### **3.1.3.1. Método Racional**

Haciendo uso de los datos previamente calculados y el coeficiente de escorrentía según Anexo 6, se obtiene la Tabla N° 8.

## Tabla N° 8

### *Obtención de caudal máximo mediante método racional*

PARÁMETROS	Unidad	Zona de estudio
Área total de la cuenca	Ha	52.66
Tiempo de Concentración	Min	21.53
Pp TR = 5 años	-	32.82
Intensidad de Lluvia	mm/Hr	31.99
Pendiente Cuenca	%	27.44
Cobertura Vegetal	-	Área Comercial

		Área urbana
		Área Verde
Tipo Suelo - Grupo Hidro.	-	B
Coefficiente de Escorrentía	-	0.77
Caudal Max	m3/s	3.62

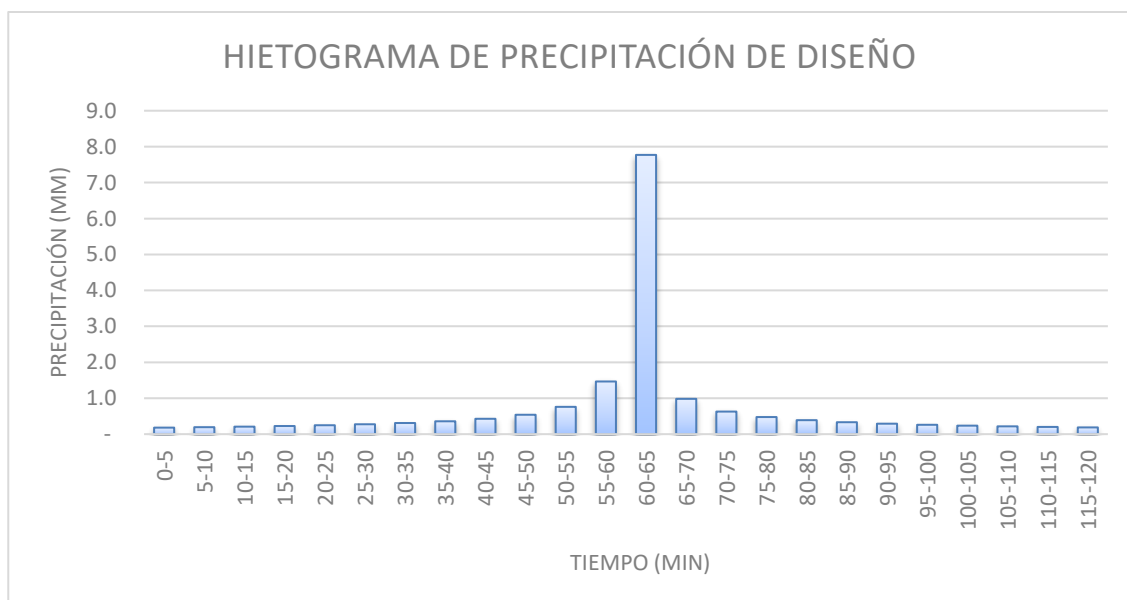
### 3.1.3.2. Modelamiento HEC-HMS

Se desarrolló el hidrograma de incremento con HEC-HMS (Metodología SCS-Soil Conservation Service), por ser el más popular en las investigaciones hidrológicas, la cual se aprovecha para cuencas hidrográficas grandes y pequeñas.

El diseño manifiesta la distribución de las precipitaciones producidas a 2 horas que se producen en ese punto con un periodo de retorno de 5 años según el histograma de precipitación. Se consigue la altura de precipitación que se origina en intervalos de 5 minutos.

**Figura 20**

*Hietograma de 2 horas para un periodo de retorno de 5 años - Precipitaciones*



Teniendo en consideración la información de área de la cuenca, tiempo de retardo, número de curva y la precipitación de diseño; se ejecuta la simulación de lluvia.

El procedimiento minucioso de la secuencia de simulación se encuentra en el Anexo 7, finalmente se obtiene un caudal máximo de diseño es 3.40 m<sup>3</sup>/s en el intervalo entre 60 y 65 minutos.

### ***3.1.4. Planteamiento de Sistema de Drenaje***

Teniendo la consideración del caudal de diseño determinado en el proceso anterior, se estableció un Sistema de Drenaje, que pueda evacuar las aguas de lluvia hacia el Río Chilca que pasa cerca de la zona de estudio, para lo cual se plantea inicialmente un Sistema de Drenaje Pluvial Convencional que posea 3 puntos de descarga y cuenta con las siguientes características:

**Tabla N° 9**

*Características de la red de drenaje en el área de estudio*

Área	52.66 Ha
Numero de Pozos de Inspección	34
Número de tramos de drenaje	34
Longitud total de la red de drenaje	4847 m
Diámetro mínimo de tuberías	0.60 m
Diámetro máximo de tuberías	1.00 m
Material de tuberías	GRP
Uso de suelo	Residencial
Número de descarga de la red	3

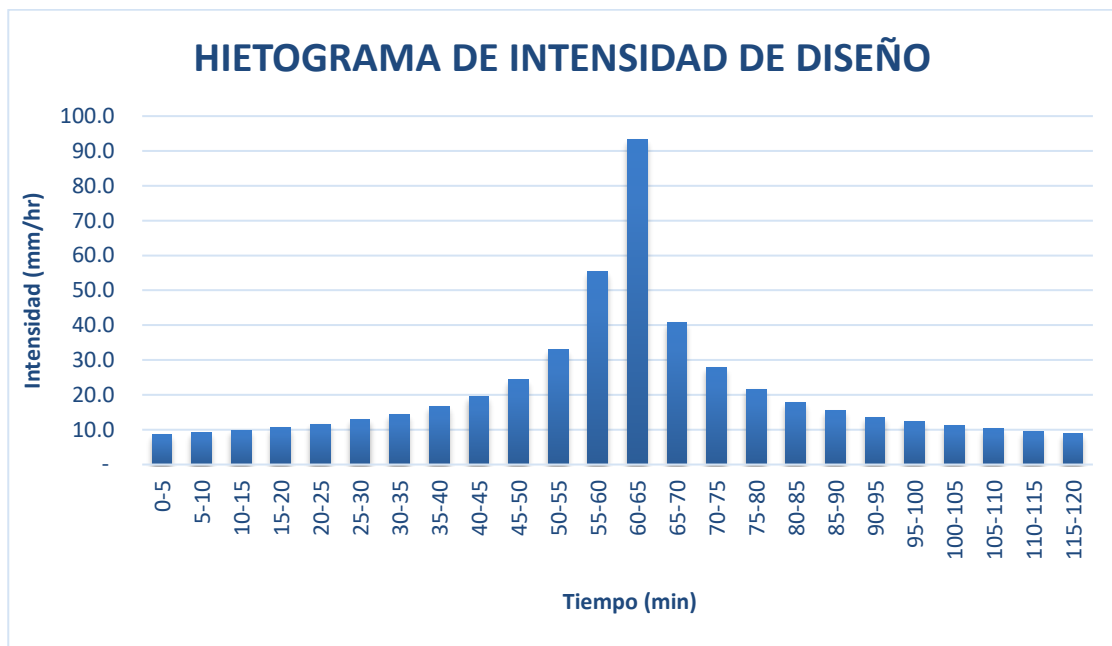
### 3.1.4.1. Modelamiento SWMM

Mediante el software libre EPA SWMM, se modela la red de drenaje propuesta teniendo en cuenta 6 objetos básicos: hietograma, nudos, pluviógrafo, subcuencas, conductos y aforo.

El periodo retorno a utilizar es de  $T_r=5$  años, con duración de lluvia de 2 horas (mayor al tiempo de concentración), Se recrea un pluviógrafo teniendo como Intensidad máxima igual a 93.25 mm/hr.

**Figura 21**

*Hietograma de 2 horas para un periodo de retorno de 5 años – Intensidades*



Se dibujan las subcuencas (apoyados de Autocad) y se ingresa los parámetros fisiográficos (apoyados de ArcGIS) ya definidos resultando en una tabla que muestra 89 microcuencas urbanas (ver Anexo 8).

Para los conductos se establece la sección, la longitud y el coeficiente de rugosidad. Son diseñados de nudo a aforo o entre nudos. El apartado estimado preliminar es la mínima detallada por la norma.

Los valores de los aforos, nudos y conductos utilizados en el piloto se indican en el Anexo 9 y se encuentran de modo gráfico en el proceso del modelamiento y simulacro del SWMM en el Anexo 10.

#### ***3.1.4.2. Simulación del modelo***

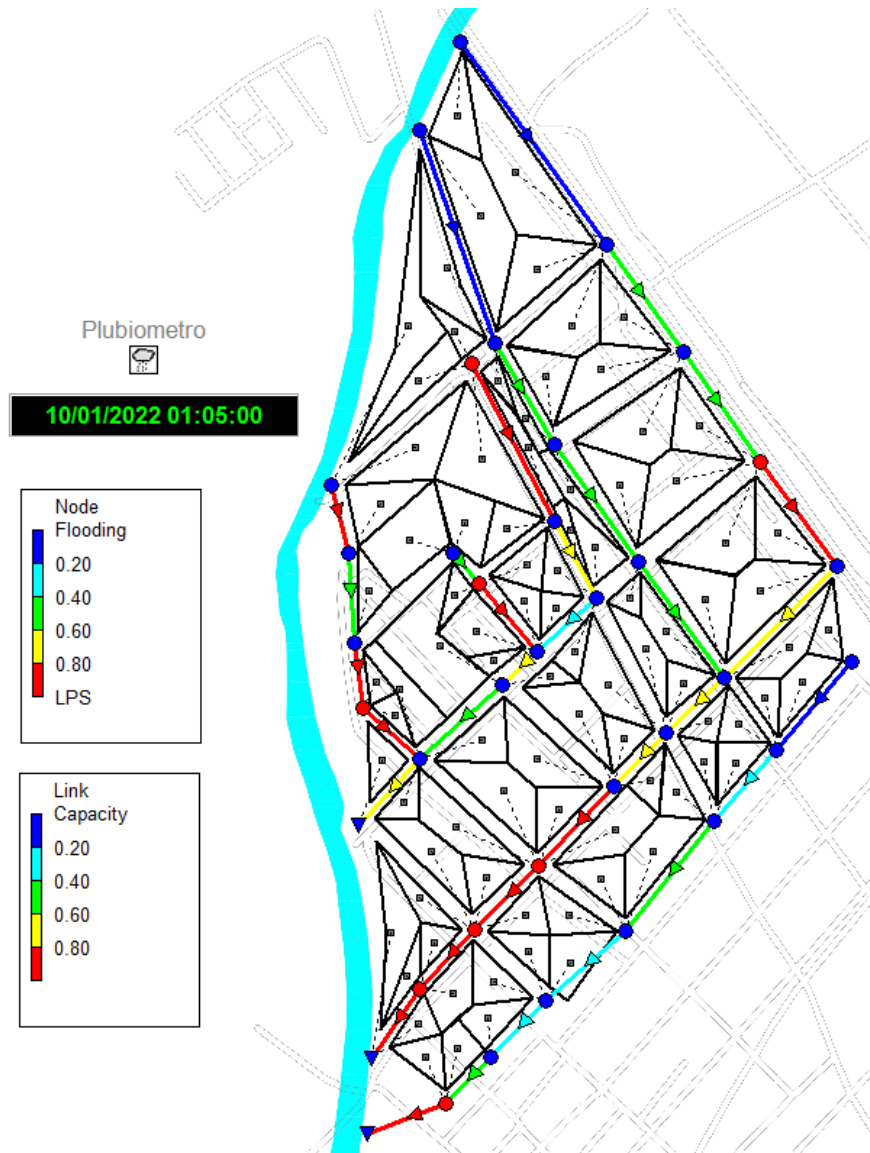
El piloto hidráulico es simulado en EPA-SWMM con una lluvia de periodo de retorno de 5 años y un tiempo de duración de dos horas. Se esgrime el procedimiento de onda cinemática a causa de las particularidades del sistema: pendientes  $> 1\%$ , pequeños tirantes y altas velocidades.

#### **Evaluación del Comportamiento Hidráulico**

Como se observa en la Figura 22, se evalúa la capacidad de las tuberías (link capacity) y la inundación en las cámaras (node flooding) en el momento más crítico de la lluvia de diseño, presentando problemas en su capacidad de retención de caudal (conexiones y nodos en rojo); al tratarse de una lluvia de diseño con el modelo de los bloques alternos, el pico de escorrentía ocurre entre los minutos 60 y 65 de la simulación del modelo.

**Figura 22**

*Comportamiento hidráulico de Sistema de Drenaje Convencional*

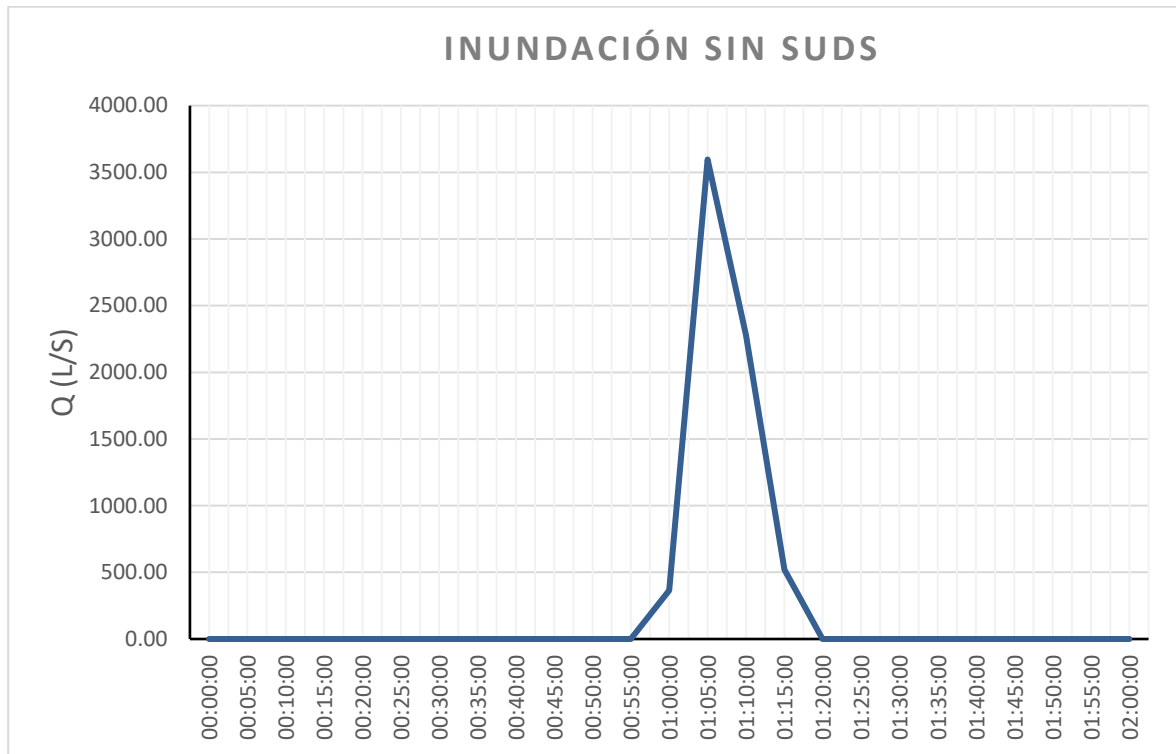


Capacidad de control de inundación del sistema

Como se visualiza en la Figura 23, el sistema de drenaje convencional planteado posee una capacidad de control de inundación de 3596 L/s en su estado más crítico. El sistema cumple con atenuar la inundación; sin embargo, su considerable duración supone que este sistema presentaría daños, además de representar un peligro para las zonas cercanas a su descarga.

**Figura 23**

*Control de inundación del sistema sin SUDS*



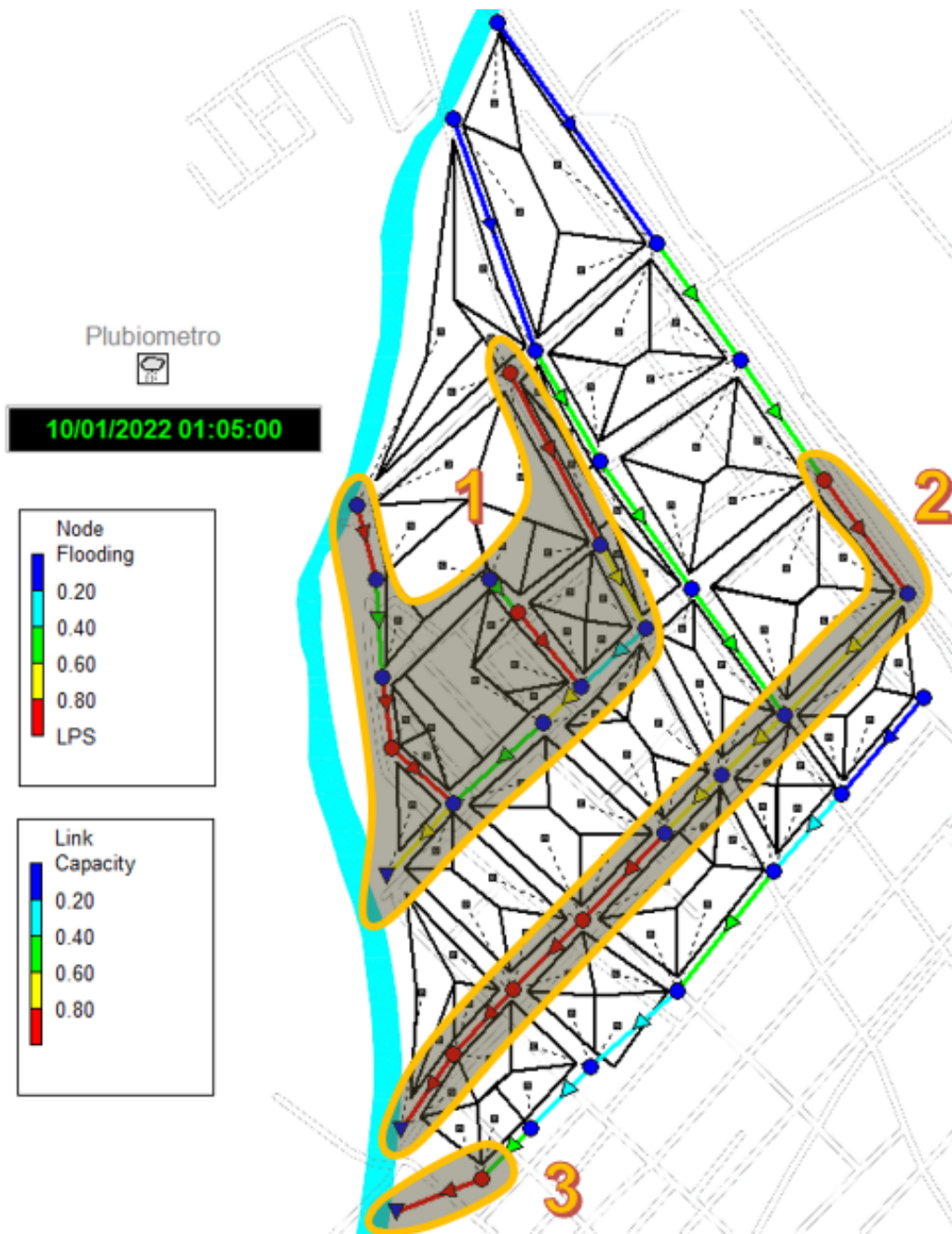
### 3.2. Implementación de SUDS

#### 3.2.1. Evaluación de zonas críticas

Tal como se presenta en la Figura 24, se distinguen 3 zonas críticas del sistema de drenaje planteado inicialmente:

**Figura 24**

*Zonas críticas de inundación en minuto 65*



La descarga de la zona crítica 2 es la única que presenta una inundación prolongada (más de 20 minutos), mientras que las otras dos descargas llegan a su caudal pico y descienden en menos de 10 minutos (ver Anexo 11). Esta poca duración de inundación también se puede

corroborar mediante los perfiles longitudinales en de las 3 descargas, las cuales se presentan en el Anexo 12.

Adicionalmente, se muestran las 9 cámaras que presentan inundaciones (node flooding) en la Tabla 10, observando que la cámara N-27, perteneciente a la zona crítica 2, es la que posee un volumen de inundación notablemente alto en comparación a las demás.

**Tabla N° 10**

*Resumen de las cámaras que presentan inundación*

Nudo	Hora de inundación máxima	Tiempo inundado (horas)	Volumen de inundación (L/S)
N-4	1:05	0.05	153.13
N-11	1:05	0.12	166.86
N-16	1:05	0.06	80.63
N-19	1:07	0.05	151.62
N-23	1:06	0.17	306.54
N-25	1:08	0.09	611.39
N-26	1:06	0.12	761.41
N-27	1:05	0.32	2131.71
N-34	1:06	0.07	232.62

Luego de haber realizado la evaluación de las zonas críticas, se decidió que el SUDS será implementado a la zona crítica 2, ya que presenta un riesgo de inundación para todo el sistema de drenaje.

### **3.2.2. Selección de SUDS**

Se debe identificar la viabilidad de los sistemas de control apropiados; para siguió con los esquemas multicriterio: A continuación, se muestra cómo se descartó y calificó los puntos identificados en las matrices ubicadas en el Anexo 13.

- Para la matriz de selección según uso del Suelo; solo se empleó los siguientes puntos: Baja densidad, Residencial, Carreteras Locales, Comercial, el resto quedará descartado; debido a que el sector de análisis es una zona con poca población residencial, y las inundaciones también afectarán las carreteras cercanas y pequeños puestos de comercio.
- Para la matriz de selección conforme a las particularidades del lugar; solo no se empleó el siguiente punto: Cabeza disponible el resto se emplea. En este punto la mayoría de los criterios son necesarios por ello es el uso de la mayoría de esta.
- Para la matriz Priorización y decisión conforme a cantidad y calidad de escorrentía; solo se empleó los siguientes puntos: Control hidráulico, de sedimentos y sólidos, el resto quedará descartado. Esta toma mayor fuerza por los criterios que tienen alta relación con la investigación, siendo elegidos los que más se emplearán.
- Para la matriz selección conforme a Factores Ambientales y de Comunidad; solo se empleó el costo y la aceptación de la comunidad; cabe indicar que el costo y mantenimiento son referenciales, ya que no se consideró en el análisis.

Una vez descartado algunos criterios, se procede a darle valores -1 al 3 (innecesario, regular, bueno y excelente); cabe indicar que el 0 no será contemplado ya que por ello fueron descartados algunos criterios.

### Tabla N° 11

#### *Matriz de Selección según Uso del Suelo*

Matriz 1	SUDS	Punt.
Sitio	Baja densidad	2
	Residencial	3
	Carreteras Locales	3
	Comercial	1

Nota: Adaptado de Matriz de Selección según Uso del Suelo, Trujillo, 2015, Universidad de los Andes.

### Tabla N° 12

#### *Matriz de Selección según características del Sitio*

Matriz 2	SUDS	Punt.
Suelo	Impermeable	-1
	permeable	3
Área de cada SUDS	0- 2 ha	3
	> 2 ha	1
Nivel freático mínimo	0 - 1 m	-1
	> 1 m	1
Pendiente	0 - 5%	2
	> 1 m	2
requerimientos de Área	poco	2
	alto	1

Nota: Adaptado de Matriz de Selección según características del Sitio, Trujillo, 2015, Universidad de los Andes.

### Tabla N° 13

*Matriz de Priorización, conforme a cantidad y calidad de escorrentía*

Matriz 3	SUDS	Punt.
Calidad del agua	Remoción de sólidos suspendidos	2
	reduce concentraciones de metales	1
	reduce concentraciones de sedimentos	3
hidráulica / hidrología	reduce volumen de escorrentía	3
	reduce caudal pico	3

Nota: Adaptado de Matriz de Priorización, según cantidad y calidad de escorrentía, Trujillo, 2015, Universidad de los Andes.

### Tabla N° 14

*Matriz de selección según Factores Ambientales y de Comunidad*

Matriz 4	SUDSs	Punt.
Costos	bajos costos de capital	1
	bajos costos de operación y mantenimiento	1
Aceptación pública	tiene un nivel estético alto (visual y olores)	2
	provee oportunidades educativas	1

Nota: Adaptado de Matriz de selección según Factores Ambientales y de Comunidad, Trujillo, 2015, Universidad de los Andes.

Luego los datos generados en las matrices anteriores son multiplicados por los valores de la apreciación del investigador obteniendo como resultado los valores de la Tabla N° 15.

Tabla N° 15

Matriz de Optimización Resultados2

		Apreciación del investigador	Sistemas de infiltración				Sistemas de captación y transporte							Sistemas de Almacenamientos							
			Pavimentos permeables	Zanjas de infiltración	Alcorques Inundables	Depósito de infiltración	Filtro de arena			Franjas filtrantes	Cunetas verdes			Bioretención	Techo Verde	Depósitos de detención	Estanques de retención			Humedales	
							Filtro de arena superficial	Filtro de arena subsuperficial	Filtro de arena perimetral		Swale de Transporte	Swale Seco	Swale Húmedo				Pondaje de retención	retención agua de lluvia	almacenamiento subsuperficial	Humedal / Pondaje	Humedal artificial
Sitio	Baja densidad	2	2	2	2	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Residencial	3	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Carreteras Locales	3	0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	6	6	0	3	6	6	6
Suelo	Comercial	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3
	Impermeable	-1	-1	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-3	-1	-1	-1	-1	-1	-3	-3	-3
Área de cada SUDS	permeable	3	3	3	3	3	3	3	6	3	3	15	3	3	6	6	3	3	0	0	0
	0- 2 ha	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	0	0
Nivel freático mínimo	> 2 ha	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0 - 1 m	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	-1	0	-1	-1	-1	-3	-3	-3
Pendiente	> 1 m	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3
	0 - 5%	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
requerimientos de Área	> 1 m	2	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	0	0	0
	poco	2	2	2	2	0	0	2	2	2	0	0	0	0	2	0	0	2	2	0	0
Calidad del agua	alto	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Remoción de sólidos suspendidos	2	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	4	6	0	2	6	6	6
hidráulica / hidrología	reduce concentraciones de metales	1	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	0	2	2	1	1	2	2	2
	reduce concentraciones de sedimentos	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	9	0	3	9	9	9
Costos	reduce volumen de escorrentía	3	9	9	9	9	3	3	3	6	6	3	3	9	3	3	6	6	3	3	3
	reduce caudal pico	3	9	9	9	9	3	3	3	6	6	3	3	9	3	3	6	6	3	3	3
Aceptación pública	bajos costos de capital	1	2	2	3	3	1	1	2	3	3	2	2	1	1	2	2	3	3	2	2
	bajos costos de operación y mantenimiento	1	2	2	3	3	1	1	2	3	3	2	2	1	1	2	2	3	3	2	2
Aceptación pública	tiene un nivel estético alto (visual y olores)	2	4	2	6	6	2	4	2	4	4	6	4	2	2	2	4	6	6	4	4
	provee oportunidades educacionales	1	3	3	3	3	2	3	2	1	1	3	2	3	2	2	2	3	2	2	2
			67	73	79	77	51	56	52	63	63	64	69	57	54	49	58	43	54	51	47

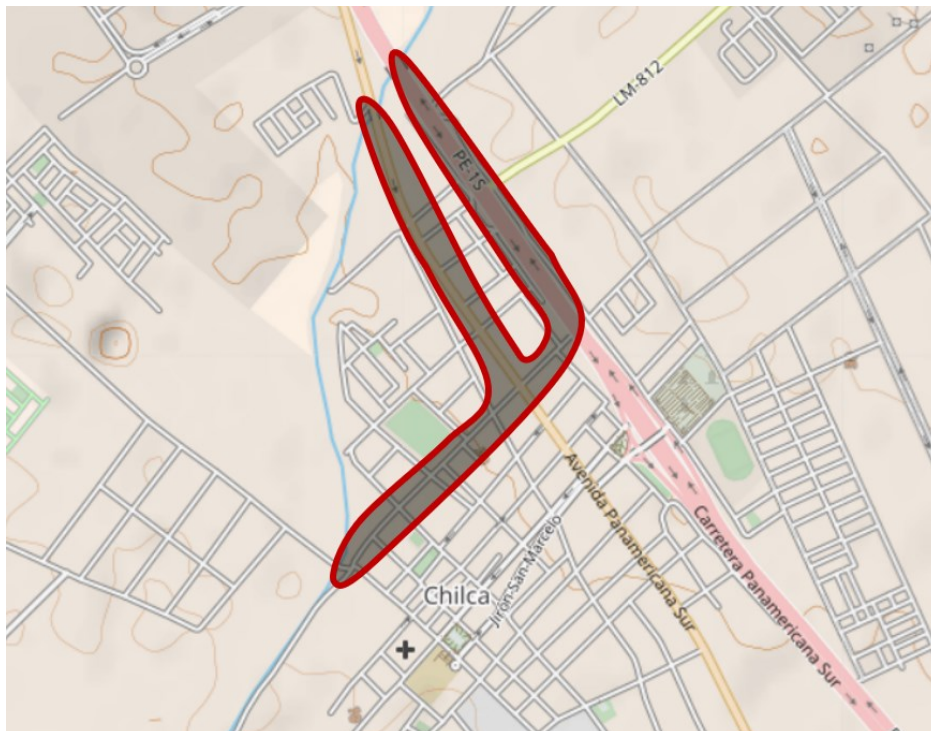
Finalmente, después de dar una puntuación a las matrices modificadas, con los valores obtenidos de las matrices y las calificaciones colocadas, se procede a estimar cuáles son los Sistemas con mayor puntuación. Y como se aprecia en la Tabla N° 15 los 3 sistemas que obtuvieron mayor puntuación fueron: Zanjas de Infiltración, Alcorques inundables, depósitos de Infiltración; de los cuales se escogió “Zanjas de Infiltración”.

### 3.2.3. Implementación de SUDS

Con la aplicación de la Técnica SUDS se busca disminuir el caudal pico de la descarga 2, que debe ser menor al caudal de diseño, definiendo el área de implementación:

**Figura 25**

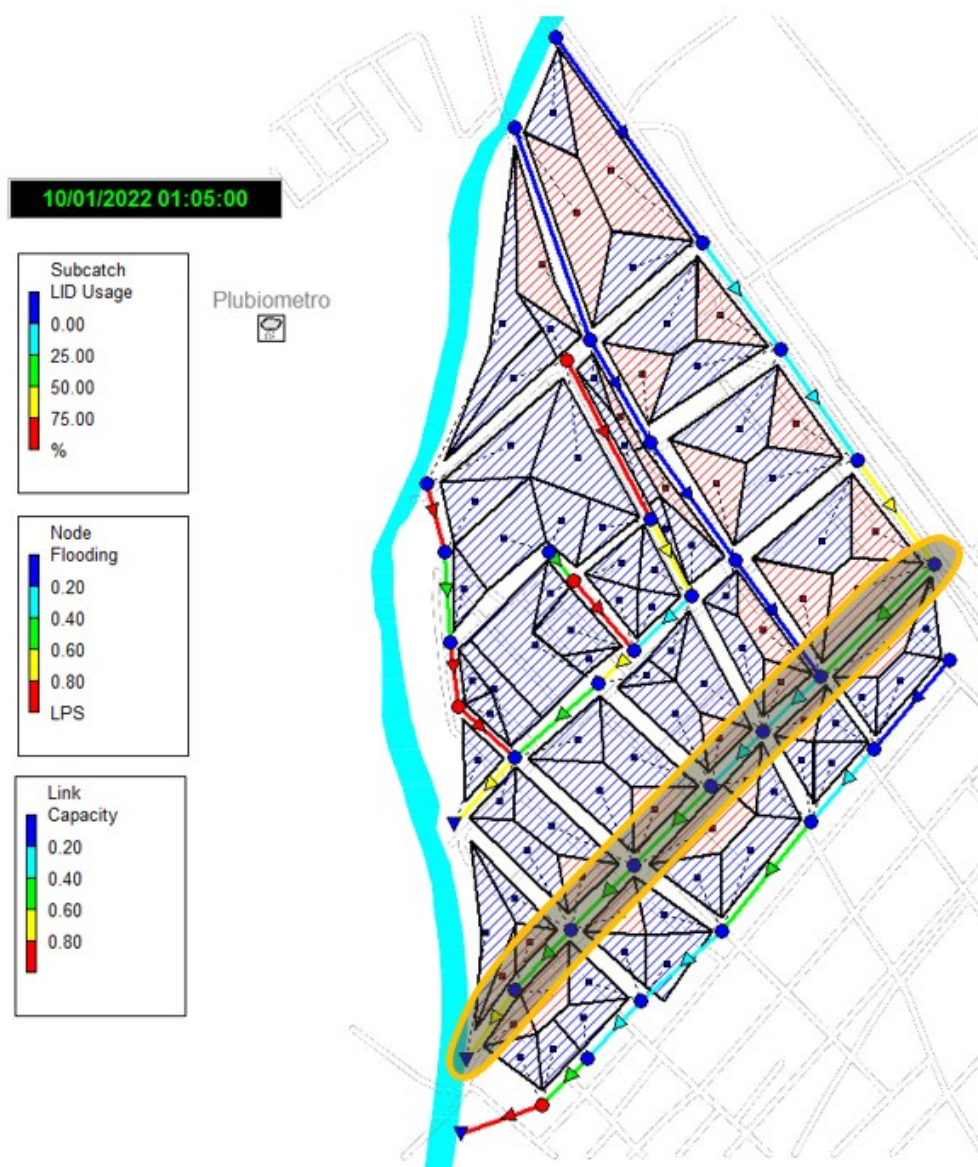
*Área urbana donde se aplicará las Zanjas de infiltración*



Durante la simulación en el Modelamiento SWMM, las áreas tributarias de las subcuencas de drenaje correspondientes a las casas y calles por donde pasarían las zanjas contribuyen a esta nueva técnica SUDS. El procedimiento de implementación en el Software EPA-SWMM se describe en el Anexo 14.

**Figura 26**

*Análisis hidráulico con SUDS*



Como se observa en la Figura 26, la capacidad de las tuberías y la inundación en las cámaras en el punto de la descarga 2 han mejorado (conexiones y nodos en verde) sin llegar a un estado crítico gracias a la implementación de las zanjas de infiltración.

### 3.3. Impacto de la Sistema con SUDS

Con las modificaciones al sistema de drenaje debido a la aplicación de la técnica SUDS (zanjas de infiltración), se volvió a simular el modelamiento para revisar el impacto de la ejecución de los SUDS con el objetivo de regular las aguas de lluvia.

En la Tabla 16, de las 9 cámaras que tenían problemas de inundación, luego de la implementación del SUDS, disminuyeron a 5 cámaras; además la cámara N-27 que presentaba un pico muy alto de inundación disminuyó considerablemente.

**Tabla N° 16**

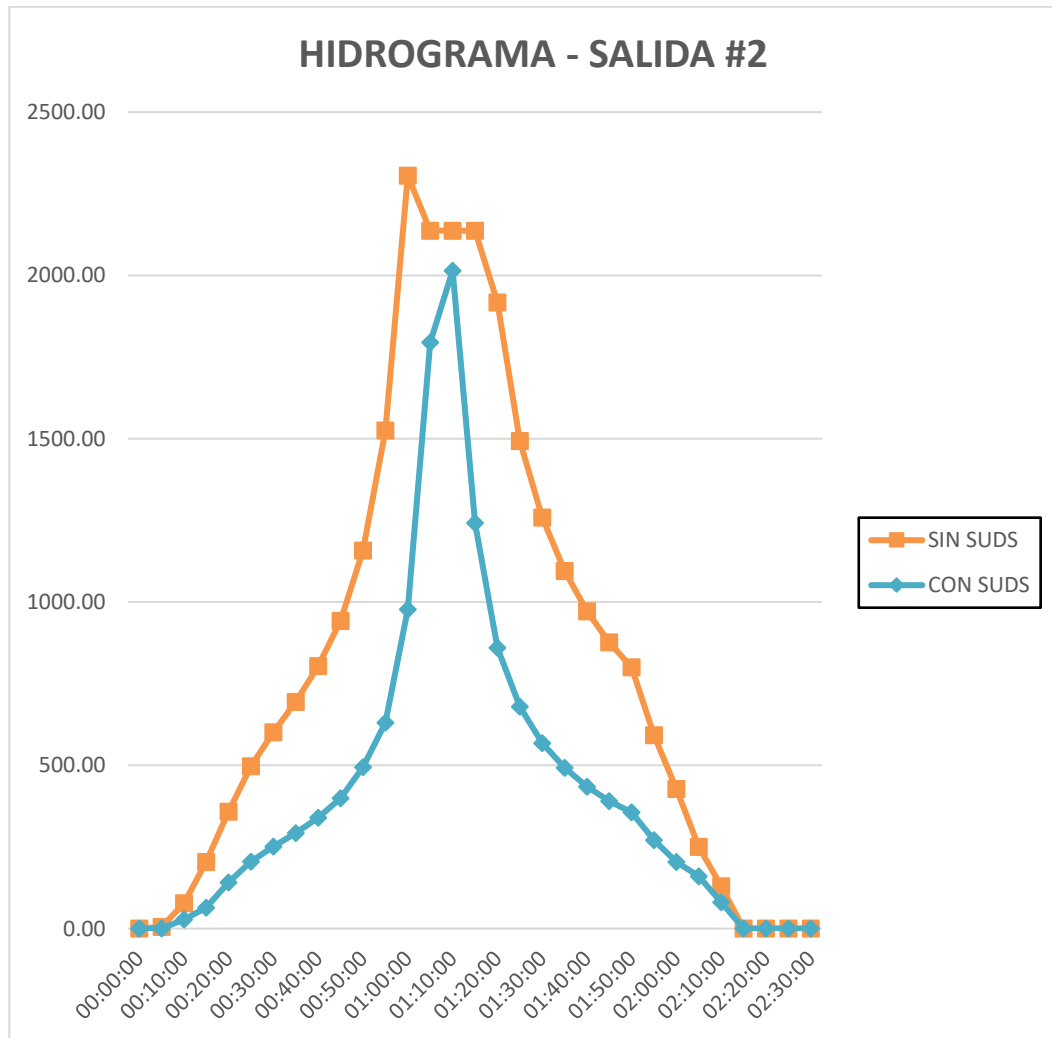
*Resumen de las cámaras que presentan inundación (con SUDS)*

Nudo	Hora de inundación máxima	Tiempo inundado (horas)	Volumen de inundación (L/S)
N-11	1:05	0.12	166.86
N-16	1:05	0.06	80.63
N-23	1:06	0.17	306.54
N-27	1:07	0.02	12.51
N-34	1:06	0.07	232.62

Finalmente, en Figura 27 se visualiza la confrontación de los hidrogramas para ambas salidas del sistema entre la situación sin SUDS y con SUDS. Se visualiza una depreciación en el volumen de escorrentía (23.97%) y del caudal pico en la salida 2 (12.59%).

**Figura 27**

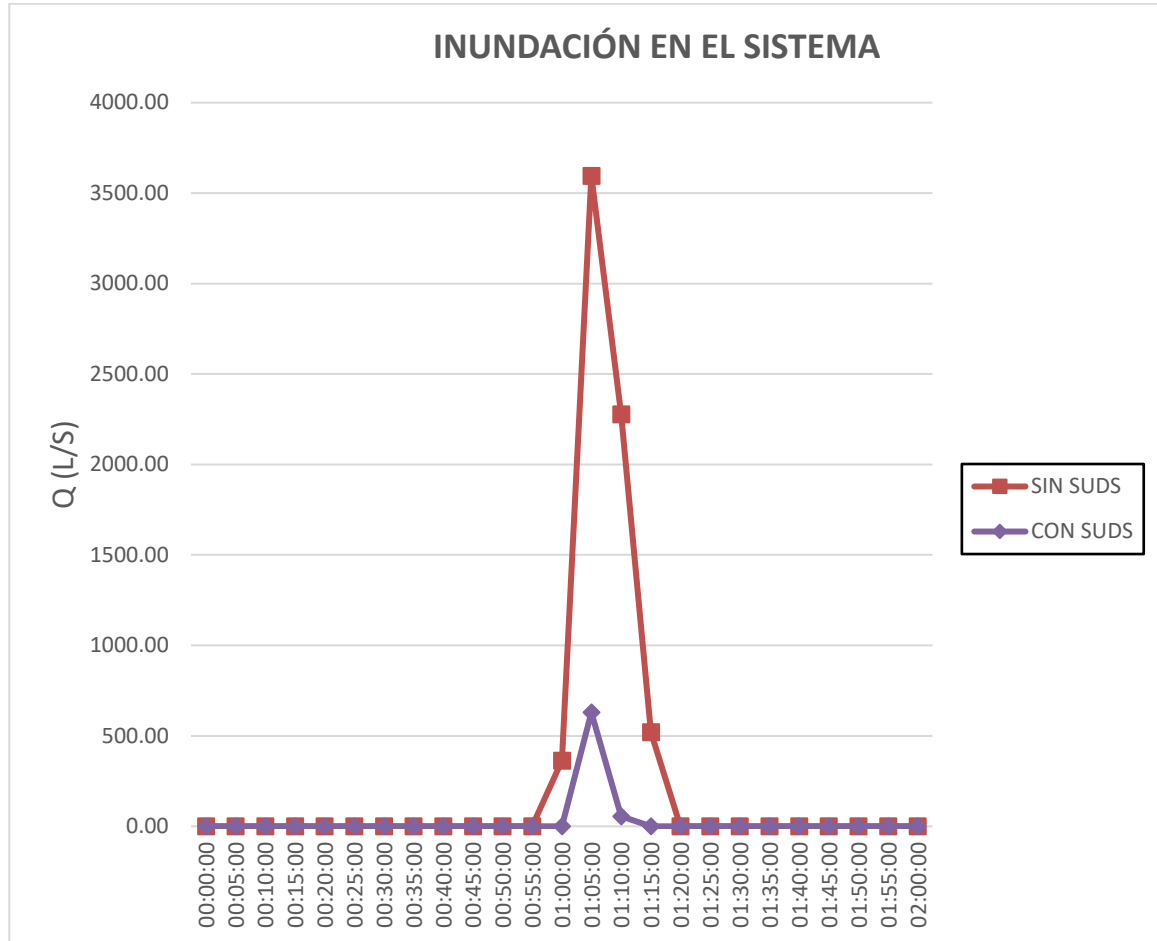
*Comparación de hidrogramas Modelo Convencional vs aplicación de SUDS*



Finalmente, en la Figura 28, se compara la capacidad de control de inundación de todo el sistema, evidenciando la notable disminución, llegando a un 82,48%. Es decir que existe inundación, pero es mínima y en periodo corto de tiempo (15 minutos).

**Figura 28**

*Comparación del control de inundación del Modelo Convencional vs aplicación de SUDS*



## IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Análisis de resultados

1. Como se visualiza en la Figura 23, el sistema de drenaje convencional planteado logra disminuir el caudal pico; sin embargo, su prolongada duración supone que se presentarían daños en el sistema; ya que, como se observa en la Figura 22, la capacidad de las tuberías (link capacity) y la inundación en las cámaras (node flooding), sobrepasan el valor de 0.8; por lo tanto, se rechaza la hipótesis.

2. Como se observa en la Figura 26, la capacidad de las tuberías y la inundación en las cámaras en el punto de la descarga 2 han mejorado, pasando de un estado crítico (0.8 a 1.0) a un estado aceptable (0.4 a 0.6); por lo tanto, se acepta la hipótesis.

3. En la Figura 27 se observa una disminución en el volumen de escorrentía (23.97%) y del caudal pico (12.59%), entre el estado sin SUDS y con SUDS. Además, en la Figura 28, se evidencia una notable disminución en el volumen y el tiempo de inundación en las cámaras de todo el sistema, llegando a un 82,48% y 60% respectivamente.

### 4.2. Discusión

1. Con la propuesta de un sistema de drenaje pluvial convencional que cumpla con las consideraciones mínimas del caudal de diseño, se busca regular los caudales pico en la cuenca urbana de la zona de estudio. Luna Victoria. (2021) con el uso de un modelo hidráulico SWMM logró plantear una red de drenaje que no presenta daños en ninguna conexión debido a las precipitaciones. En la presente investigación, tras analizar el comportamiento hidráulico del sistema planteado sin SUDS, para una lluvia de un periodo de retorno de 5 años, se evidenciaría

daños en el sistema con peligro de que colapse, es decir, el planteamiento del sistema convencional es insuficiente en comparación al sistema propuesto en la investigación anterior.

2. En su investigación, Castrillón, Y. (2014) plantea estrategias para el control de inundaciones; donde emplea las técnicas SUDS e infraestructuras de contención como los diques; combinándolos en diferentes escenarios, haciendo uso de un modelamiento hidráulico PC-SWMM, el cual permite el manejo de información SIG (Sistemas de Información Geográfica), generando resultados más exactos a la realidad de la zona de estudio. El software libre EPA-SWMM que se emplea en esta investigación, no posee interacción con información SIG en los módulos del mismo programa, por lo que este procedimiento se llevó a cabo en ARGIS, obteniendo resultados similares a los de Castrillón.

3. En el modelamiento hidráulico en EPA-SWMM del sistema de drenaje convencional en un estado inicial, sin SUDS, presenta caudales picos elevados similares a la investigación de Pérez & Sora (2019). Los autores obtuvieron una notable reducción del caudal pico en dos de las tres descargas de su sistema con SUDS, gracias a la aplicación de los tanques de tormenta en todo el sistema; en contraste con la presente investigación en donde las zanjas de infiltración, SUDS que se implementó solamente en las zonas críticas del sistema y en el cual se evitó sobredimensionar el sistema de drenaje pluvial más de lo necesario obteniendo un impacto similar en el comportamiento hidráulico como en el caso de Pérez & Sora.

## V. CONCLUSIONES

En la presente investigación se llegaron a las siguientes conclusiones:

1. Por ser una cuenca urbana pequeña de 0.52 km, se aplicó el Método Racional y el modelamiento HEC-HMS para una lluvia de periodo de retorno de 5 años, obteniendo un caudal de diseño de 3.51 m<sup>3</sup>/s.

El sistema de drenaje convencional planteado es insuficiente para regular las aguas de lluvias, presentando problemas en su capacidad de retención de caudal en su estado más crítico de la lluvia de diseño, que es entre los minutos 60 y 65.

2. De las zonas críticas del sistema de drenaje; la zona 2 presentó un riesgo de colapso del sistema. Seguido, se implementó el SUDS de Franjas de Infiltración por ser el más apto para la zona crítica, y el que mejor se adaptaba al modelamiento hidráulico EPA-SWMM, logrando mejorar la capacidad de las tuberías y la inundación en las cámaras del sistema de drenaje planteado inicialmente.

3. La eficiencia del sistema de drenaje convencional implementado con SUDS evidencia una notable mejora en regular las aguas de lluvia, el cual fue corroborado mediante la simulación de lluvia en el EPA-SWMM.

El volumen de esorrentía de evacuación disminuye en un 23.97% y el caudal pico de salida en la zona más crítica en el área de drenaje baja en un 12.59%. Es de suma importancia disminuir el caudal pico en todo el sistema y se logró comprobar que ante inundaciones en las cámaras (node flowding) en periodos cortos (entre 5 y 10 minutos), el control de inundación se garantiza.

## VI. RECOMENDACIONES

Finalmente se recomienda que en investigaciones futuras se tengan en cuenta lo siguiente:

- Ampliar la recolección de información con data más real para la aplicación de las matrices de selección SUDS.
- Usar un mejor software para el modelamiento hidráulico, como es el caso del PC-SWMM ya que permite el uso de herramientas SIG dentro su entorno.
- Al tratarse de una propuesta de sistema de drenaje, para posteriores investigaciones diseñar más a detalle los conductos y pozos del sistema, además de realizar otras evaluaciones como la calidad de agua del flujo transportado, se recomienda recopilar más información topográfica e hidrológica de la zona que permita hacer uso del método de onda dinámica.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres Carlos Rázuri y Esther Osorio por confiar y creer en mí, por los consejos, valores y principios que me han inculcado a lo largo de mi vida.

Gracias a todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad San Pedro, por haber compartido sus conocimientos durante de mi vida universitaria, y de manera especial agradezco a mi asesor el Ing. Miguel Solar por su apoyo, guía y paciencia durante este proceso de investigación.

Un especial agradecimiento a mi esposa Eli y a mi hermano Billy por todo su apoyo para que esta tesis se vea realizada.

## **DEDICATORIA**

Este presente trabajo de investigación se lo dedico mis padres, Carlos Rázuri y Esther Osorio por su amor, por sacrificio y empuje en todos estos años para que pueda cumplir mis metas, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Es un orgullo y privilegio ser su hijo.

A mi esposa Eli y a mi hija Luciana que son mi principal motivo para seguir cosechando más éxitos en mi vida profesional.

A mi hermano Billy Rázuri que a lo largo de este viaje me apoyó incondicionalmente con sus conocimientos.

Y todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abellán, A. (2018, Marzo). *Investigación sobre Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible*.  
<http://sudsostenible.com/sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible/>
- Pérez, L. y Sora, O. (2019). *Descripción de los SUDS como alternativa de control y regulación de las aguas lluvias y modelación de tanques tormenta en la ciudad de Bogotá*. [Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia]. <https://hdl.handle.net/10983/24081>
- Castrillón, Y. (2014). *Estrategias para el control de inundaciones en la zona urbana de la cuenca del río Meléndez*. [Trabajo de grado, Universidad del Valle].  
<http://hdl.handle.net/10893/7909>
- Cubas, A. (2021). *Diseño de sistema de drenaje pluvial del Asentamiento Humano Los Algarrobos II y IV Etapa (Piura-Piura)*. [Tesis de Título. Universidad de Piura].  
<https://hdl.handle.net/11042/5288>
- Rojas, P. y Humpiri, P. (2016). *Evaluación, Diseño y Modelamiento del Sistema de Drenaje Pluvial de la ciudad de Juliaca con la aplicación del software SWMM*. [Tesis de Título, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional UNA-PUNO
- Dana Tomlin, C. (1990). *Geographic information systems and cartographic modelling*.  
*Prentice Hall*. Prentice Hall
- Autoridad Nacional del Agua. (2017). *Diagnóstico y Determinación del Cauce del Río Chilca para el Control de Máximas Avenidas desde el Sector La Palma hasta su Descarga al Mar*. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/3672>

- Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA. (2017). *Investigación de las tipologías y/o tecnologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá D.C.*  
[https://oab.ambientebogota.gov.co/?post\\_type=dlm\\_download&p=19822](https://oab.ambientebogota.gov.co/?post_type=dlm_download&p=19822)
- Green Blue Urban. (2021, Febrero 25). *La Gestión del Agua de Lluvia.*  
<https://greenblue.com/es/stormwater-made-simple/>
- Aguilar, L., Calderón, A. y Medina, D. (2018). *Análisis comparativo de los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) caso de estudio carrera 4 y carrera 5 entre calles 68 y 71, sector chapinero alto, Bogotá, Colombia.* [Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia]. <https://hdl.handle.net/10983/22379>
- Sánchez, F (2022). *Hidrología Superficial y Subterránea.* <https://hidrologia.usal.es/>
- Trujillo, J. (2015). *Selección y priorización de sistemas urbanos de drenaje sostenibles en el campus de la Universidad de los Andes.* [Trabajo de grado, Universidad de los Andes – Colombia]. <http://hdl.handle.net/1992/17600>
- Luna Victoria, P. (2021). *Diseño de un sistema de drenaje pluvial urbano en la ciudad de Otuzco, la libertad mediante el uso del modelo matemático SWMM.* [Tesis de Título, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/21652>
- Woods Ballard, B., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R. y Kellager, R. (2015). *The SuDS Manual.* London: CIRIA C753.  
<http://www.scotsnet.org.uk/documents/NRDG/CIRIA-report-C753-the-SuDS-manual-v6.pdf>

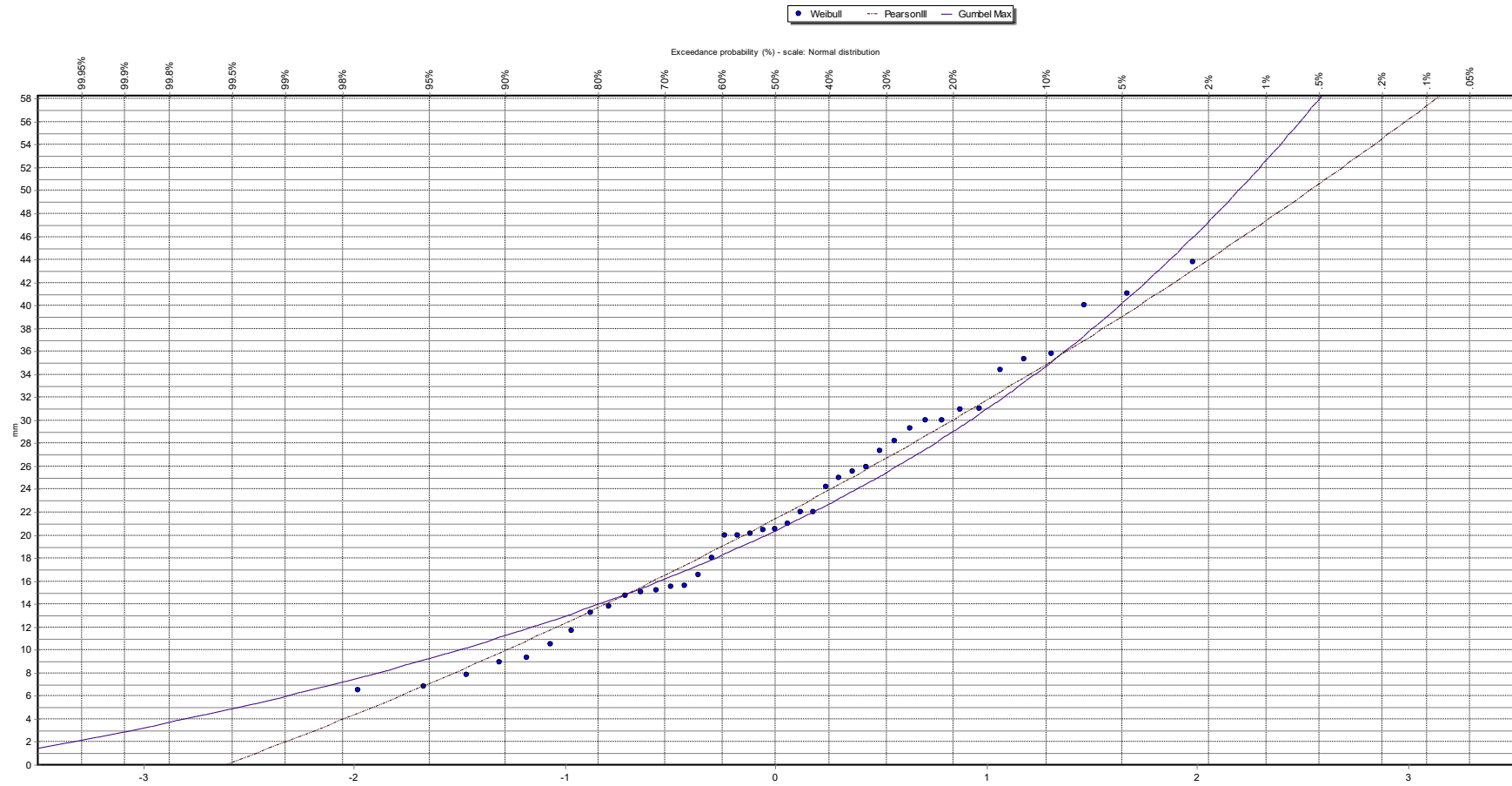
## ANEXOS

### Anexo 1: Pruebas de Bondad de serie de datos

Prueba de Kolmogorov-Smirnov					
Distribuciones	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.99%	0.04851
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.98%	0.05074
EV3-Min (Weibull)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.95%	0.05357
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.92%	0.05499
GEV-Min	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.90%	0.05548
GEV-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.42%	0.06309
Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.24%	0.06452
<b>Pearson III</b>	<b>ACCEPT</b>	<b>ACCEPT</b>	<b>ACCEPT</b>	<b>98.87%</b>	<b>0.06678</b>
Galton	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	98.67%	0.0678
Pareto	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	98.48%	0.0687
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	98.16%	0.07
Normal (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97.14%	0.07333
<b>EV1-Max (Gumbel)</b>	<b>ACCEPT</b>	<b>ACCEPT</b>	<b>ACCEPT</b>	<b>95.89%</b>	<b>0.07645</b>
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	95.32%	0.07769
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	92.87%	0.08215
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	87.63%	0.08945
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	73.15%	0.1046
GEV-Min (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	73.14%	0.10461
GEV-Max (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	59.28%	0.11752
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	54.88%	0.12168
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	35.39%	0.14228
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	35.31%	0.14238
EV1-Min (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	35.28%	0.14241
Exponential	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	34.74%	0.14307
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	25.75%	0.15522
EV2-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	22.31%	0.16068
EV2-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	14.38%	0.17634

Prueba de Chi Cuadrado					
Distribución	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	Pearson Param.
Pareto	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	81.28%	0.41463
Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	81.28%	0.41463
EV3-Min (Weibull)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	80.13%	1
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	80.13%	1
<b>EV1-Max (Gumbel)</b>	<b>ACCEPT</b>	<b>ACCEPT</b>	<b>ACCEPT</b>	<b>66.27%</b>	<b>1.58537</b>
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	66.27%	1.58537
Galton	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	60.65%	1
<b>Pearson III</b>	<b>ACCEPT</b>	<b>ACCEPT</b>	<b>ACCEPT</b>	<b>60.65%</b>	<b>1</b>
GEV-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	60.65%	1
GEV-Min	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	60.65%	1
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	60.65%	1
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	60.65%	1
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	53.77%	2.17073
Normal (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	53.77%	2.17073
GEV-Min (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	53.77%	2.17073
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	53.77%	2.17073
EV1-Min (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	48.19%	2.46341
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	43.08%	2.7561
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	38.42%	3.04878
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	38.42%	3.04878
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	34.19%	3.34146
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	21.12%	4.5122
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	10.48%	4.5122
Exponential	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	9.93%	6.26829
EV2-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	8.73%	6.56098
GEV-Max (kappa specified)	ACCEPT	REJECT	REJECT	3.50%	8.60976
EV2-Max	REJECT	REJECT	REJECT	0.13%	15.6341

## Anexo 2: Distribuciones que más se ajustan a la serie de datos



### Anexo 3: Modelo de Dick Peschke

Duración (Minutos)	Precipitación en 24 horas (mm)						
	23.06	32.82	39.28	47.44	53.49	59.50	73.39
	Periodo de Retorno (Años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Precipitación (mm)							
5	5.60	7.97	9.53	11.52	12.99	14.44	17.82
10	6.66	9.47	11.34	13.69	15.44	17.18	21.19
15	7.37	10.48	12.55	15.16	17.09	19.01	23.45
20	7.92	11.27	13.48	16.29	18.36	20.43	25.20
25	8.37	11.91	14.26	17.22	19.42	21.60	26.64
30	8.76	12.47	14.92	18.02	20.32	22.61	27.88
35	9.11	12.96	15.51	18.73	21.12	23.50	28.98
40	9.42	13.40	16.04	19.37	21.84	24.29	29.96
45	9.70	13.80	16.51	19.95	22.49	25.02	30.86
50	9.96	14.17	16.96	20.48	23.09	25.69	31.68
55	10.20	14.51	17.36	20.97	23.65	26.31	32.45
60	10.42	14.83	17.75	21.43	24.17	26.88	33.16
120	12.39	17.63	21.10	25.49	28.74	31.97	39.43
180	13.71	19.51	23.36	28.21	31.81	35.38	43.64
240	14.74	20.97	25.10	30.31	34.18	38.02	46.89
300	15.58	22.17	26.54	32.05	36.14	40.20	49.58
360	16.31	23.21	27.77	33.55	37.83	42.08	51.90
420	16.95	24.12	28.87	34.86	39.31	43.73	53.94
480	17.52	24.94	29.85	36.05	40.65	45.21	55.77
540	18.05	25.68	30.74	37.12	41.86	46.57	57.43
600	18.53	26.37	31.56	38.11	42.98	47.81	58.97
660	18.98	27.00	32.32	39.03	44.02	48.96	60.39
720	19.39	27.60	33.03	39.89	44.98	50.04	61.72
780	19.79	28.16	33.70	40.70	45.89	51.05	62.96
840	20.16	28.68	34.33	41.46	46.75	52.00	64.14
900	20.51	29.18	34.92	42.18	47.56	52.91	65.26
960	20.84	29.66	35.49	42.87	48.34	53.77	66.32
1020	21.16	30.11	36.03	43.52	49.08	54.59	67.33
1080	21.46	30.54	36.55	44.15	49.78	55.38	68.30
1140	21.75	30.96	37.05	44.75	50.46	56.13	69.23
1200	22.04	31.36	37.53	45.33	51.11	56.85	70.12
1260	22.31	31.74	37.99	45.88	51.74	57.55	70.98
1320	22.57	32.11	38.43	46.42	52.34	58.22	71.81
1380	22.82	32.47	38.86	46.94	52.93	58.88	72.62
<b>1440</b>	<b>23.06</b>	<b>32.82</b>	<b>39.28</b>	<b>47.44</b>	<b>53.49</b>	<b>59.50</b>	<b>73.39</b>

**Anexo 4: Lluvia de diseño de 2 horas para un periodo de retorno de 5 años**

<b>MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO</b>					
DURACIÓN	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACIÓN
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
5	93.252	7.771	7.771	0-5	0.181
10	55.418	9.236	1.465	5-10	0.194
15	40.874	10.218	0.982	10-15	0.208
20	32.934	10.978	0.759	15-20	0.226
25	27.854	11.606	0.628	20-25	0.247
30	24.290	12.145	0.539	25-30	0.274
35	21.636	12.621	0.476	30-35	0.310
40	19.572	13.048	0.427	35-40	0.357
45	17.915	13.437	0.389	40-45	0.427
50	16.553	13.794	0.357	45-50	0.539
55	15.410	14.126	0.332	50-55	0.759
60	14.435	14.435	0.310	55-60	1.465
65	13.593	14.726	0.291	60-65	7.771
70	12.858	15.001	0.274	65-70	0.982
75	12.209	15.261	0.260	70-75	0.628
80	11.631	15.508	0.247	75-80	0.476
85	11.114	15.744	0.236	80-85	0.389
90	10.647	15.970	0.226	85-90	0.332
95	10.223	16.187	0.217	90-95	0.291
100	9.837	16.395	0.208	95-100	0.260
105	9.483	16.596	0.201	100-105	0.236
110	9.158	16.789	0.194	105-110	0.217
115	8.857	16.976	0.187	110-115	0.201
120	8.579	17.157	0.181	115-120	0.187

**Anexo 5: Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, Ia = 0.2s)**

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
Tierra cultivada <sup>1</sup> : sin tratamientos de conservación con tratamiento de conservación	72 62	81 71	88 78	91 81
Pastizales: condiciones pobres condiciones óptimas	68 39	79 61	86 74	89 80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas, cubierta buena <sup>2</sup>	45 25	66 55	77 70	83 77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75%	39 49	61 69	74 79	80 84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos Industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial <sup>3</sup> :				
Tamaño promedio del lote      Porcentaje promedio impermeable <sup>4</sup>				
1/8 acre o menos                      65	77	85	90	92
1/4 acre                                      38	61	75	83	87
1/3 acre                                      30	57	72	81	86
1/2 acre                                      25	54	70	80	85
1 acre    20	51	68	79	84
Parqueadores pavimentados, techos, accesos, etc. <sup>5</sup>	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados <sup>5</sup>	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

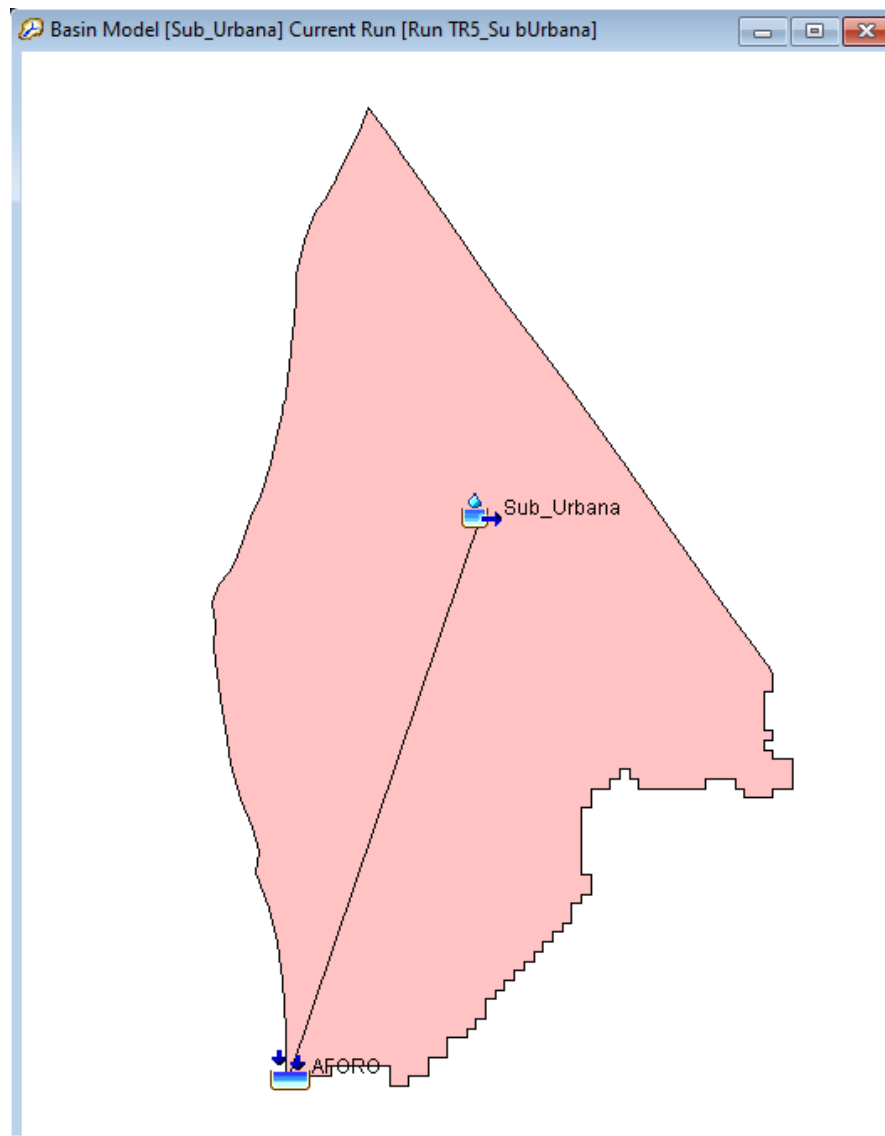
Fuente: Adaptado del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones)

## Anexo 6: Coeficiente de escorrentía para ser usados en el método racional.

Característica de la superficie	Período de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
<b>Áreas desarrolladas</b>							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto / techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
<i>Condición pobre</i> (cubierta de pasto menor del 50 % del área)							
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
<i>Condición promedio</i> (cubierta de pasto del 50 al 75 % del área)							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<i>Condición buena</i> (cubierta de pasto mayor del 75 % del área)							
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
<b>Áreas no desarrolladas</b>							
Área de cultivos							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

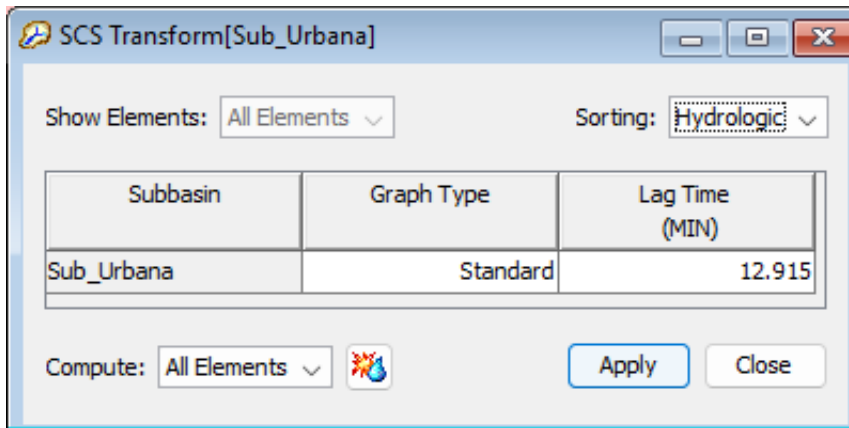
*Nota:* Los valores de la tabla son los estándares utilizados en la ciudad de Austin, Texas. Utilizada con Autorización.

## Anexo 7: Simulación de lluvia de 2 horas en un periodo de retorno de 5 años

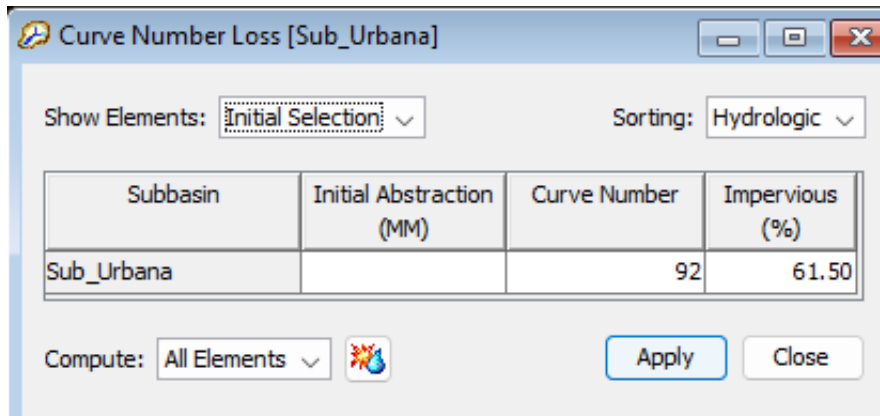


Teniendo ya la cuenca modelada en HEC HMS con los valores de sus áreas respectivas obtenidas, pasamos a obtener el caudal máximo:

- Se Ingresa el valor del Tiempo de Retardo (Lag Time) para cada subcuenca haciendo uso del comando **PARAMETER > TRANSFORM > SCS UNIT HYDROGRAPH:**



- Ingresamos el valor de la Curva Número (Lag Time) para cada subcuenca haciendo uso del comando **PARAMETER > LOSS > SCS CURVE NUMBER**:



- Se Ingresan los datos del histograma de diseño en **COMPONENTS > TIME - SERIES DATA MANAGER**: Creamos un **New Time - Series Data (S1 – S3)**.

The image shows a software interface with a project tree on the left and a configuration window on the right. The project tree is expanded to show a folder named 'SUB\_URBANA' containing several sub-folders: 'Basin Models', 'Meteorologic Models', 'Control Specifications', and 'Time-Series Data'. Under 'Time-Series Data', there is a folder 'Precipitation Gages' which contains a sub-folder 'Sub\_Urbana'. Below the tree, there are tabs for 'Components', 'Compute', and 'Results'. The 'Time-Series Gage' configuration window is open, showing the following fields:

<b>Gage Name:</b>	<b>Sub_Urbana</b>
Description:	
Data Source:	Manual Entry
Units:	Incremental Millimeters
<b>Time Interval:</b>	<b>5 Minutes</b>
Latitude Degrees:	
Latitude Minutes:	
Latitude Seconds:	
Longitude Degrees:	
Longitude Minutes:	
Longitude Seconds:	

En el apartado de Precipitation Gages, se ingresa los datos en la ventana Time-Series Gage, Intervalo de tiempo (5 min) del hietograma

The screenshot displays a software interface for configuring a precipitation gage. The top section shows a hierarchical file tree under the folder 'SUB\_URBANA'. The tree includes folders for 'Basin Models', 'Meteorologic Models', 'Control Specifications', and 'Time-Series Data'. Under 'Time-Series Data', there is a sub-folder 'Precipitation Gages' containing a gage named 'Sub\_Urbana'. A specific time window for this gage is highlighted in blue: '01oct2022, 00:00 - 01oct2022, 02:00'.

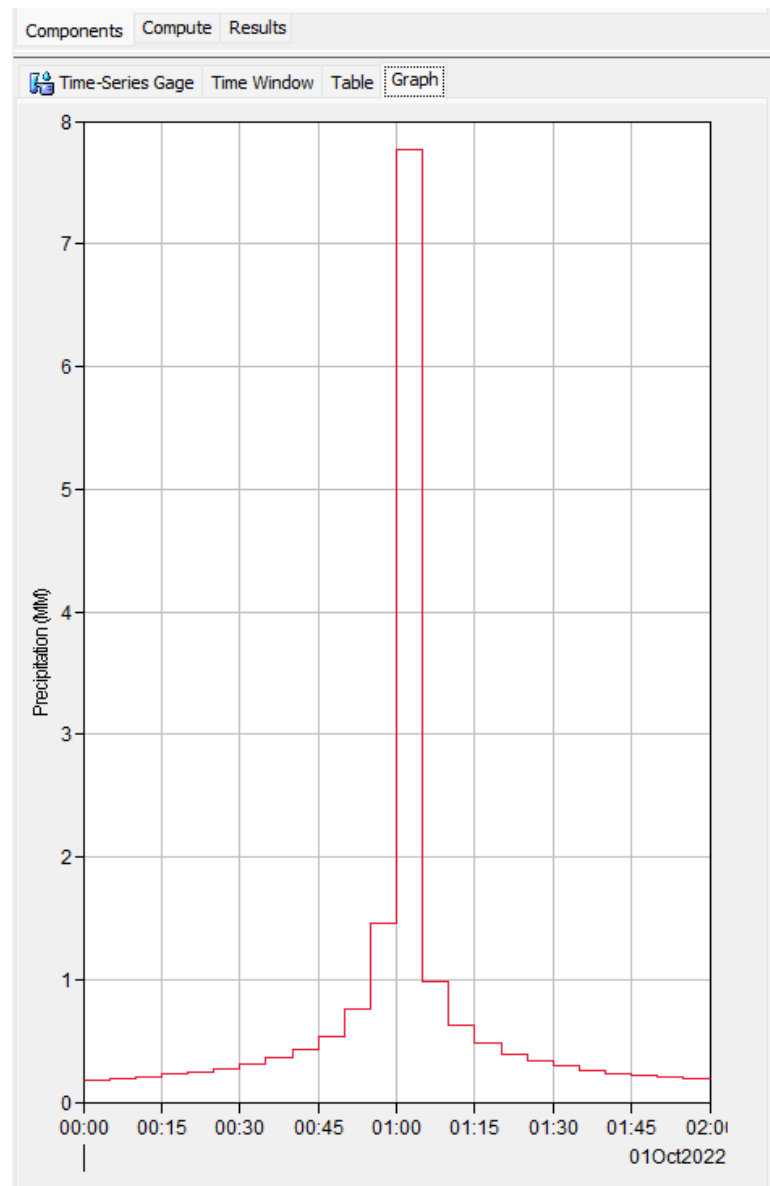
Below the file tree, there are three tabs: 'Components', 'Compute', and 'Results'. The 'Compute' tab is active, showing a 'Time-Series Gage' configuration window. This window has four sub-tabs: 'Time-Series Gage', 'Time Window', 'Table', and 'Graph'. The 'Time Window' tab is selected, displaying the following configuration:

Gage Name: Sub_Urbana	
*Start Date (ddMMYYYY)	01oct2022
*Start Time (HH:mm)	00:00
*End Date (ddMMYYYY)	01oct2022
*End Time (HH:mm)	02:00

Ingreso de datos en la ventana Time Window, fecha y hora de inicio y finalización de la lluvia.

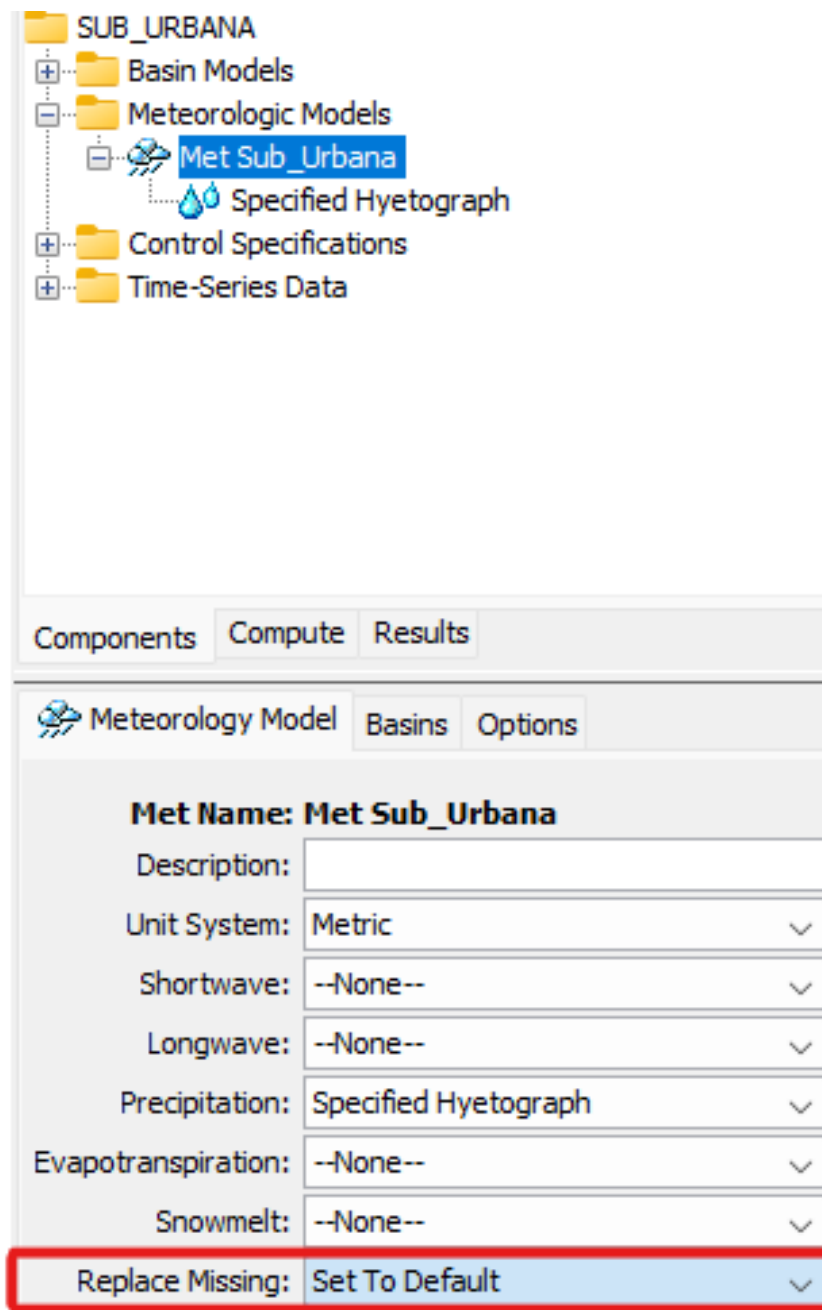
Components		Compute	Results
Time-Series Gage		Time Window	Table Graph
Time (ddMMYYYY, HH:MM)	Precipitation (MM)		
01oct2022, 00:00			
01oct2022, 00:05	0.181		
01oct2022, 00:10	0.194		
01oct2022, 00:15	0.208		
01oct2022, 00:20	0.226		
01oct2022, 00:25	0.247		
01oct2022, 00:30	0.274		
01oct2022, 00:35	0.310		
01oct2022, 00:40	0.357		
01oct2022, 00:45	0.427		
01oct2022, 00:50	0.539		
01oct2022, 00:55	0.759		
01oct2022, 01:00	1.465		
01oct2022, 01:05	7.771		
01oct2022, 01:10	0.982		
01oct2022, 01:15	0.628		
01oct2022, 01:20	0.476		
01oct2022, 01:25	0.389		
01oct2022, 01:30	0.332		
01oct2022, 01:35	0.291		
01oct2022, 01:40	0.260		
01oct2022, 01:45	0.236		
01oct2022, 01:50	0.217		
01oct2022, 01:55	0.201		
01oct2022, 02:00	0.187		

Ingreso de datos en la ventana Table, ingreso de los datos del hietograma de diseño

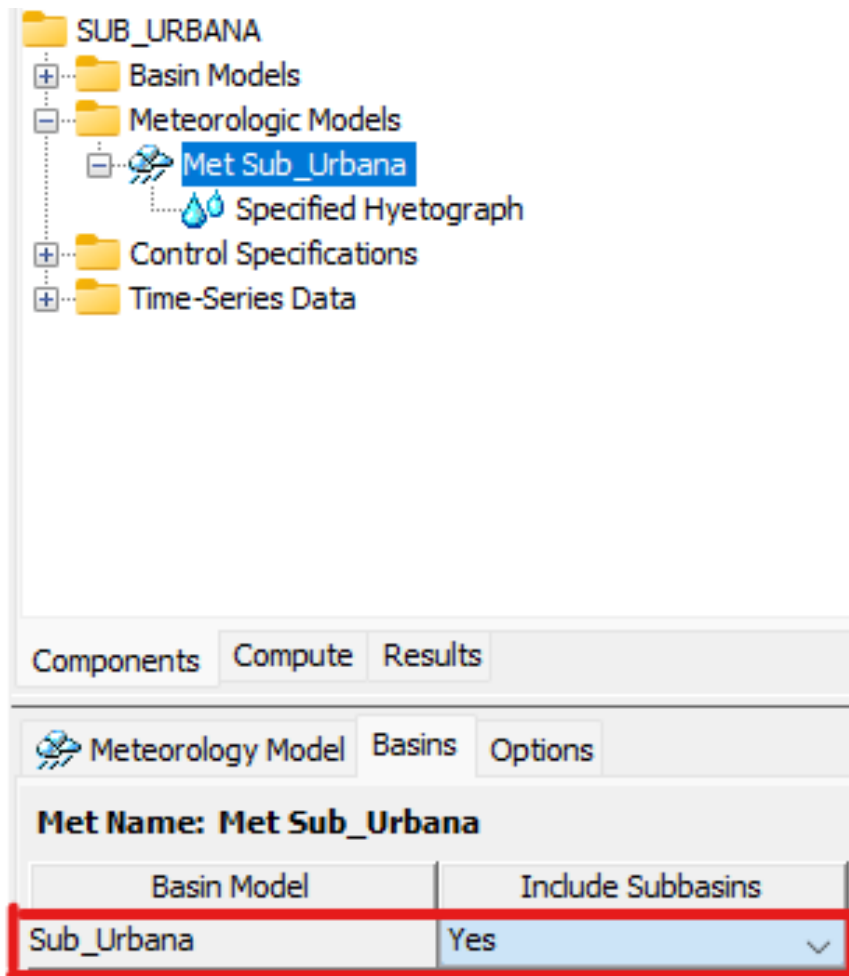


Ingreso de datos en la ventana Graph, Gráfico del hietograma de diseño

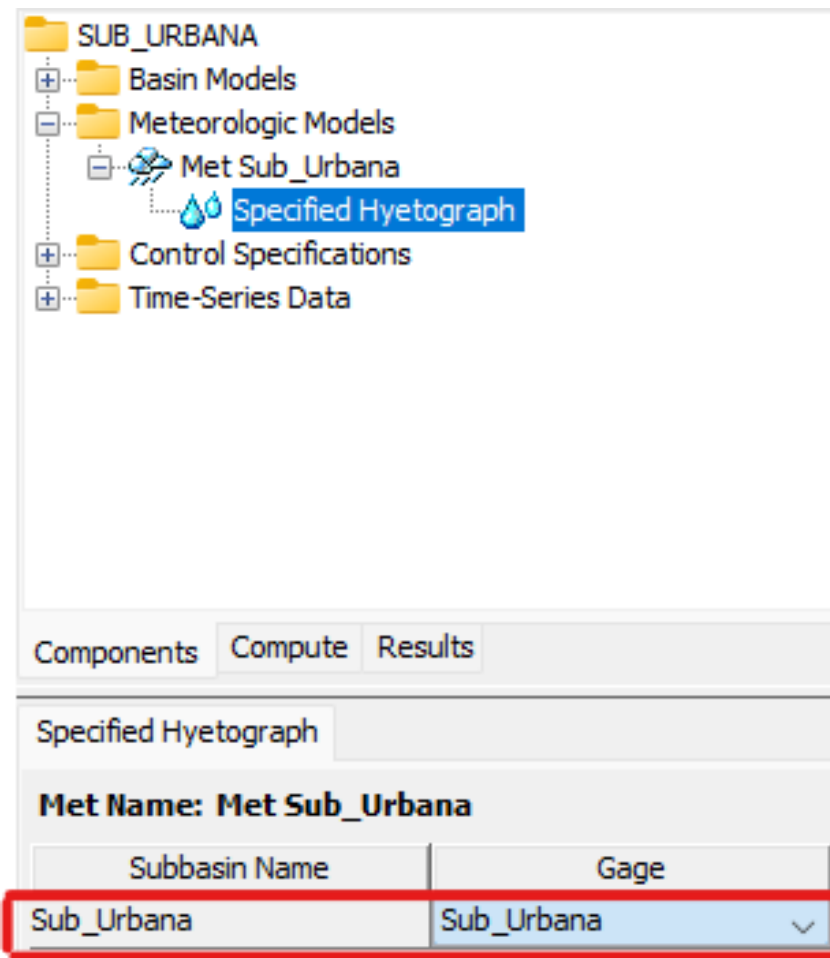
- Se establece el modelo meteorológico en **COMPONENTS > METEOROLOGIC MODEL MANAGER**: Creamos un **New Meteorologic Model** (Met Sub\_Urbana)



En la ventana Meteorology Model, en Replace Missing remplazamos Abort Compute a Set To Default

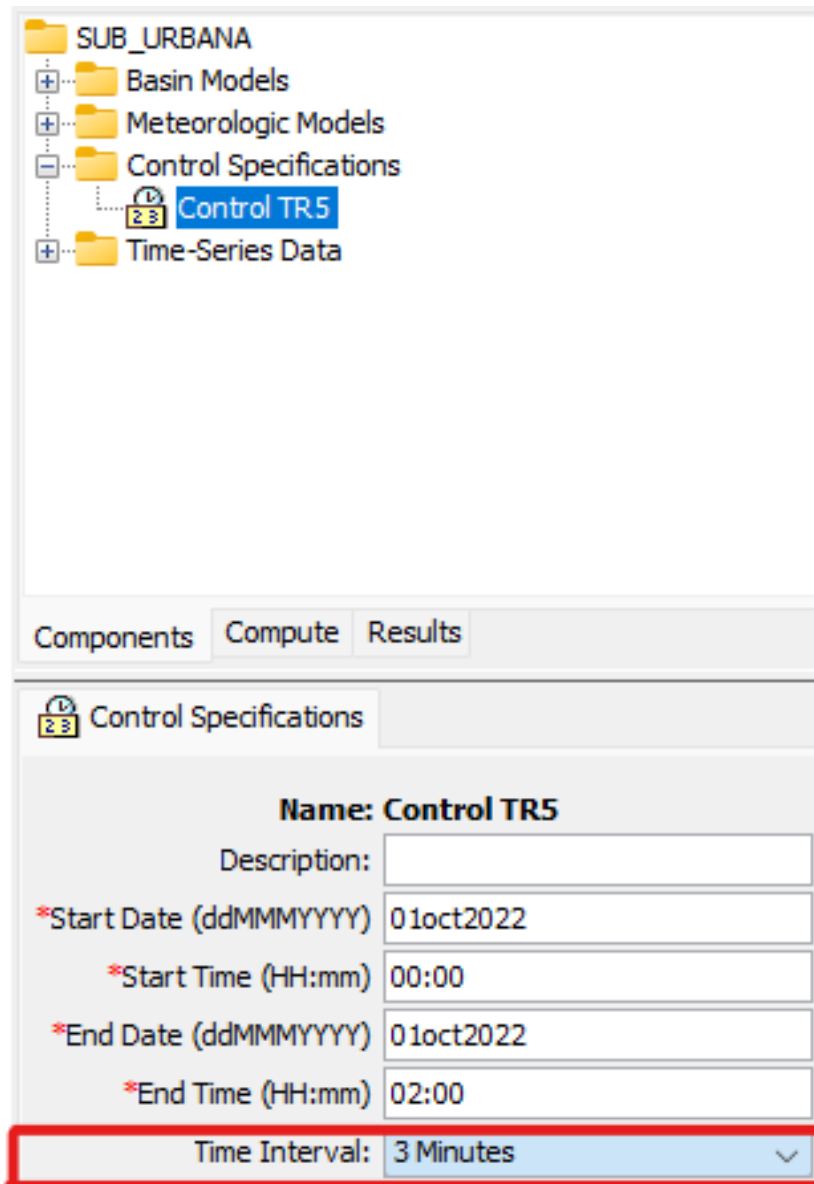


En la ventana Basing, en Incluye Subbasins seleccionamos **Yes**



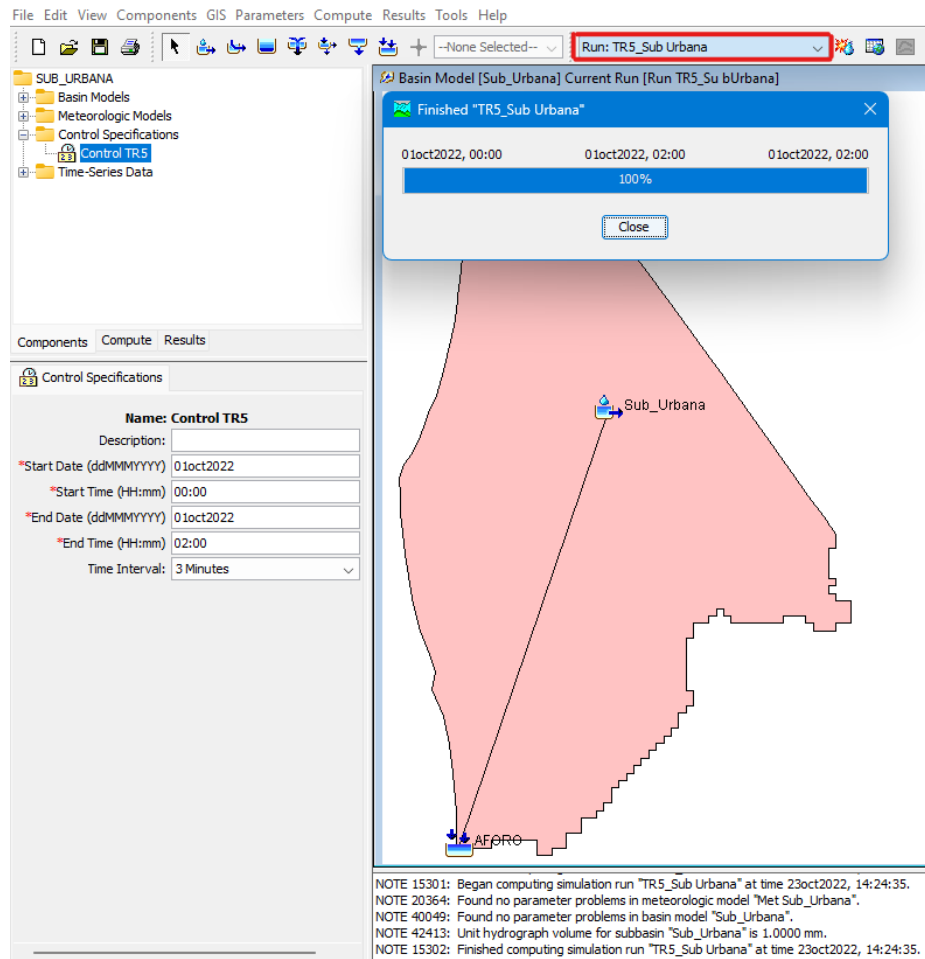
En la ventana Specified Hyetograph, especificamos el hietograma donde dice Gage seleccionamos el nombre del hietograma (S1-S3) para cada subcuenca.

- Se especifica el formato de salida de los resultados en **COMPONENTS > CONTROL SPECIFICATIONS MANAGER:** Creamos un **New Control Specifications** (Control\_TR5).



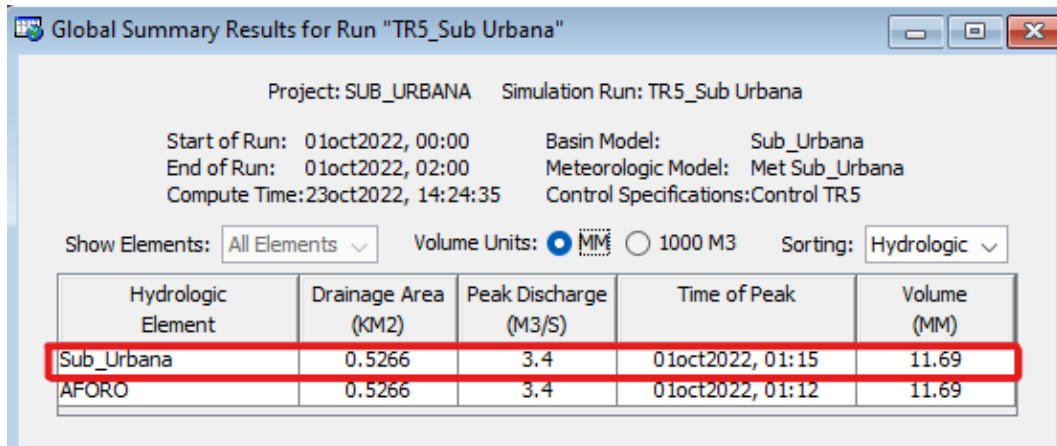
En la ventana Control Specifications, especificamos la fecha y hora de inicio y final del hidrograma, así como el intervalo de tiempo (3 min)

- Finalmente se crea la computación de la corrida del modelo en **COMPUTE > CREATE COMPUTE > SIMULATION RUN**: Creamos un nuevo Simulation Run (TR 5\_Sub Urbana), En la pantalla principal seleccionamos el Run TR 5\_Sub Urbana, luego hacemos clic en Compute All Elements y esperamos que finalice la corrida satisfactoriamente.

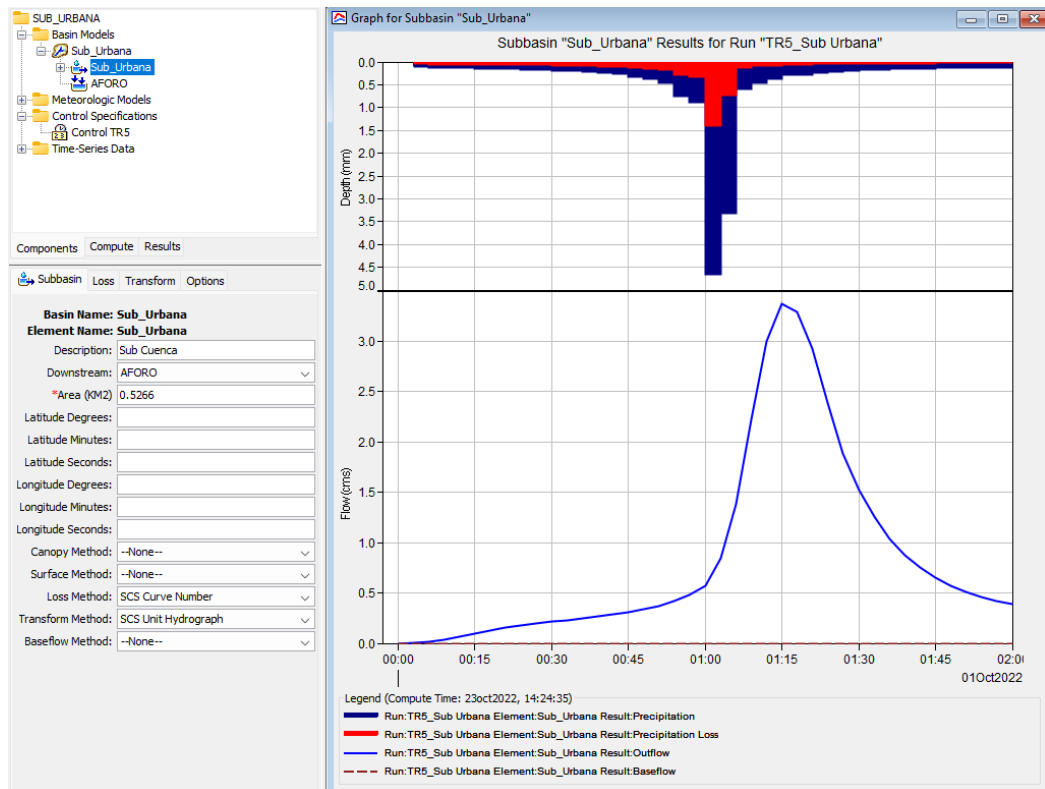


Se ejecutó de manera satisfactoria la corrida de los datos (100%)

## RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN



Resumen global de los resultados de los datos obtenidos por el Hec- Hms



En la parte inferior se observa el Hidrograma Unitario obtenido por el Hec- Hms para la Subcuenca Sub Urbana.

CHILCA 3

- Basin Models
  - Chilca 3
    - R 1
      - S21**
      - Sink-1
- Meteorologic Models
- Control Specifications
- Time-Series Data
- Terrain Data

Components Compute Results

Subbasin Loss Transform Options

**Basin Name: Chilca 3**  
**Element Name: S21**

Description:

Downstream: Sink-1

\*Area (KM2): 35.951

Latitude Degrees: -12

Latitude Minutes: 29

Latitude Seconds: 22

Longitude Degrees: -76

Longitude Minutes: 42

Longitude Seconds: 55

Canopy Method: --None--

Surface Method: --None--

Loss Method: SCS Curve Number

Transform Method: SCS Unit Hydrograph

Baseflow Method: --None--

Summary Results for Subbasin "S21"

Project: CHILCA 3 Simulation Run: TR25\_S21 Chilca  
 Subbasin: S21

Start of Run: 01oct2022, 00:00 Basin Model: Chilca 3  
 End of Run: 02oct2022, 02:00 Meteorologic Model: Met\_S21  
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control\_TR25

Volume Units:  MM  1000 M3

Computed Results

**Peak Discharge: 75.6 (M3/S) Date/Time of Peak Discharge: 01oct2022, 13:52**

Precipitation Volume: 44.13 (MM) Direct Runoff Volume: 24.71 (MM)  
 Loss Volume: 19.34 (MM) Baseflow Volume: 0.00 (MM)  
 Excess Volume: 24.79 (MM) Discharge Volume: 24.71 (MM)

Time-Series Results for Subbasin "S21"

Project: CHILCA 3 Simulation Run: TR25\_S21 Chilca  
 Subbasin: S21

Start of Run: 01oct2022, 00:00 Basin Model: Chilca 3  
 End of Run: 02oct2022, 02:00 Meteorologic Model: Met\_S21  
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control\_TR25

Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
01oct2022	13:30	0.08	0.02	0.06	65.6	0.0	65.6
01oct2022	13:32	0.08	0.02	0.07	67.2	0.0	67.2
01oct2022	13:34	0.08	0.02	0.07	68.7	0.0	68.7
01oct2022	13:36	0.08	0.02	0.07	70.1	0.0	70.1
01oct2022	13:38	0.08	0.02	0.07	71.4	0.0	71.4
01oct2022	13:40	0.08	0.02	0.07	72.4	0.0	72.4
01oct2022	13:42	0.08	0.02	0.07	73.4	0.0	73.4
01oct2022	13:44	0.08	0.02	0.07	74.1	0.0	74.1
01oct2022	13:46	0.08	0.02	0.07	74.7	0.0	74.7
01oct2022	13:48	0.08	0.02	0.07	75.2	0.0	75.2
01oct2022	13:50	0.08	0.02	0.07	75.5	0.0	75.5
01oct2022	13:52	0.08	0.02	0.07	75.6	0.0	75.6
01oct2022	13:54	0.08	0.02	0.07	75.6	0.0	75.6
01oct2022	13:56	0.08	0.02	0.07	75.4	0.0	75.4
01oct2022	13:58	0.08	0.02	0.07	75.1	0.0	75.1
01oct2022	14:00	0.08	0.02	0.07	74.7	0.0	74.7
01oct2022	14:02	0.05	0.01	0.04	74.1	0.0	74.1
01oct2022	14:04	0.05	0.01	0.04	73.4	0.0	73.4
01oct2022	14:06	0.05	0.01	0.04	72.7	0.0	72.7
01oct2022	14:08	0.05	0.01	0.04	71.8	0.0	71.8
01oct2022	14:10	0.05	0.01	0.04	70.8	0.0	70.8
01oct2022	14:12	0.05	0.01	0.04	69.8	0.0	69.8
01oct2022	14:14	0.05	0.01	0.04	68.7	0.0	68.7
01oct2022	14:16	0.05	0.01	0.04	67.5	0.0	67.5
01oct2022	14:18	0.05	0.01	0.04	66.3	0.0	66.3
01oct2022	14:20	0.05	0.01	0.04	65.1	0.0	65.1
01oct2022	14:22	0.05	0.01	0.04	63.8	0.0	63.8
01oct2022	14:24	0.05	0.01	0.04	62.4	0.0	62.4
01oct2022	14:26	0.05	0.01	0.04	61.0	0.0	61.0

**Anexo 8: Subcuencas urbanas de la zona de estudio**

Cuenca	ÁREA (m2)	ÁREA (Hec)	Ancho (m)	Pendiente (%)	% Impermeabilidad	Coef. n (Imper)	Coef. n (Perm)	Prof. Alm. (Imper)	CN
1	5698.20	0.5698	140.00	2.34	65	0.011	0.024	1.27	85
2	16714.91	1.6715	300.00	2.34	65	0.011	0.024	1.27	85
3	15261.49	1.5261	300.00	2.34	65	0.011	0.024	1.27	85
4	8599.81	0.8600	200.00	2.34	65	0.011	0.024	1.27	85
5	8765.25	0.8765	300.00	2.13	65	0.011	0.024	1.27	85
6	2144.92	0.2145	100.00	2.13	65	0.011	0.024	1.27	85
7	11151.87	1.1152	400.00	2.13	65	0.011	0.024	1.27	85
8	6905.25	0.6905	200.00	2.13	65	0.011	0.024	1.27	85
9	1732.82	0.1733	90.00	1.29	85	0.011	0.012	1.91	92
10	2093.83	0.2094	150.00	1.29	85	0.011	0.012	1.91	92
11	4533.46	0.4533	150.00	1.29	85	0.011	0.012	1.91	92
12	3164.23	0.3164	190.00	1.29	85	0.011	0.012	1.91	92
13	1627.04	0.1627	120.00	1.29	85	0.011	0.012	1.91	92
14	4544.68	0.4545	120.00	1.29	85	0.011	0.012	1.91	92
15	9973.63	0.9974	200.00	1.92	65	0.011	0.024	1.27	85
16	7462.38	0.7462	180.00	1.92	65	0.011	0.024	1.27	85
17	6572.08	0.6572	180.00	1.92	65	0.011	0.024	1.27	85
18	8934.15	0.8934	200.00	1.92	65	0.011	0.024	1.27	85
19	11031.57	1.1032	210.00	1.58	65	0.011	0.024	1.27	85
20	7579.82	0.7580	180.00	1.58	65	0.011	0.024	1.27	85
21	9236.92	0.9237	180.00	1.58	65	0.011	0.024	1.27	85
22	10356.93	1.0357	210.00	1.58	65	0.011	0.024	1.27	85
23	11021.06	1.1021	210.00	1.38	65	0.011	0.024	1.27	85

24	6756.00	0.6756	180.00	1.38	65	0.011	0.024	1.27	85
25	8603.56	0.8604	180.00	1.38	65	0.011	0.024	1.27	85
26	10025.39	1.0025	210.00	1.38	65	0.011	0.024	1.27	85
27	13179.05	1.3179	240.00	1.64	65	0.011	0.024	1.27	85
28	10102.05	1.0102	250.00	1.64	65	0.011	0.024	1.27	85
29	6252.30	0.6252	100.00	1.64	65	0.011	0.024	1.27	85
30	11083.96	1.1084	130.00	1.64	65	0.011	0.024	1.27	85
31	5635.18	0.5635	250.00	1.64	65	0.011	0.024	1.27	85
32	4617.95	0.4618	170.00	1.64	65	0.011	0.024	1.27	85
33	2079.88	0.2080	80.00	1.64	65	0.011	0.024	1.27	85
34	3213.72	0.3214	80.00	1.64	65	0.011	0.024	1.27	85
35	16259.75	1.6260	170.00	1.64	65	0.011	0.024	1.27	85
36	6692.79	0.6693	170.00	1.64	65	0.011	0.024	1.27	85
37	1894.04	0.1894	90.00	1.64	65	0.011	0.024	1.27	85
38	5492.78	0.5493	180.00	1.64	65	0.011	0.024	1.27	85
39	1764.45	0.1764	90.00	1.64	65	0.011	0.024	1.27	85
40	2082.73	0.2083	100.00	1.64	65	0.011	0.024	1.27	85
41	5289.16	0.5289	100.00	1.64	65	0.011	0.024	1.27	85
42	4254.62	0.4255	130.00	1.64	65	0.011	0.024	1.27	85
43	2830.78	0.2831	110.00	1.64	65	0.011	0.024	1.27	85
44	3326.13	0.3326	130.00	1.64	65	0.011	0.024	1.27	85
45	2956.57	0.2957	110.00	1.64	65	0.011	0.024	1.27	85
46	3406.33	0.3406	130.00	1.66	65	0.011	0.024	1.27	85
47	7115.88	0.7116	210.00	1.66	65	0.011	0.024	1.27	85
48	5212.28	0.5212	150.00	1.66	65	0.011	0.024	1.27	85
49	3783.72	0.3784	120.00	1.66	65	0.011	0.024	1.27	85

50	3780.06	0.3780	120.00	0.83	65	0.011	0.024	1.27	85
51	2836.77	0.2837	100.00	0.83	65	0.011	0.024	1.27	85
52	2398.68	0.2399	100.00	0.83	65	0.011	0.024	1.27	85
53	4686.05	0.4686	120.00	0.83	65	0.011	0.024	1.27	85
54	3484.97	0.3485	100.00	1.54	85	0.011	0.012	1.91	92
55	5822.33	0.5822	200.00	1.54	85	0.011	0.012	1.91	92
56	5405.04	0.5405	190.00	1.54	85	0.011	0.012	1.91	92
57	2161.59	0.2162	80.00	1.54	85	0.011	0.012	1.91	92
58	3860.21	0.3860	100.00	1.54	65	0.011	0.024	1.27	85
59	8323.66	0.8324	200.00	1.54	65	0.011	0.024	1.27	85
60	3371.78	0.3372	100.00	1.54	65	0.011	0.024	1.27	85
61	2087.02	0.2087	80.00	1.54	65	0.011	0.024	1.27	85
62	8179.27	0.8179	200.00	1.54	65	0.011	0.024	1.27	85
63	3252.56	0.3253	100.00	2.18	65	0.011	0.024	1.27	85
64	7350.49	0.7350	150.00	2.18	65	0.011	0.024	1.27	85
65	3733.85	0.3734	130.00	2.18	65	0.011	0.024	1.27	85
66	8076.12	0.8076	180.00	2.18	65	0.011	0.024	1.27	85
67	5733.46	0.5733	140.00	2.18	65	0.011	0.024	1.27	85
68	8653.32	0.8653	200.00	2.04	30	0.13	0.012	5.00	61
69	5279.08	0.5279	150.00	2.04	30	0.13	0.012	5.00	61
70	5854.23	0.5854	150.00	2.04	30	0.13	0.012	5.00	61
71	9473.89	0.9474	200.00	2.04	30	0.13	0.012	5.00	61
72	4668.65	0.4669	120.00	0.84	65	0.011	0.024	1.27	85
73	7639.99	0.7640	200.00	0.84	65	0.011	0.024	1.27	85
74	7371.21	0.7371	200.00	0.84	65	0.011	0.024	1.27	85
75	3239.40	0.3239	120.00	0.84	65	0.011	0.024	1.27	85

76	5244.68	0.5245	140.00	0.89	65	0.011	0.024	1.27	85
77	3088.27	0.3088	120.00	0.89	65	0.011	0.024	1.27	85
78	5144.07	0.5144	140.00	0.89	65	0.011	0.024	1.27	85
79	5688.53	0.5689	130.00	0.89	65	0.011	0.024	1.27	85
80	3113.18	0.3113	110.00	0.54	65	0.011	0.024	1.27	85
81	4488.80	0.4489	210.00	0.54	65	0.011	0.024	1.27	85
82	7150.50	0.7151	300.00	0.54	65	0.011	0.024	1.27	85
83	2293.36	0.2293	100.00	0.54	65	0.011	0.024	1.27	85
84	4402.31	0.4402	130.00	0.39	65	0.011	0.024	1.27	85
85	5441.33	0.5441	110.00	0.39	65	0.011	0.024	1.27	85
86	4237.78	0.4238	100.00	0.39	65	0.011	0.024	1.27	85
87	2849.88	0.2850	100.00	0.39	65	0.011	0.024	1.27	85
88	3848.89	0.3849	90.00	0.39	65	0.011	0.024	1.27	85
89	3864.84	0.3865	120.00	0.39	65	0.011	0.024	1.27	85

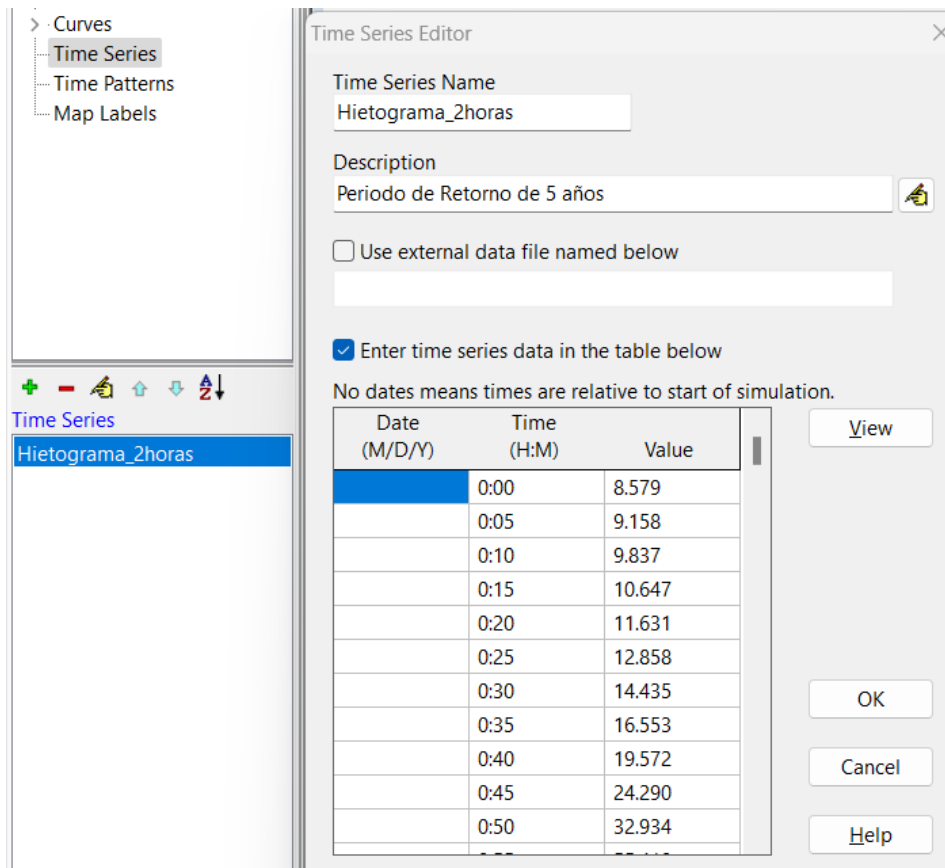
**Anexo 9: Información de colectores y conductos de drenaje**

Colectores	Cota de fondo	Cota del Terreno	Tramo	Conducto		Longitud (m)	Diámetro (m)	Pendiente (%)
1	25.34	28.34	L1	1	2	330	1.00	2.42
2	24.54	27.54	L2	2	3	173	1.00	3.01
3	24.02	27.02	L3	3	4	175	1.00	6.86
4	22.82	25.82	L4	4	5	170	1.00	3.18
5	22.28	25.28	L5	6	7	300	1.00	5.43
6	23.22	26.22	L6	7	8	155	1.00	1.03
7	21.59	24.59	L7	8	9	190	1.00	1.79
8	21.43	24.43	L8	9	10	187	1.00	2.30
9	21.09	24.09	L9	5	10	208	1.00	7.79
10	20.66	23.66	L10	11	12	234	0.60	1.54
11	20.64	23.64	L11	12	13	115	0.60	2.26
12	20.28	23.28	L12	10	14	105	1.00	13.71
13	20.02	23.02	L13	15	16	50	0.60	5.00
14	19.22	22.22	L14	16	17	120	0.60	2.58
15	18.78	21.78	L15	13	17	103	1.00	17.48
16	18.53	21.53	L16	17	18	64	1.00	5.31
17	18.22	21.22	L17	18	24	150	1.00	15.53
18	17.88	20.88	L18	14	19	100	1.00	17.20
19	17.50	20.50	L19	20	21	94	0.60	3.62
20	18.54	21.54	L20	21	22	117	0.60	15.64
21	18.20	21.20	L21	22	23	87	0.60	6.55
22	16.37	19.37	L22	23	24	98	0.60	2.55

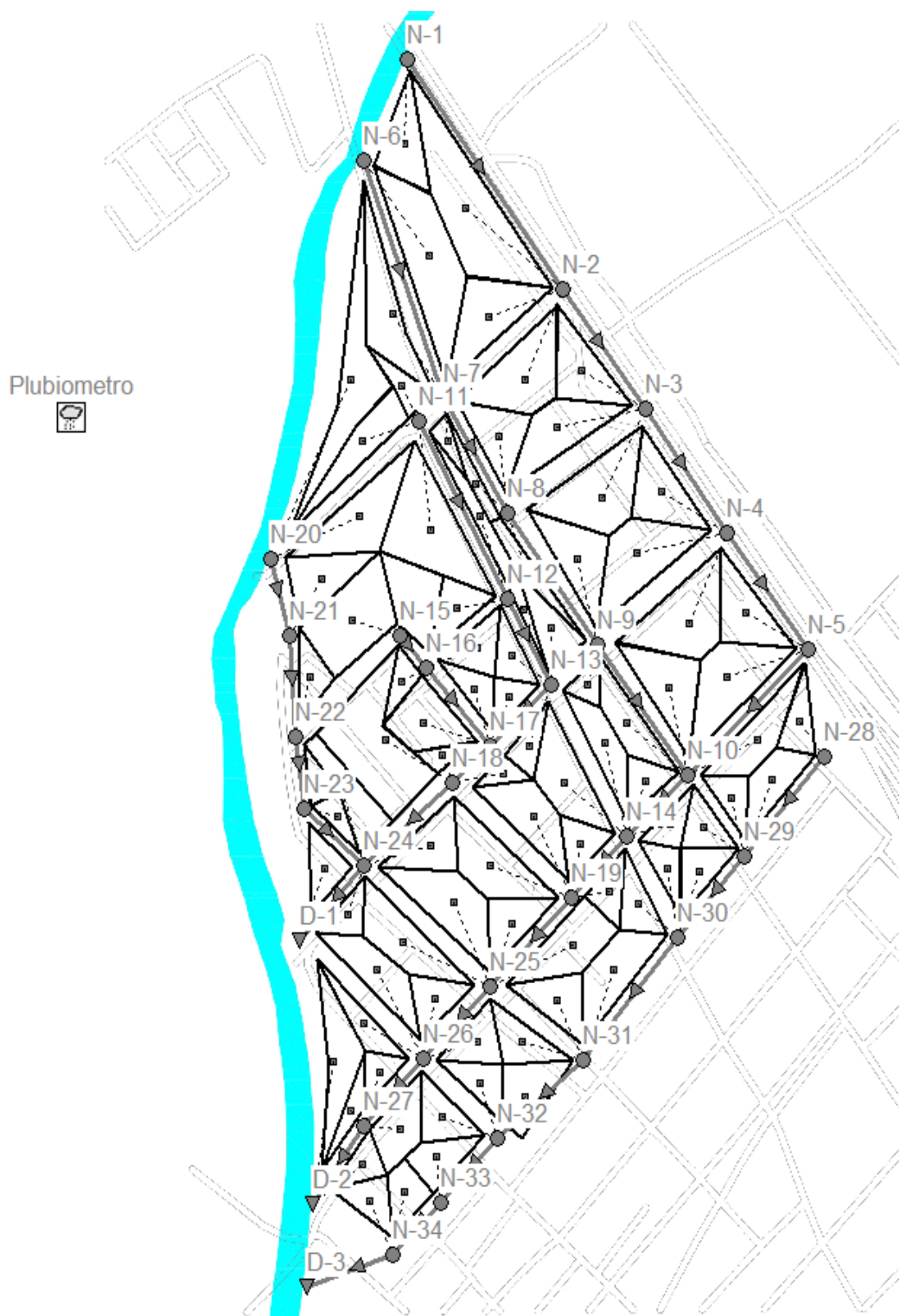
23	15.80	18.80	L23	24	Aforo 1	110	1.00	12.64
24	15.55	18.55	L24	19	25	144	1.00	15.97
25	15.20	18.20	L25	25	26	120	1.00	15.58
26	13.33	16.33	L26	29	29	153	0.60	13.33
27	11.77	14.77	L27	29	30	126	0.60	15.87
28	22.84	25.84	L28	30	31	184	0.60	14.95
29	20.80	23.80	L29	32	33	142	1.00	19.72
30	18.80	21.80	L30	26	27	106	1.00	14.72
31	16.05	19.05	L31	27	Aforo 2	100	1.00	4.70
32	13.25	16.25	L32	32	33	100	1.00	15.30
33	11.72	14.72	L33	33	34	87	1.00	8.05
34	11.02	14.02	L34	34	Aforo 3	150	1.00	1.60

## **Anexo 10: Modelación y simulación de Sistema de Drenaje Convencional en SWMM**

- Cargar un fondo para tener idea de la ubicación del sistema de drenaje urbano. El fondo solo es referencial, ya que no se encuentra escalado.
- Ingresar al modelo un hietograma con el cual podamos simular la lluvia del sistema. Se considera una lluvia de diseño de dos horas en un intervalo de tiempo cada 5 minutos.



- Dibujar todos los elementos del sistema: pluviógrafo, las subcuencas, los nudos, los aforos y los conductos.



- Ingresar los parámetros a cada elemento.

### Nudos:

Junction N-6	
Property	Value
Name	N-6
X-Coordinate	3668.033
Y-Coordinate	8770.492
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	23.22
Max. Depth	3
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0
Ponded Area	0

User-assigned name of junction

### Subcuencas:

Subcatchment C-7	
Property	Value
Name	C-7
X-Coordinate	3564.327
Y-Coordinate	7120.614
Description	
Tag	
Rain Gage	Plubiometro
Outlet	N-20
Area	1.1152
Width	400
% Slope	2.13
% Imperv	65
N-Imperv	0.011
N-Perv	0.024
Dstore-Imperv	1.27
Dstore-Perv	0
%Zero-Imperv	65

User-assigned name of subcatchment

### Conductos:

Conduit L-19	
Property	Value
Name	L-19
Inlet Node	N-20
Outlet Node	N-21
Description	
Tag	
Shape	CIRCULAR
Max. Depth	0.6
Length	94
Roughness	0.01
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
User-assigned name of Conduit	

### Aforos:

Outfall D-3	
Property	Value
Name	D-3
X-Coordinate	3220.181
Y-Coordinate	299.277
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	10.78
Tide Gate	NO
Route To	
Type	FREE
Fixed Outfall	
Fixed Stage	0
Tidal Outfall	
Curve Name	*
Time Series Outfall	
User-assigned name of outfall	

- Configurar la simulación para un modelo de onda cinemática e infiltración por método del Número de Curva.

Simulation Options

General Dates Time Steps Dynamic Wave Files

**Process Models**

- Rainfall/Runoff
- Rainfall Dependent I/I
- Snow Melt
- Groundwater
- Flow Routing
- Water Quality

**Infiltration Model**

- Horton
- Modified Horton
- Green-Ampt
- Modified Green-Ampt
- Curve Number

**Routing Model**

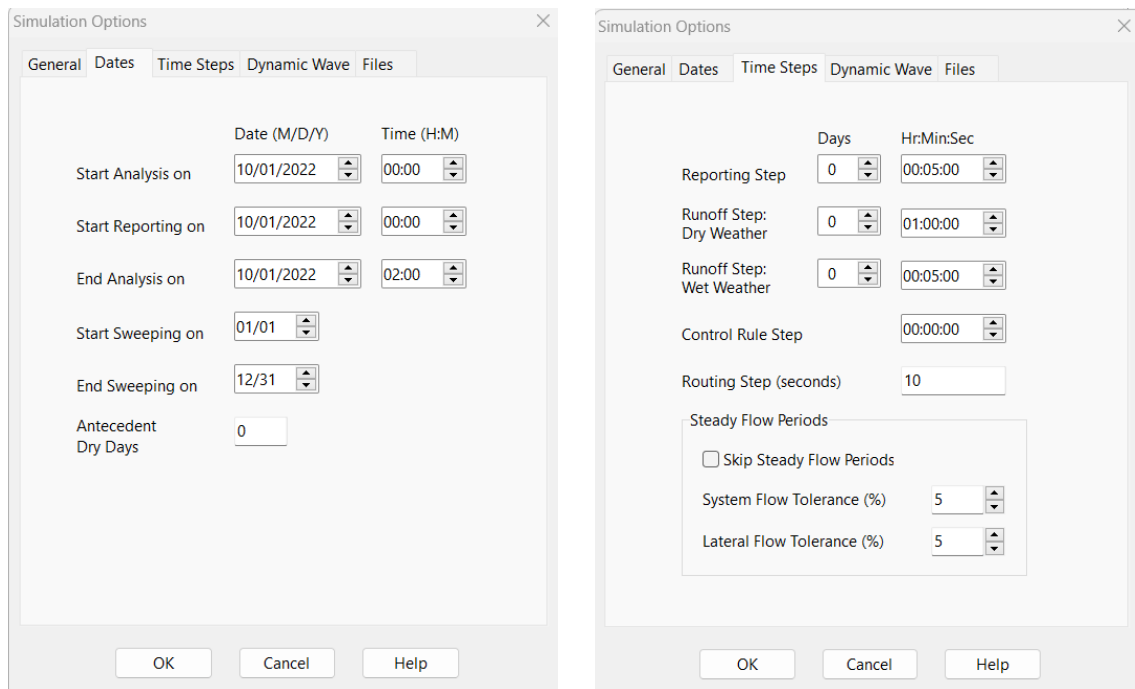
- Steady Flow
- Kinematic Wave
- Dynamic Wave

**Routing Options**

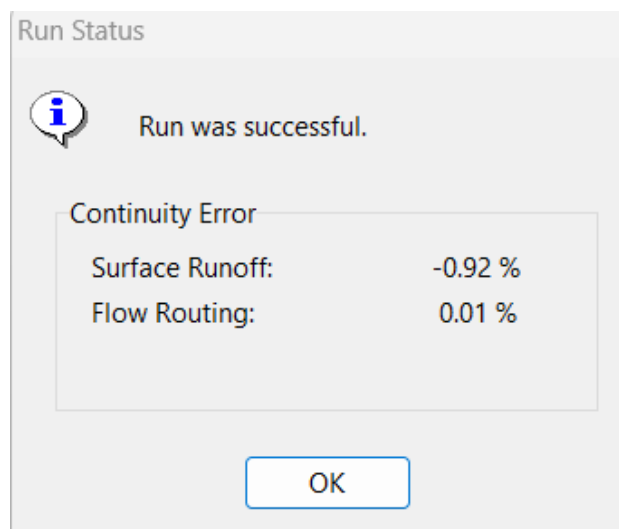
- Allow Ponding
- Minimum Conduit Slope  
0 (%)

OK Cancel Help

- Se define una lluvia que dura 2 horas y un intervalo de 5 minutos.



- Simular. El error de continuidad tiene que ser  $\pm 10\%$ .



- Observar todos los resultados del reporte de la simulación y de las tablas de resultados. Dependiendo de estos, volver a iterar hasta obtener valores que cumplan con el diseño requerido.

-----  
 SISTEMA DE DRENAJE URBANO CHILCA

\*\*\*\*\*

Analysis Options

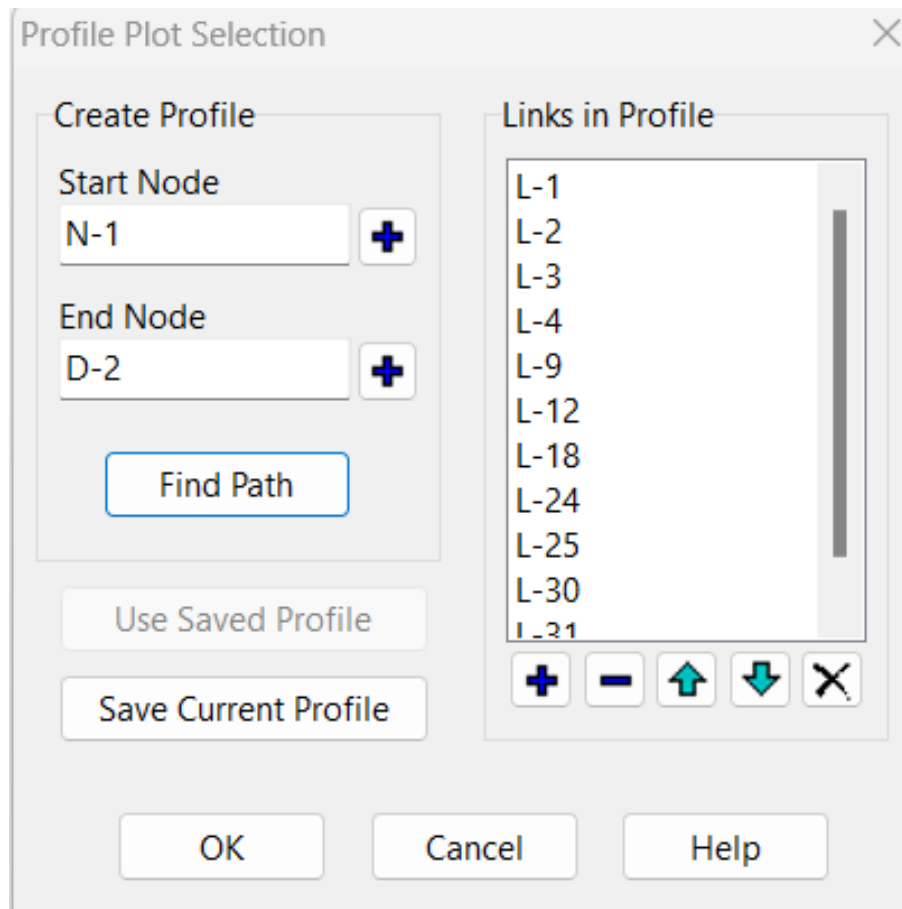
\*\*\*\*\*

Flow Units ..... LPS  
 Process Models:  
   Rainfall/Runoff ..... YES  
   RDII ..... NO  
   Snowmelt ..... NO  
   Groundwater ..... NO  
   Flow Routing ..... YES  
   Ponding Allowed ..... NO  
   Water Quality ..... NO  
 Infiltration Method ..... CURVE\_NUMBER  
 Flow Routing Method ..... KINWAVE  
 Starting Date ..... 10/01/2022 00:00:00  
 Ending Date ..... 10/01/2022 02:00:00  
 Antecedent Dry Days ..... 0.0  
 Report Time Step ..... 00:05:00  
 Wet Time Step ..... 00:05:00  
 Dry Time Step ..... 01:00:00  
 Routing Time Step ..... 10.00 sec

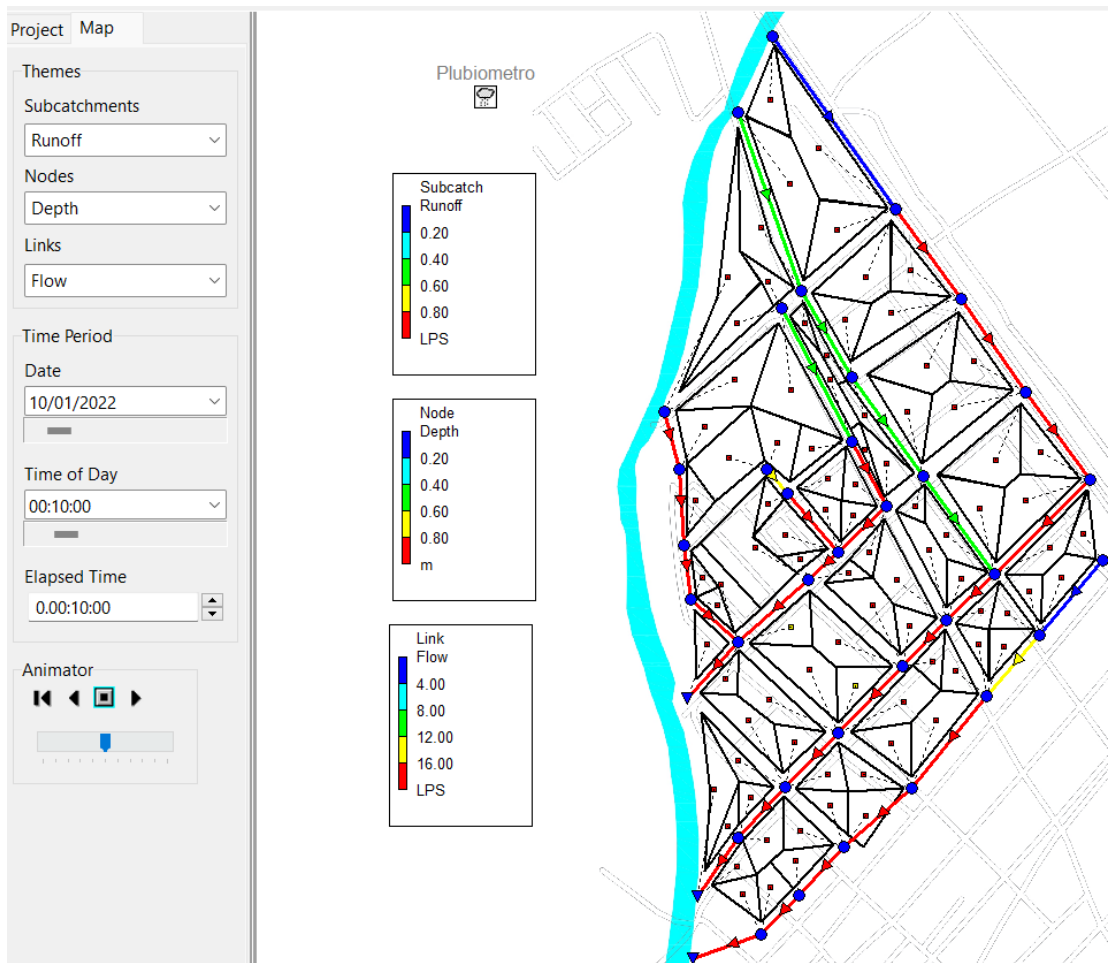
*****	Volume	Depth
Runoff Quantity Continuity	hectare-m	mm
*****	-----	-----
Total Precipitation .....	2.192	41.623
Evaporation Loss .....	0.000	0.000
Infiltration Loss .....	0.425	8.069
Surface Runoff .....	1.736	32.962
Final Storage .....	0.051	0.974
Continuity Error (%) .....	-0.917	

*****	Volume	Volume
Flow Routing Continuity	hectare-m	10^6 ltr
*****	-----	-----
Dry Weather Inflow .....	0.000	0.000
Wet Weather Inflow .....	1.720	17.196
Groundwater Inflow .....	0.000	0.000
RDII Inflow .....	0.000	0.000
External Inflow .....	0.000	0.000
External Outflow .....	1.497	14.965
Flooding Loss .....	0.194	1.942
Evaporation Loss .....	0.000	0.000

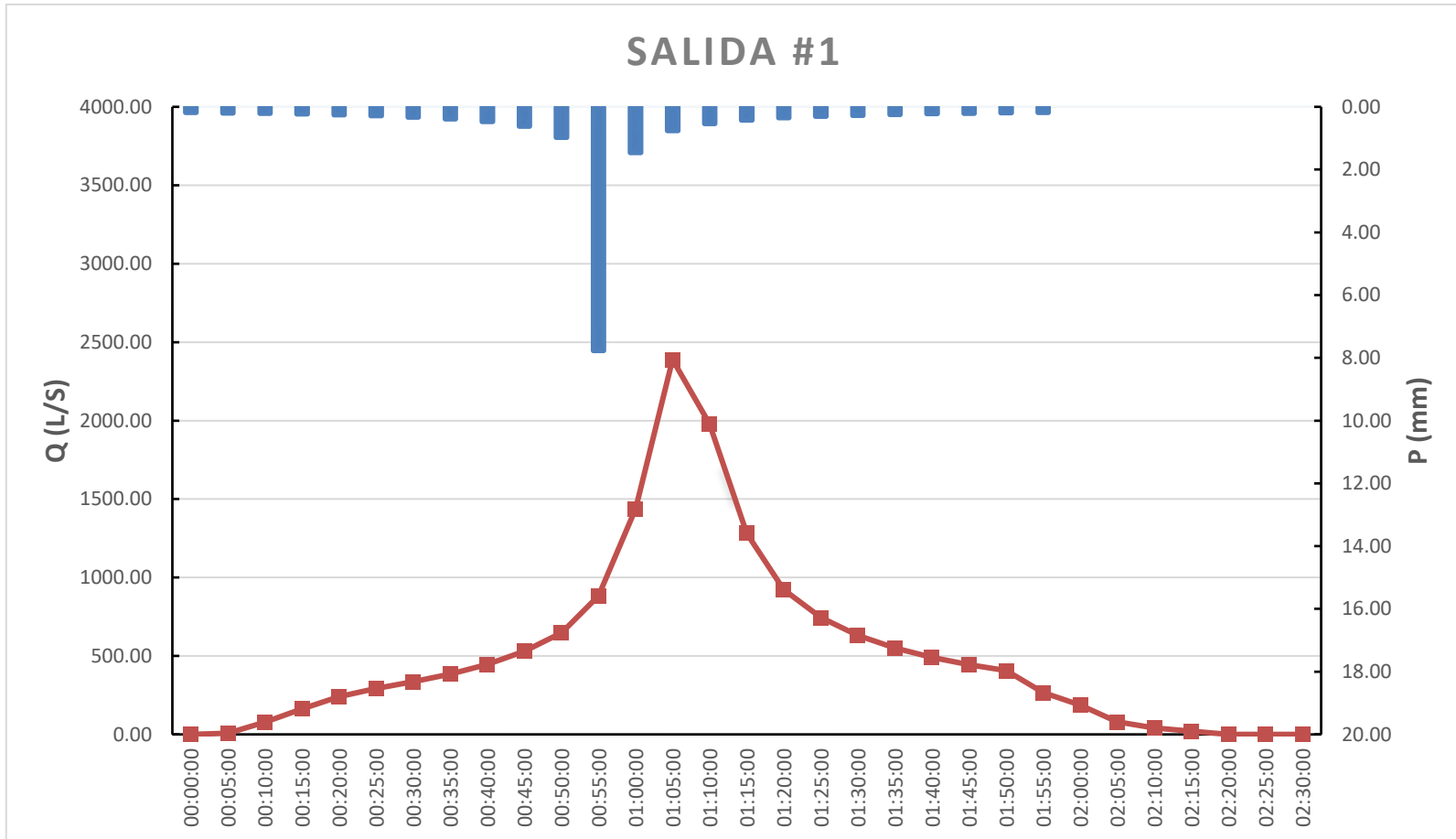
- Obtener los perfiles de los colectores de la simulación del sistema de drenaje.

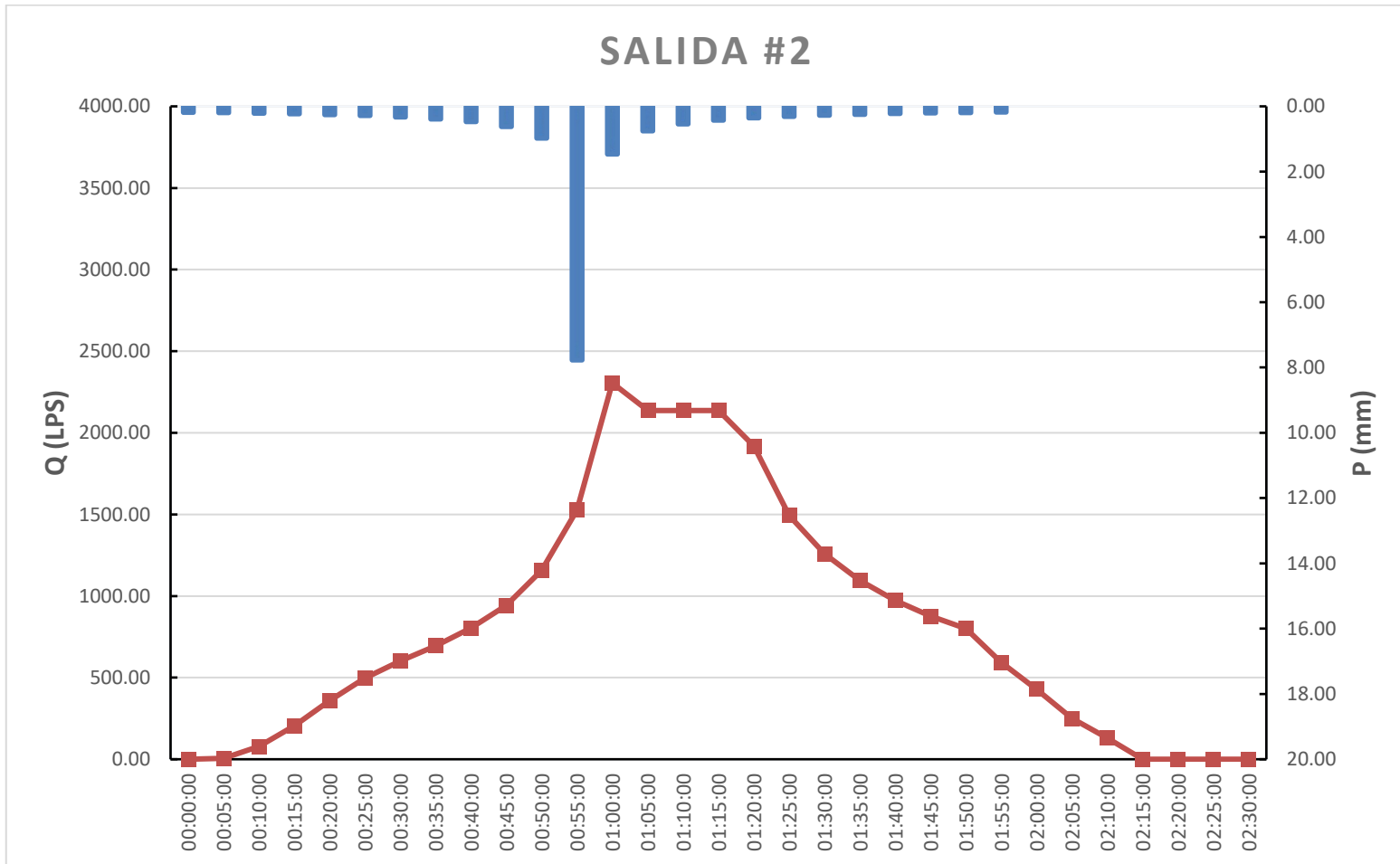


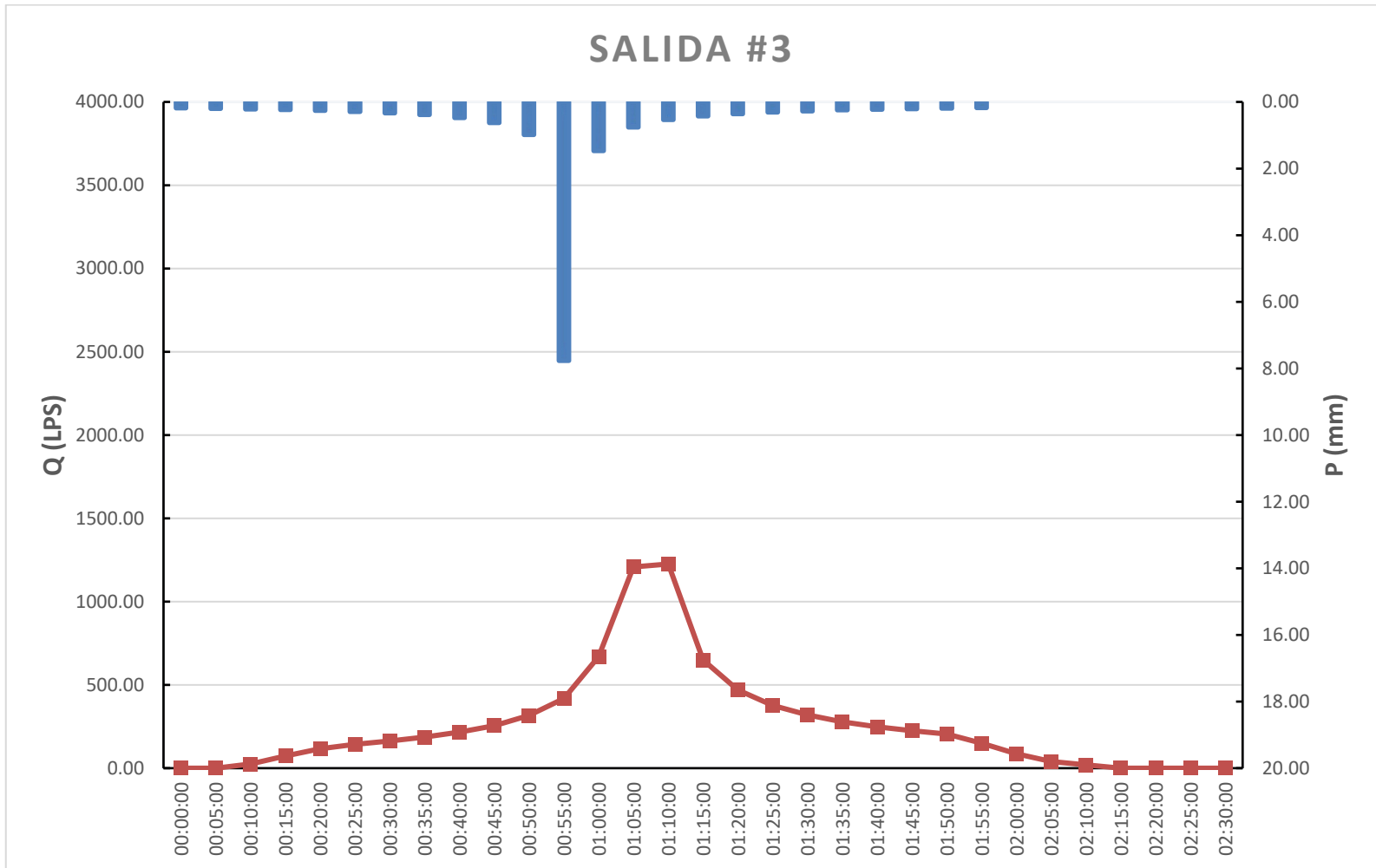
- Visualizar de manera interactiva la evolución a través del tiempo de las características más importantes del sistema de drenaje.



**Anexo 11: Hidrogramas de Salida 1, 2 y 3 en Situación sin SUDS**

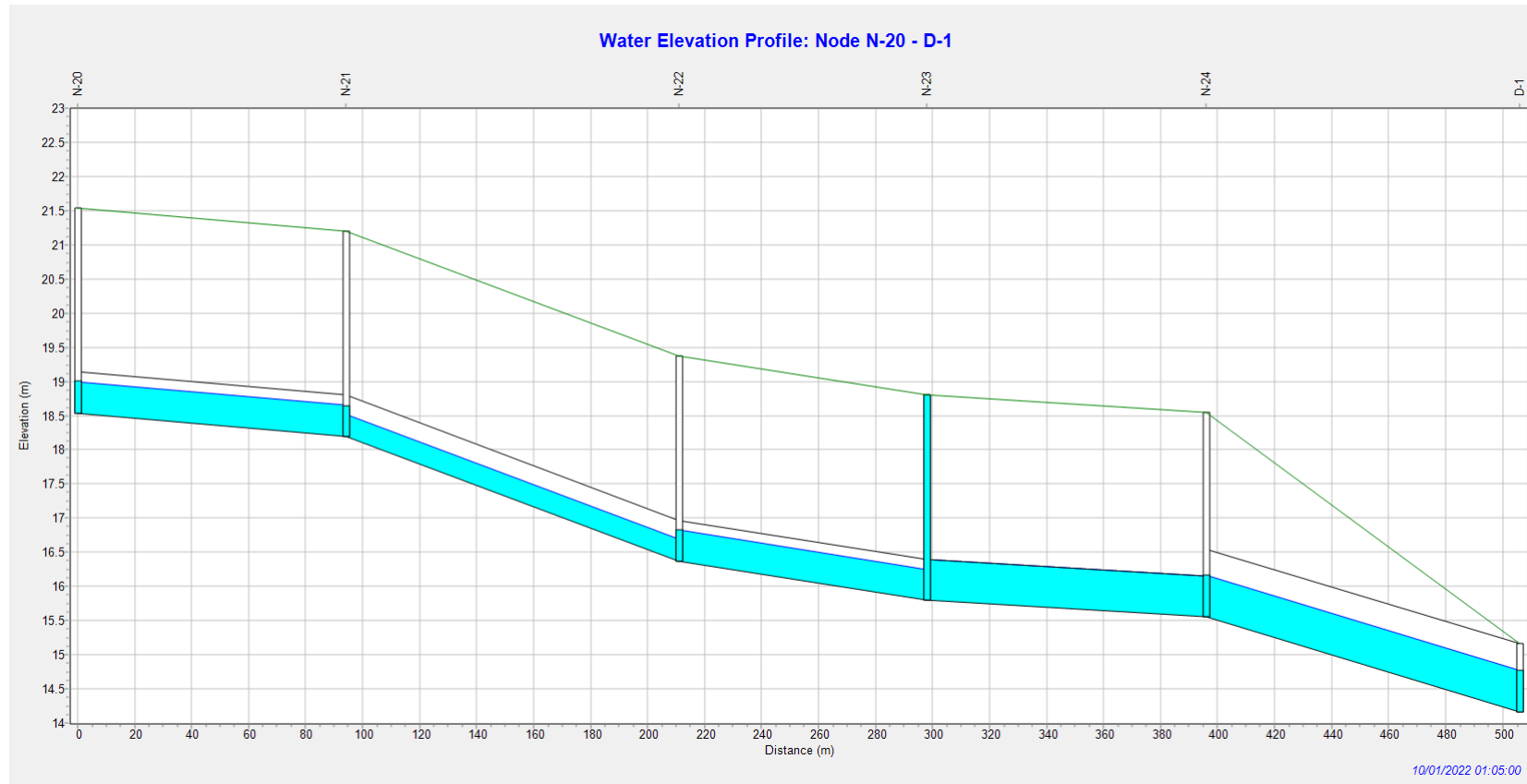




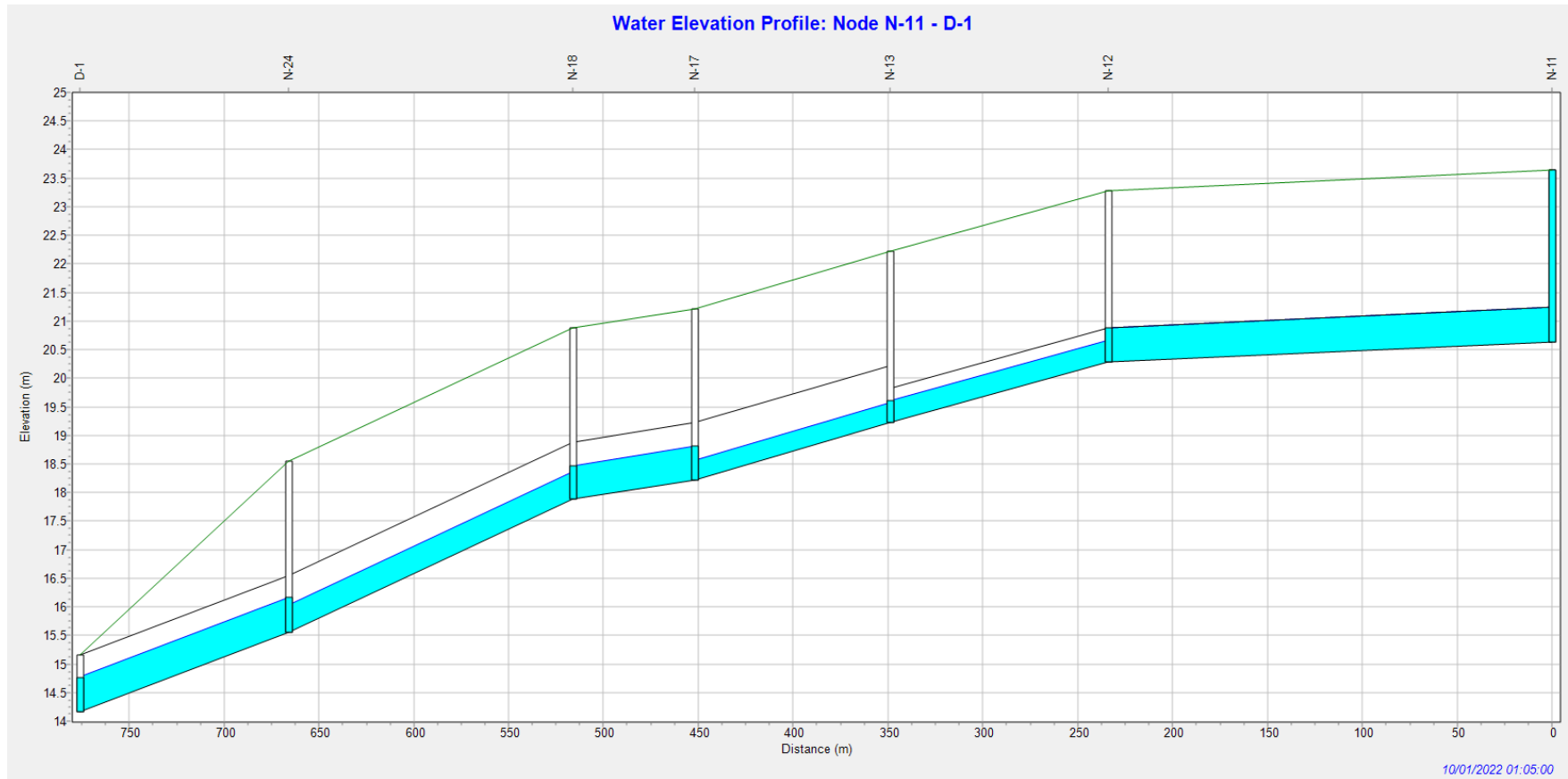


**Anexo 12: Perfiles Longitudinales de Tramos en Situación sin SUDS**

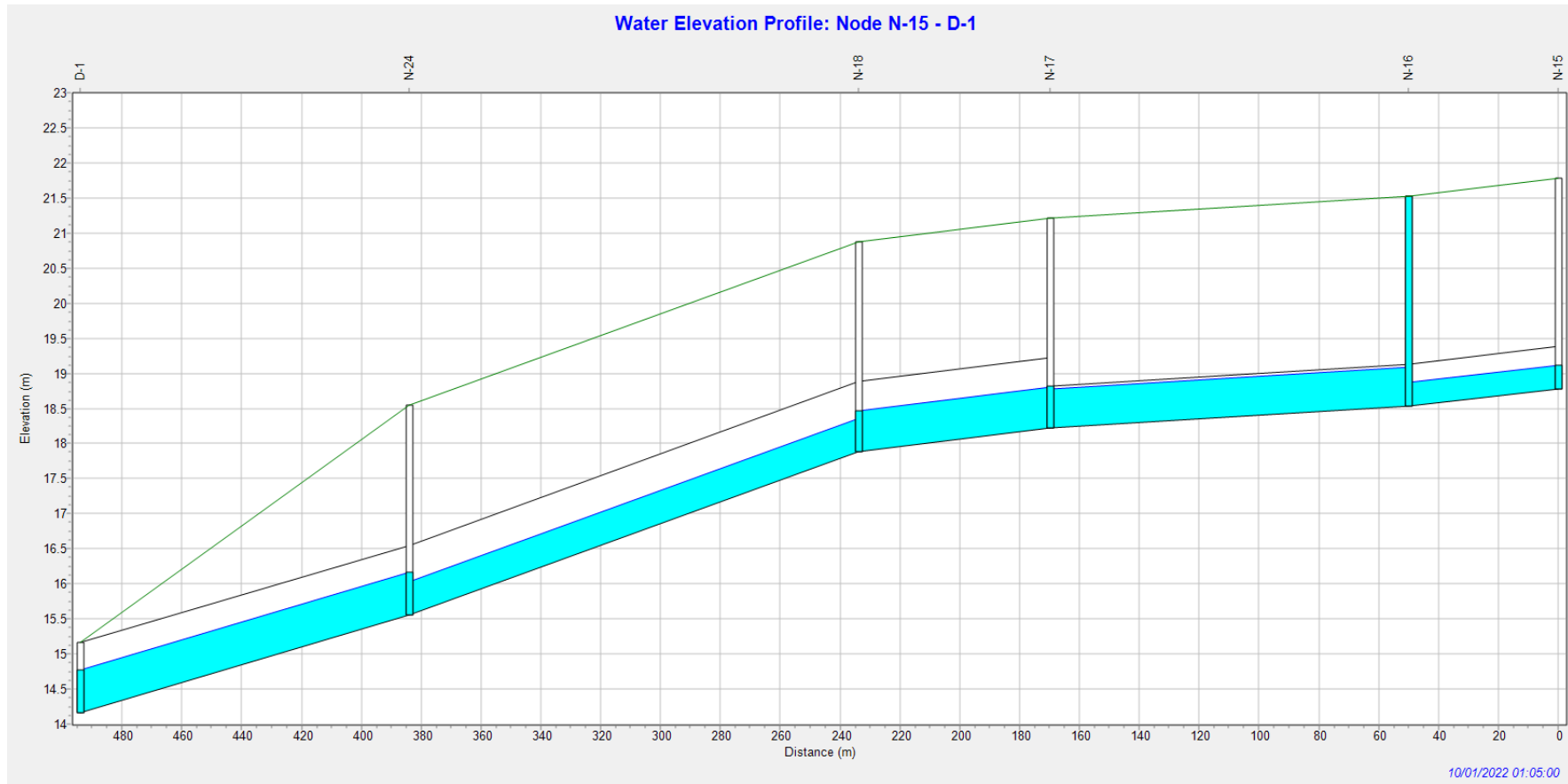
- EN SALIDA #1



Perfil Longitudinal en Tramo N20-D1 en minuto 65

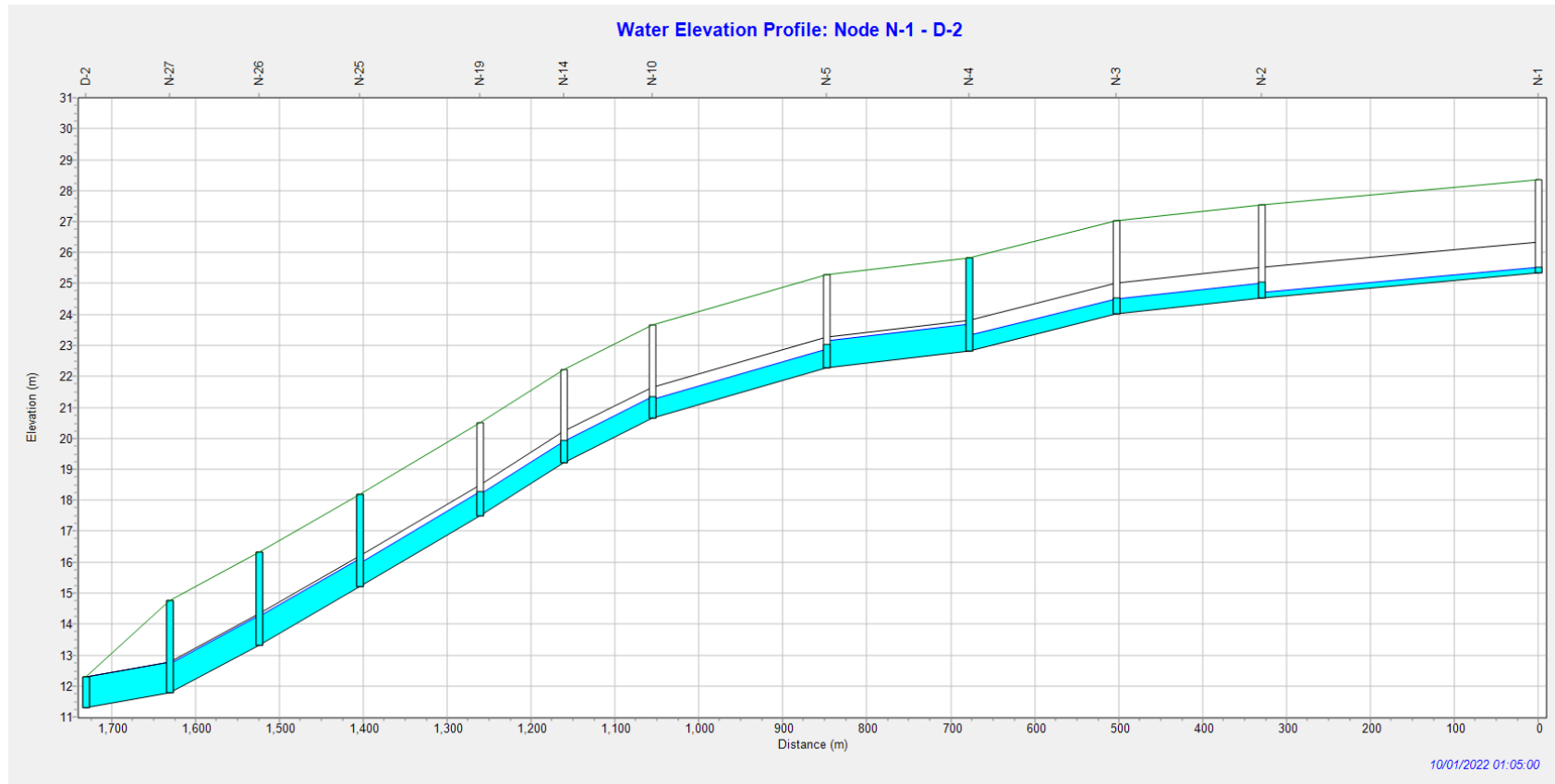


Perfil Longitudinal en Tramo N11-D1 en minuto 65

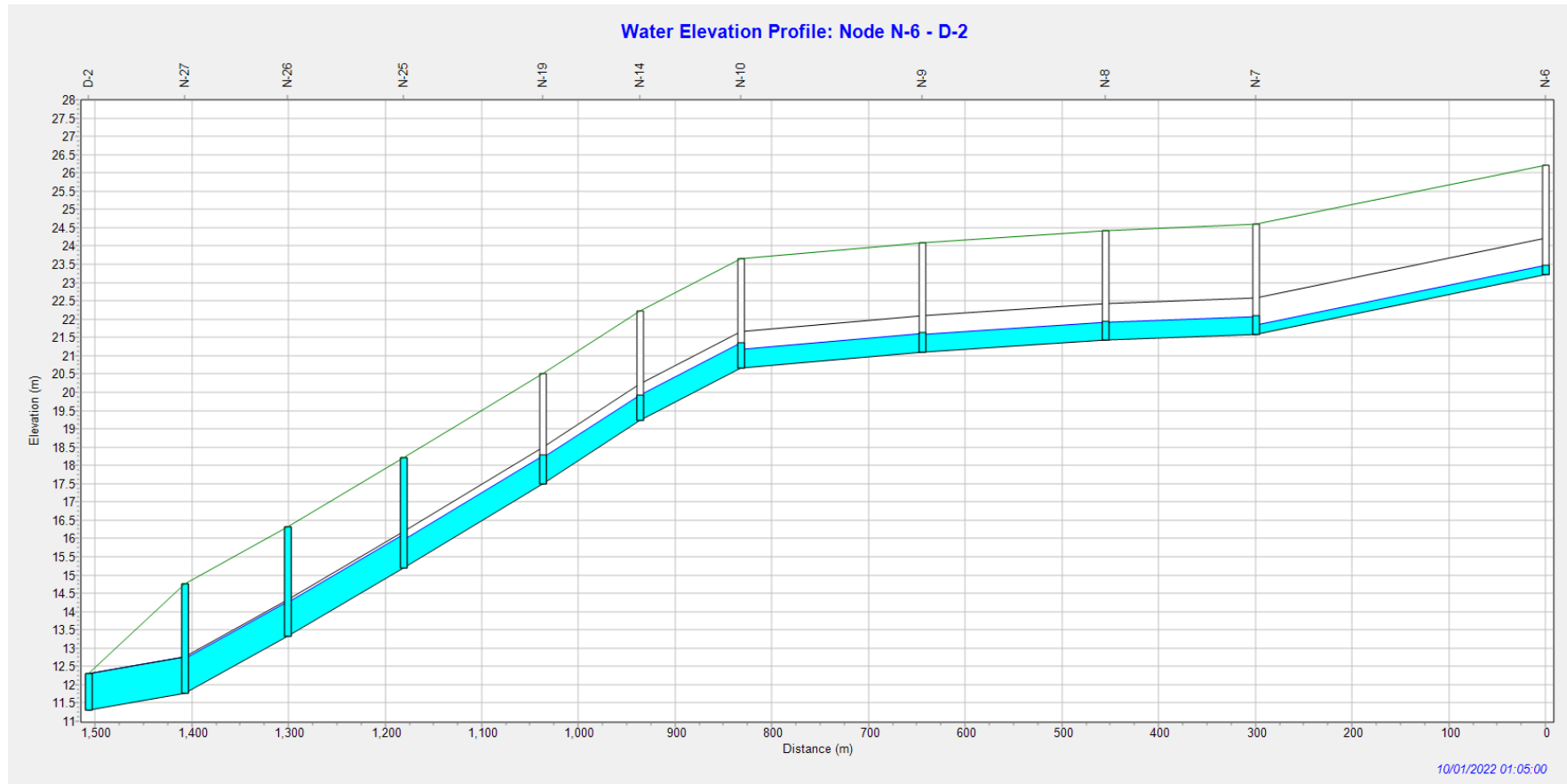


Perfil Longitudinal en Tramo N15-D1 en minuto 65

- EN SALIDA #2

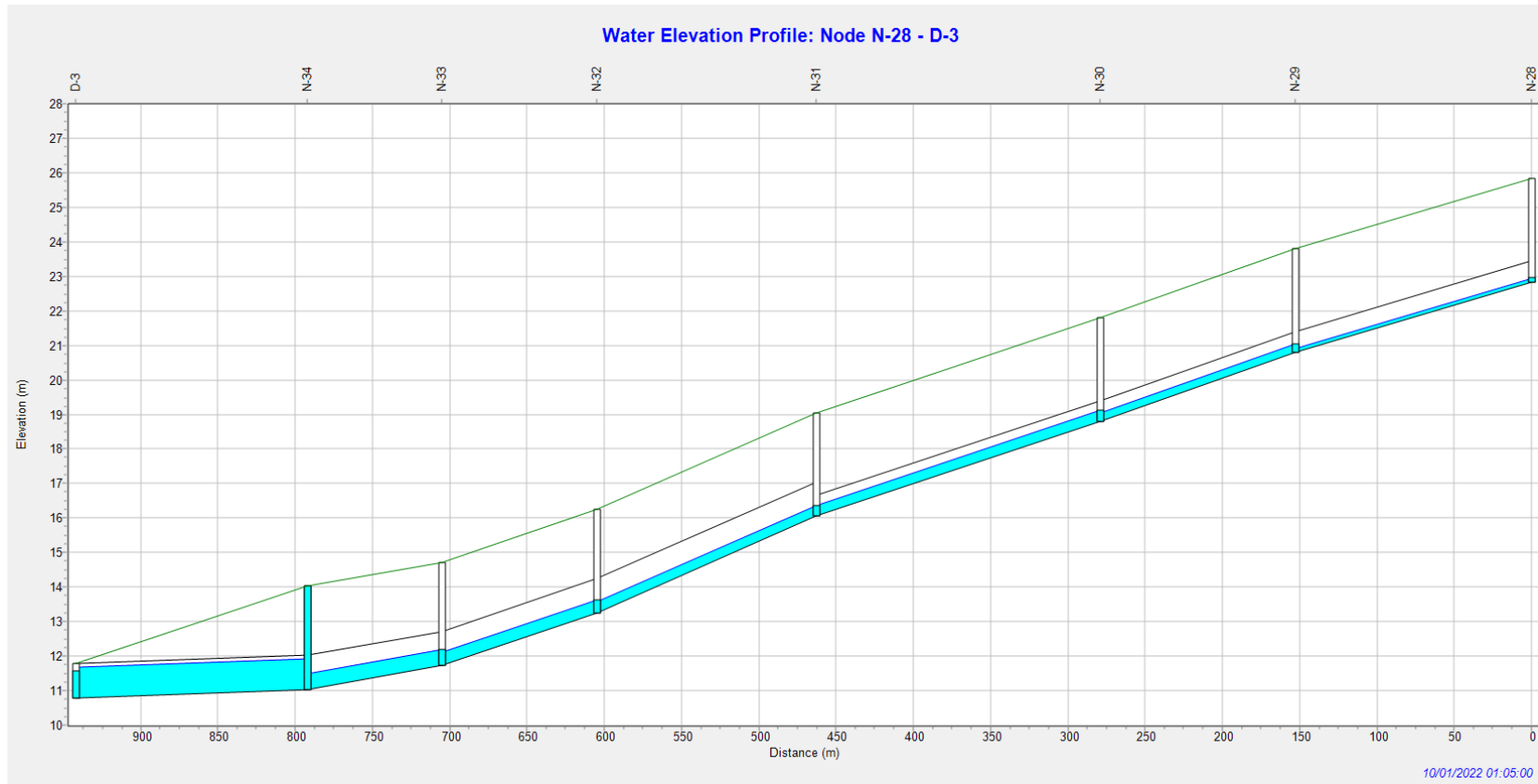


Perfil Longitudinal en Tramo N1-D2 en minuto 65



Perfil Longitudinal en Tramo N6-D2 en minuto 65

- EN SALIDA #3



Perfil Longitudinal en Tramo N28-D3 en minuto 65

### ANEXO 13: Matrices de Selección SUDS

**Tabla de Matriz de Selección según Uso del Suelo**

SUDS	Baja densidad	Residencial	Carreteras locales	Comercial	Áreas densas (Industrial)	Área de Construcción	Terreno Abandonado	Terreno Contaminado
Pondaje de Retención	1	1	2	3	3	4	1	3
Almacenamiento subsuperficial (Tanque)	1	1	1	1	1	4	1	1
Humedal	1	1	2	3	3	0	1	3
Pondaje /Humedal	1	1	2	3	0	0	1	4
Trinchera de Infiltración	1	1	2	3	0	0	1	4
Cuenca de Infiltración	1	1	2	3	0	0	1	4
Sumidero	1	1	2	3	0	0	1	4
Filtro de arena superficial	0	1	2	3	3	0	1	3
Filtro de arena subsuperficial	0	1	2	3	3	0	1	3
Filtro de Arena perimetral	0	0	2	3	3	0	1	3
Tira de Filtro/Bioretención	1	1	2	3	3	0	1	3
Trinchera de Filtro	1	1	2	3	3	0	1	3
Cuenca de Detención	1	1	2	3	2	4	1	3
Swale de Transporte	1	1	2	3	2	4	1	3
Swale Seco	1	1	2	3	3	4	1	3
Swale Húmedo	1	1	2	3	2	4	1	3
Techo Verde	1	1	0	3	1	0	1	1
Retención de Agua lluvia (Tanques)	1	1	0	3	0	0	1	1
Pavimentos Porosos	1	1	0	3	2	0	1	3

Fuente: Construction Industry Research and Information Association (CIRIA)

**Tabla de Matriz de Selección según características del Sitio**

SUDS	Suelo		Área de cada SUDS		Profundidad Mínima al Nivel Freático		Pendiente del Sitio		Cabeza Disponible		Espacio Disponible	
	Impermeable	Permeable	0 – 2 ha	> 2 ha	0 – 1 m	> 1 m	0 – 5%	> 1 m	0 – 5%	1 – 2 m	poco	alto
Pondaje de Retención	1	2	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1
Almacenamiento subsuperficial (Tanque)	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Humedal	3	4	4	0	3	3	1	0	1	1	0	1
Pondaje /Humedal	3	4	4	0	3	3	1	0	1	1	0	1
Trinchera de Infiltración	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1
Cuenca de Infiltración	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1
Sumidero	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1
Filtro de arena superficial	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1
Filtro de arena subsuperficial	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1
Filtro de Arena perimetral	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1
Tira de Filtro/Bioretención	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1
Trinchera de Filtro	1	2	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1
Cuenca de Detención	1	2	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1
Swale de Transporte	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1
Swale Seco	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1
Swale Húmedo	3	5	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1
Techo Verde	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Retención de Agua lluvia (Tanques)	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Pavimentos Porosos	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1

Fuente: Construction Industry Research and Information Association (CIRIA)

**Tabla de Matriz de Priorización y decisión según cantidad y calidad de escorrentía**

SUDS	Calidad del Agua					Control Hidráulico
	Remoción de Sólidos Suspendedos Totales	Remoción de Metales	Remoción de Nutrientes N, P	Remoción de Bacterias	Tratamiento de Sedimentos y contaminantes disueltos	Reducción del Volumen de Escorrentía
Pondaje de Retención	3	2	2	2	3	1
Almacenamiento subsuperficial (Tanque)	1	1	1	1	1	2
Humedal	3	2	3	2	3	1
Pondaje /Humedal	3	2	3	2	3	1
Trinchera de Infiltración	3	3	3	2	3	3
Cuenca de Infiltración	3	3	3	2	3	3
Sumidero	3	3	3	2	3	3
Filtro de arena superficial	3	3	3	2	3	1
Filtro de arena subsuperficial	3	3	3	2	3	1
Filtro de Arena perimetral	3	3	3	2	3	1
Tira de Filtro/Bioretencción	3	3	3	2	3	1
Trinchera de Filtro	3	3	3	2	3	1
Cuenca de Detención	2	2	1	1	1	1
Swale de Transporte	3	2	2	2	3	2
Swale Seco	3	3	3	2	3	2
Swale Húmedo	3	3	2	3	3	1
Techo Verde	0	0	0	0	3	3
Retención de Agua lluvia (Tanques)	0	1	1	1	0	2
Pavimentos Porosos	3	3	3	3	3	3

Fuente: Construction Industry Research and Information Association (CIRIA)

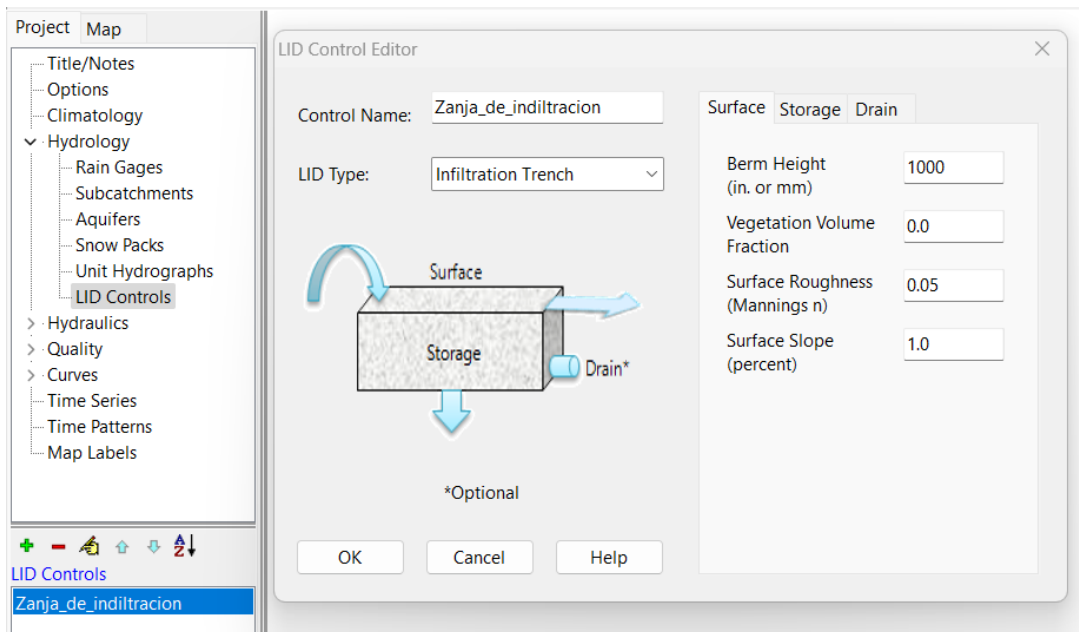
**Tabla de Matriz de selección según Factores Ambientales y de Comunidad (CIRIA, 2007)**

SUDS	Mantenimiento	Aceptación de la comunidad	Costo
Pondaje de Retención	2	3	2
Almacenamiento subsuperficial (Tanque)	1	3	2
Humedal	3	3	3
Pondaje /Humedal	3	3	3
Trinchera de Infiltración	1	2	1
Cuenca de Infiltración	2	3	1
Sumidero	1	2	2
Filtro de arena superficial	2	1	3
Filtro de arena subsuperficial	2	1	3
Filtro de Arena perimetral	2	1	3
Tira de Filtro/Bioretención	3	3	2
Trinchera de Filtro	2	2	2
Cuenca de Detención	1	3	1
Swale de Transporte	1	2 (Seguridad Pública)	1
Swale Seco	1	2 (Seguridad Pública)	2
Swale Húmedo	2	2 (Seguridad Pública)	2
Techo Verde	3	3	3
Retención de Agua lluvia (Tanques)	3	2	3
Pavimentos Porosos	2	2	2

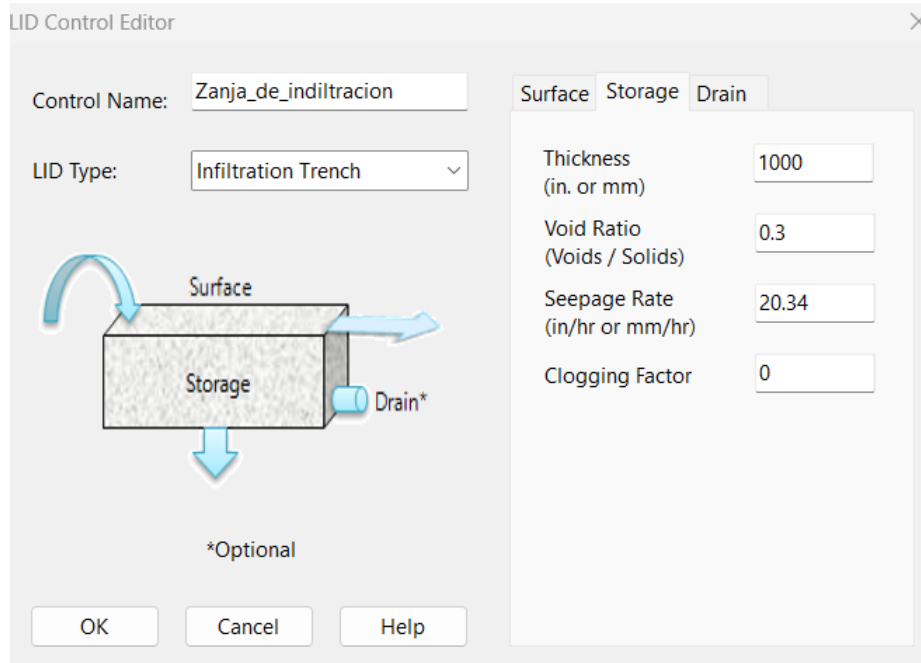
Fuente: Construction Industry Research and Information Association (CIRIA)

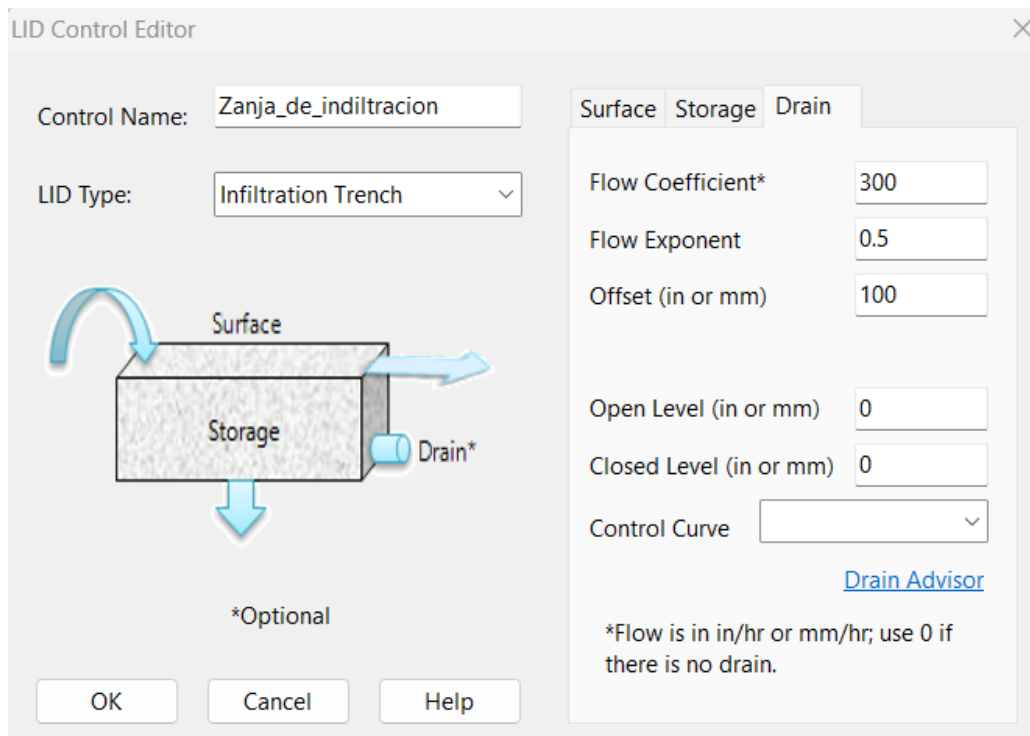
## Anexo 14: Aplicación de SUDS en SWMM

- El SUDS se agrega a través de la herramienta LID Control.

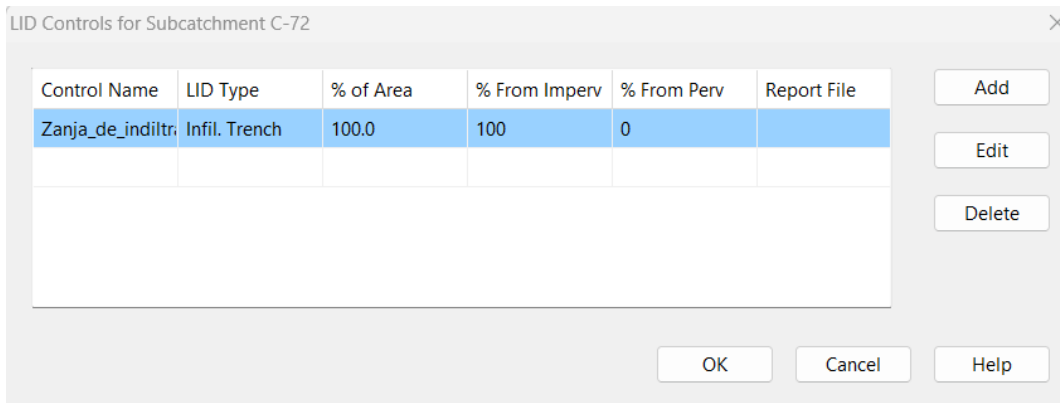


- Se ingresan los parámetros de superficie, almacenamiento y drenaje.





- A cada Subcuenca que contribuye a las zanjas se agrega el LID creado.



LID Usage Editor

LID Control Name:

The diagram illustrates a rectangular LID unit. A light blue arrow labeled 'LID Area' points towards the unit from the top left. A double-headed arrow labeled 'Width' is positioned above the unit. Three blue arrows point downwards from the bottom of the unit, representing outflow.

Detailed Report File (Optional)

LID Occupies Full Subcatchment

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

Number of Units:

% of Subcatchment Occupied:

Surface Width per Unit (ft or m):

% Initially Saturated:

% of Impervious Area Treated:

% of Pervious Area Treated:

Send Drain Flow To:  
(Leave blank to use subcatchment outlet)

Return all Outflow to Pervious Area

OK Cancel Help

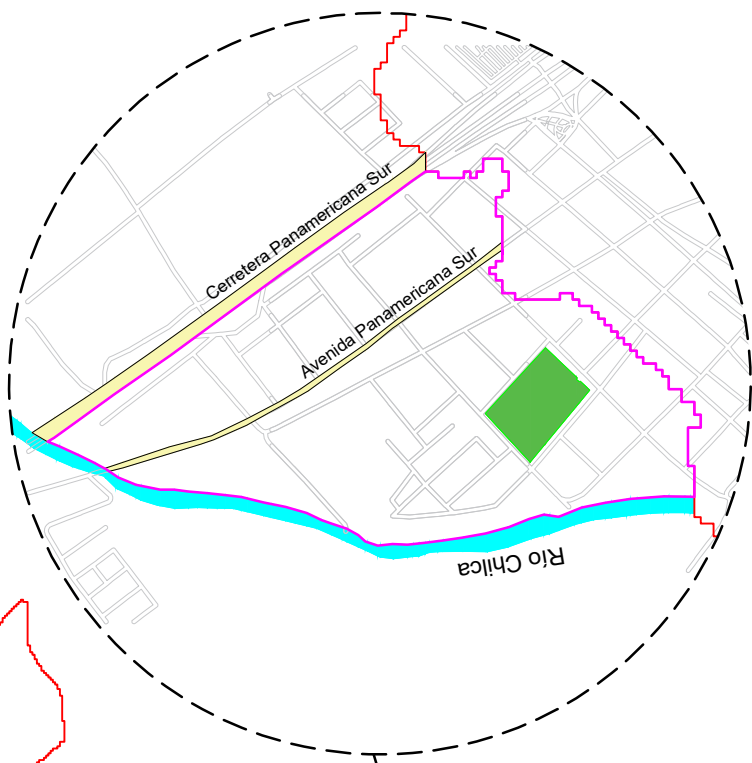
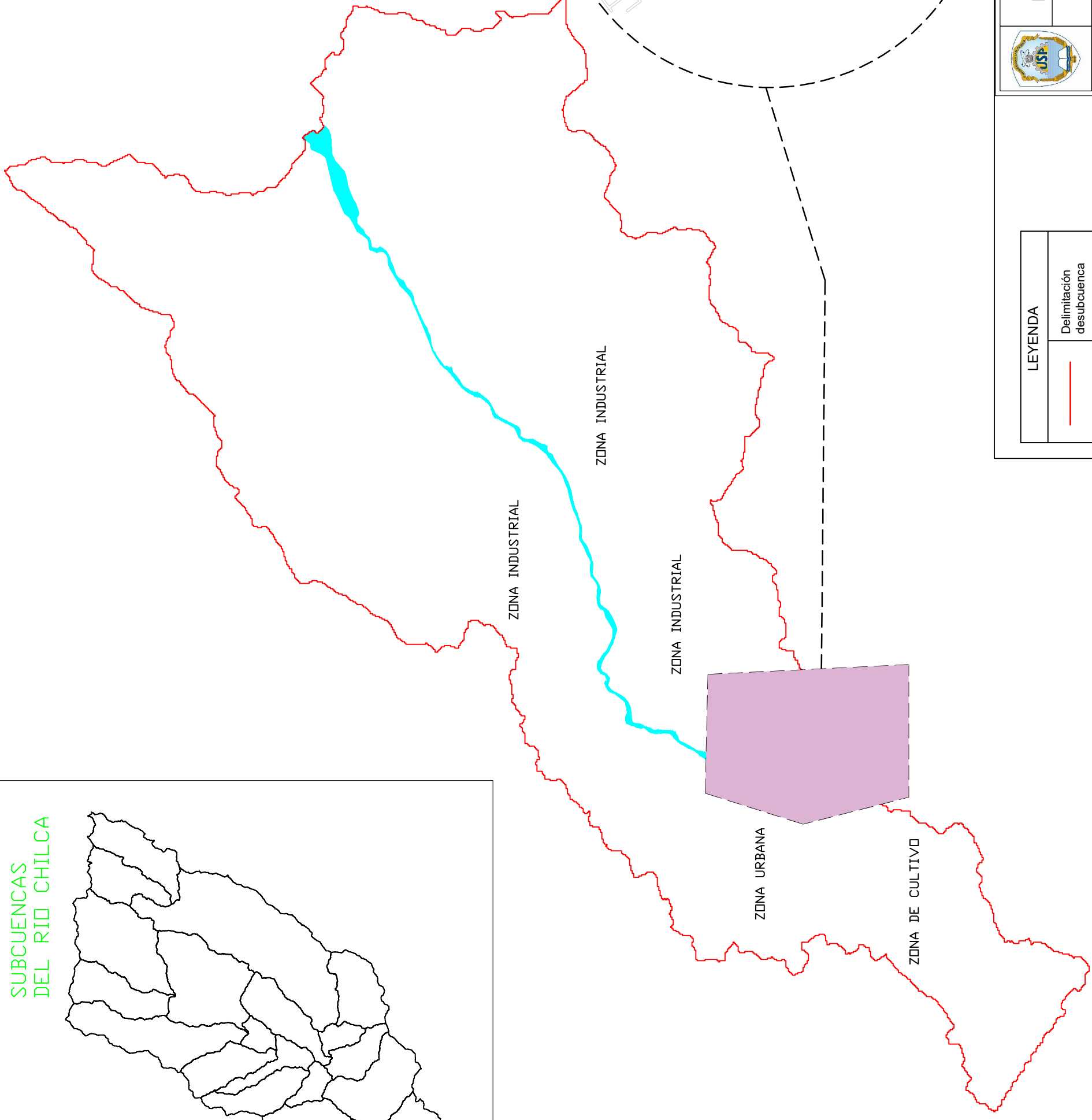
**Anexo 15: Planos del Sistema de Drenaje**

<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL PLANO</b>
L -1	DELIMITACION DE AREA DE DRENAJE
L -2	DIVISION DE SUBCUENCAS URBANAS
L -3	TRAZADO DE COLECTORES

SUBCUENCAS  
DEL RIO CHILCA



SUBCUENCA  
CHILCA BAJA



LEYENDA	
	Delimitación desubcuenca
	Zona de estudio
	División de lotes



FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

\*SISTEMA URBANO DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) PARA REGULAR LAS AGUAS PLUVIALES EN LA CUENCA URBANA DEL RIO CHILCA, DISTRITO DE

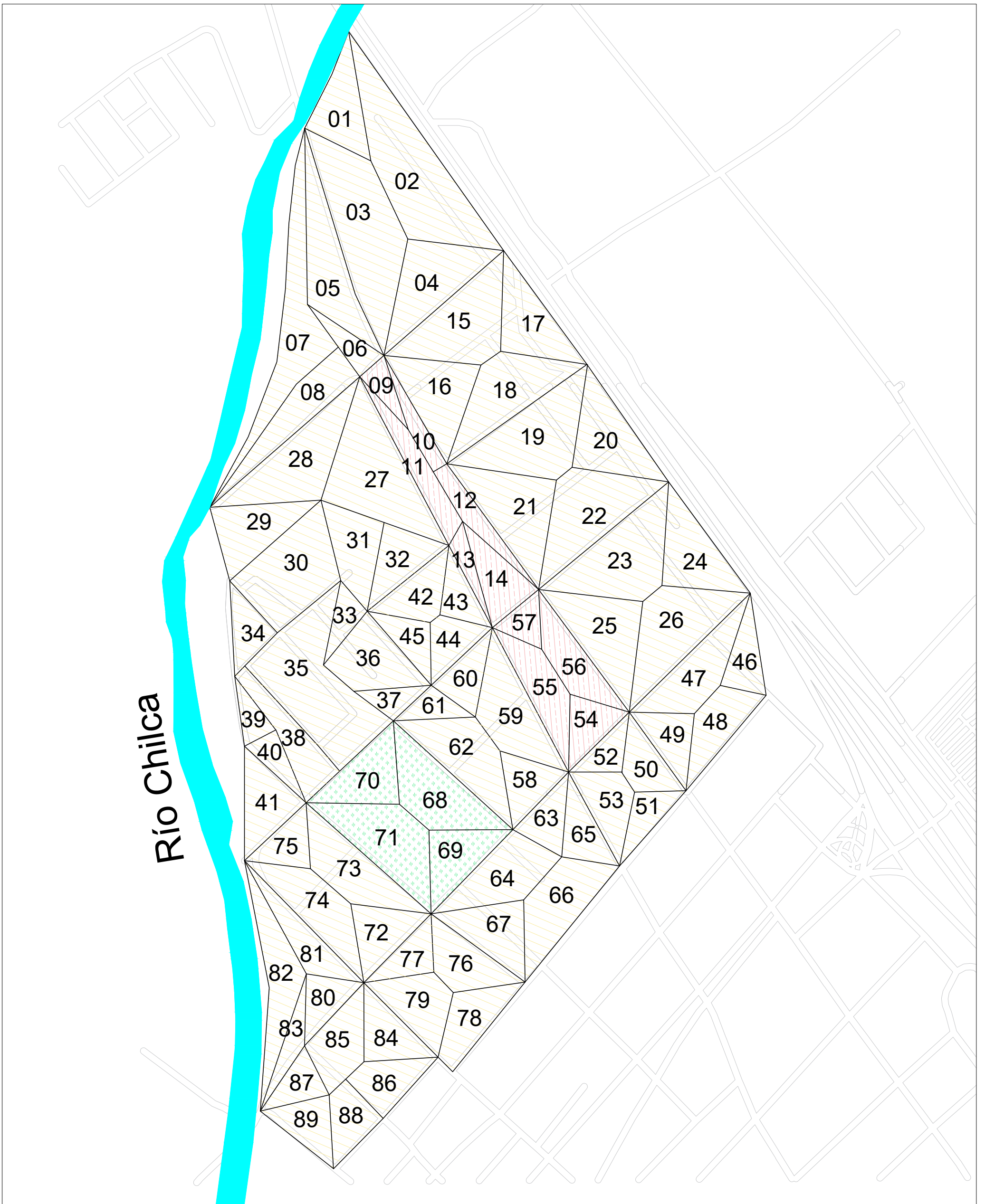
TÍTULO DE TESIS  
TESISTA: James Oswaldo Rázuri Osorio

ASESOR: Ing. Miguel Solar Jara

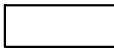



FECHA: Diciembre 2022

Nº DE LÁMINA:  
Delimitación de área de drenaje

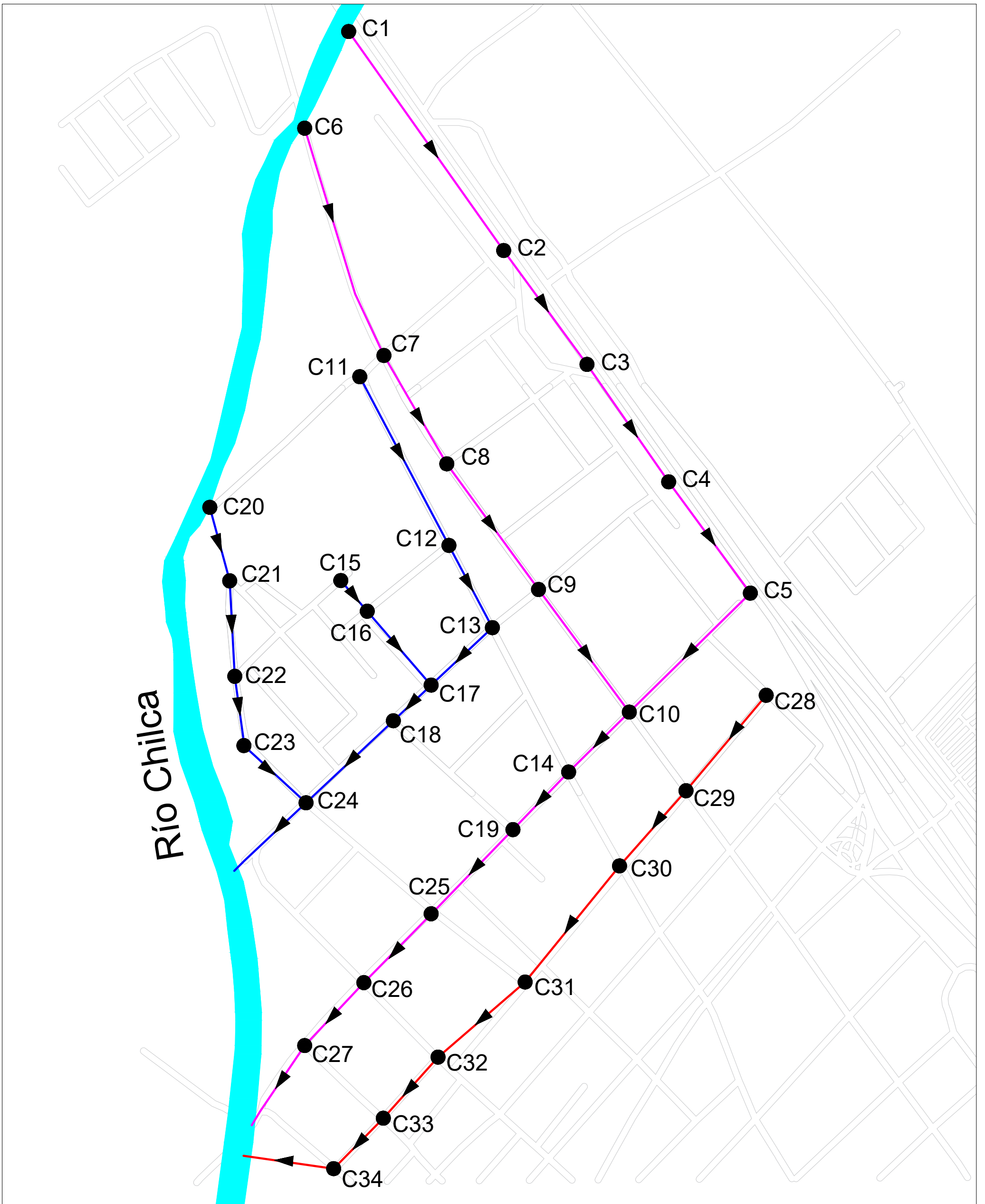
L-1








Río Chilca


	Subcuencas Urbanas	100 %	52.66 ha
	Areas verdes	6 %	2.92 ha
	Areas Comerciales	7 %	3.46 ha
	Areas Urbanas	87 %	46.28 ha

	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>		
	TÍTULO DE TESIS	"SISTEMA URBANO DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) PARA REGULAR LAS AGUAS PLUVIALES EN LA CUENCA URBANA DEL RIO CHILCA, DISTRITO DE PUCUSANA, LIMA 2022"	
TESISTA:	James Oswaldo Rázuri Osorio		
ASESOR:	Ing. Miguel Solar Jara		PLANO: División de subcuencas urbanas
FECHA:	Diciembre 2022		
			N° DE LÁMINA: <b>L-2</b>



Río Chilca

LEYENDA	
	Trazado 1
	Trazado 2
	Trazado 3
	Colectores
	Sentido de flujo

	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>	
	<b>TÍTULO DE TESIS</b> "SISTEMA URBANO DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) PARA REGULAR LAS AGUAS PLUVIALES EN LA CUENCA URBANA DEL RIO CHILCA, DISTRITO DE PUCUSANA, LIMA 2022"	
<b>ASESOR:</b> James Oswaldo Rázuri Osorio		
<b>ASESOR:</b> Ing. Miguel Solar Jara	<b>PLANO:</b> Trazo de colectores	<b>N° DE LÁMINA:</b> <div style="font-size: 2em; font-weight: bold;">L-3</div>
<b>FECHA:</b> Noviembre 2022		

**Anexo 16: Formulario de repositorio institucional**



**REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL**  
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN DE DOCUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

1. Información del Autor			
RAZURI OSORIO JAMES OSWALDO		42071806	jorazuri@gmail.com
Apellidos y Nombres		DNI	Correo Electrónico
2. Tipo de Documento de Investigación			
<input checked="" type="checkbox"/> Tesis	<input type="checkbox"/> Trabajo de Suficiencia Profesional	<input type="checkbox"/> Trabajo Académico	<input type="checkbox"/> Trabajo de Investigación
3. Grado Académico o Título Profesional <sup>1</sup>			
<input type="checkbox"/> Bachiller	<input checked="" type="checkbox"/> Título Profesional	<input type="checkbox"/> Título Segunda Especialidad	<input type="checkbox"/> Maestría <input type="checkbox"/> Doctorado
4. Título del Documento de Investigación			
" SISTEMA URBANO DE DRENASE SOSTENIBLE (SUDS) PARA REGULAR LAS AGUAS PLUVIALES EN LA CUENCA URBANA DEL RIO CHILCA, DISTRITO DE POCOSANA, LIMA 2022 "			
5. Programa Académico			
INGENIERIA CIVIL			
6. Tipo de Acceso al Documento			
<input checked="" type="checkbox"/> Abierto o Público <sup>3</sup> ( <a href="http://info.eu-repo/semantics/openAccess">info.eu-repo/semantics/openAccess</a> )	<input type="checkbox"/> Acceso restringido <sup>4</sup> ( <a href="http://info.eu-repo/semantics/restrictedAccess">info.eu-repo/semantics/restrictedAccess</a> ) (*)		
(*) En caso de restringido sustentar motivo			

**A. Originalidad del Archivo Digital**

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador y forma parte del proceso que conduce a obtener el grado académico o título profesional.

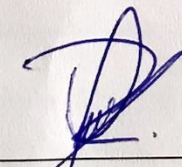
**B. Otorgamiento de una licencia CREATIVE COMMONS <sup>5</sup>**

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento. <sup>6</sup>

Lugar	Día	Mes	Año
Chimbote	22	03	23

Huella Digital



  
Firma

**Importante**

- Según Resolución de Consejo Directivo N° 033-2016-SUNEDU-CD, Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar Grados Académicos y Títulos Profesionales, Art. 8, Inciso 8.2
- Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y D.S. 006-2015-PCM
- Si el autor eligió el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad San Pedro una licencia no exclusiva, para que se pueda hacer arreglos de forma en la obra y difundir en el Repositorio Institucional Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822
- En caso de que el autor elija la segunda opción, únicamente se publicará los datos del autor y resumen de la obra, de acuerdo a la directiva N° 004-2015-COINCYTEC-DEGC (Numerales 5.2 y 6.7) que norma el funcionamiento del Repositorio Nacional Digital
- Las licencias Creative Commons (CC) es una organización internacional sin fines de lucro que pone a disposición de los autores un conjunto de licencias flexibles y de herramientas tecnológicas que facilitan la difusión de información, recursos educativos, obras artísticas y científicas, entre otros. Estas licencias también garantizan que el autor obtenga el crédito por su obra
- Según el Inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales-RENATI "Las universidades, Instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA"

**Nota** - En caso de falsedad en los datos, se procederá de acuerdo a ley (Ley 27444, art. 32, núm. 32.3)

**Anexo 17: Reporte de Originalidad**

# Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS) para regular las aguas pluviales en la cuenca urbana del rio Chilca, distrito de Pucusana, Lima 2022

*por James Razuri Osorio*

---

**Fecha de entrega:** 28-dic-2022 11:30a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 1987130761

**Nombre del archivo:** Tesis\_Final\_R\_zuri\_James\_28.12.22.pdf (3.97M)

**Total de palabras:** 15355

**Total de caracteres:** 77564



# Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS) para regular las aguas pluviales en la cuenca urbana del río Chilca, distrito de Pucusana, Lima 2022

## INFORME DE ORIGINALIDAD

27%

INDICE DE SIMILITUD

26%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

12%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	3%
2	<a href="http://tesis.pucp.edu.pe">tesis.pucp.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
3	<a href="http://repositorio.ana.gob.pe">repositorio.ana.gob.pe</a> Fuente de Internet	2%
4	<a href="http://repositorioacademico.upc.edu.pe">repositorioacademico.upc.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://www.hidrojing.com">www.hidrojing.com</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://idus.us.es">idus.us.es</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://sudsostenible.com">sudsostenible.com</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="http://repository.ucatolica.edu.co">repository.ucatolica.edu.co</a> Fuente de Internet	1%



9	<a href="http://repositorio.uniandes.edu.co">repositorio.uniandes.edu.co</a> Fuente de Internet	1 %
10	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego Trabajo del estudiante	1 %
11	<a href="http://pirhua.udep.edu.pe">pirhua.udep.edu.pe</a> Fuente de Internet	1 %
12	<a href="http://blogdelagua.com">blogdelagua.com</a> Fuente de Internet	1 %
13	<a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Fuente de Internet	1 %
14	<a href="http://investigacion.unirioja.es">investigacion.unirioja.es</a> Fuente de Internet	1 %
15	<a href="http://repositorio.unsm.edu.pe">repositorio.unsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	1 %
16	<a href="http://riunet.upv.es">riunet.upv.es</a> Fuente de Internet	1 %
17	<a href="http://vsip.info">vsip.info</a> Fuente de Internet	1 %
18	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante	1 %
19	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1 %
20	<a href="http://repositorio.upn.edu.pe">repositorio.upn.edu.pe</a>	



Fuente de Internet

<1 %

21

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

<1 %

22

[www.coursehero.com](http://www.coursehero.com)

Fuente de Internet

<1 %

23

[docplayer.es](http://docplayer.es)

Fuente de Internet

<1 %

24

[repositorio.upct.es](http://repositorio.upct.es)

Fuente de Internet

<1 %

25

Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru

Trabajo del estudiante

<1 %

26

Submitted to Universidad Distrital FJDC

Trabajo del estudiante

<1 %

27

[pavcowavin.com.co](http://pavcowavin.com.co)

Fuente de Internet

<1 %

28

Submitted to Universidad Privada Boliviana

Trabajo del estudiante

<1 %

29

[uvadoc.uva.es](http://uvadoc.uva.es)

Fuente de Internet

<1 %

30

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

Fuente de Internet

<1 %

31

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

Fuente de Internet



<1 %

32

[www.scribd.com](http://www.scribd.com)

Fuente de Internet

<1 %

33

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

Fuente de Internet

<1 %

34

[static.iahr.org](http://static.iahr.org)

Fuente de Internet

<1 %

35

[repository.usta.edu.co](http://repository.usta.edu.co)

Fuente de Internet

<1 %

36

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

Fuente de Internet

<1 %

37

Submitted to Universidad Sergio Arboleda

Trabajo del estudiante

<1 %

38

[catalogo.escuelaing.edu.co](http://catalogo.escuelaing.edu.co)

Fuente de Internet

<1 %

39

Submitted to Universidad Privada San Pedro

Trabajo del estudiante

<1 %

40

[biblioteca2.ucab.edu.ve](http://biblioteca2.ucab.edu.ve)

Fuente de Internet

<1 %

41

[cybertesis.unmsm.edu.pe](http://cybertesis.unmsm.edu.pe)

Fuente de Internet

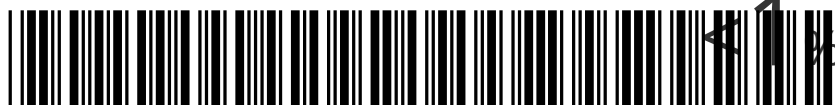
<1 %

42

[es.wikipedia.org](http://es.wikipedia.org)

Fuente de Internet

<1 %



43 [www.slideshare.net](http://www.slideshare.net) <1 %  
Fuente de Internet

---

44 [renatiqa.sunedu.gob.pe](http://renatiqa.sunedu.gob.pe) <1 %  
Fuente de Internet

---

45 Submitted to Universidad Santo Tomas <1 %  
Trabajo del estudiante

---

46 Submitted to Webster University <1 %  
Trabajo del estudiante

---

47 [fic.uanl.mx](http://fic.uanl.mx) <1 %  
Fuente de Internet

---

48 [renati.sunedu.gob.pe](http://renati.sunedu.gob.pe) <1 %  
Fuente de Internet

---

49 Submitted to Universidad de Navarra <1 %  
Trabajo del estudiante

---

50 [dgesui.ses.sep.gob.mx](http://dgesui.ses.sep.gob.mx) <1 %  
Fuente de Internet

---

51 [manglar.uninorte.edu.co](http://manglar.uninorte.edu.co) <1 %  
Fuente de Internet

---

52 [livrosdeamor.com.br](http://livrosdeamor.com.br) <1 %  
Fuente de Internet

---

53 Submitted to Universidad Católica de Santa  
María <1 %  
Trabajo del estudiante

---

54 [bibliotecadigital.org](http://bibliotecadigital.org)



Fuente de Internet

<1 %

55

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

Fuente de Internet

<1 %

56

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

Fuente de Internet

<1 %

57

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

Fuente de Internet

<1 %

58

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

Fuente de Internet

<1 %

59

Submitted to Universidad Francisco de Paula Santander

Trabajo del estudiante

<1 %

60

Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

<1 %

61

[aidisnet.org](http://aidisnet.org)

Fuente de Internet

<1 %

62

[core.ac.uk](http://core.ac.uk)

Fuente de Internet

<1 %

63

[ebuah.uah.es](http://ebuah.uah.es)

Fuente de Internet

<1 %

64

[www.cvc.gov.co](http://www.cvc.gov.co)

Fuente de Internet

<1 %



65

cybertesis.uach.cl

Fuente de Internet

<1 %

66

mc3.lped.fr

Fuente de Internet

<1 %

67

repositorio.unal.edu.co

Fuente de Internet

<1 %



Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 10 words

Excluir bibliografía

Activo