

## Estrategias de mitigación de inundaciones en Tlalnepantla de Baz por medio de sistemas urbanos de drenaje sostenible

### Flood mitigation strategies in Tlalnepantla de Baz through sustainable urban drainage systems

J. R. Pérez-Hernández<sup>a</sup> , O. S. Areu-Rangel<sup>a</sup> , L. Lizárraga-Mendiola<sup>a,\*</sup> 

<sup>a</sup> Área Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

#### Resumen

Esta investigación se centró en el diseño de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en la ciudad de Tlalnepantla de Baz, Estado de México. Se analizó su viabilidad en espacios públicos y vialidades. El objetivo principal consistió en diseñar y analizar aquellos SUDS que mejor se adaptarían a la infraestructura urbana existente, para determinar su capacidad de retener, infiltrar y/o almacenar el agua de escorrentía urbana con fines de mitigación de inundaciones y autoconsumo urbano. Se utilizó el programa SWMM V.5.2 para modelar la cuenca hidrológica. Se definieron: dimensiones, espesores y tipos de material de relleno, pendiente, terreno natural e infraestructura existente. Se estimó que las medidas de mitigación gestionan el 4.09% de la lluvia en este estudio en un 0.74% de la superficie de la cuenca intervenida. De este volumen, 3.29% es interceptado y puede almacenarse, mientras que el 0.8% es capaz de infiltrarse. Se concluye que este tipo de medidas sostenibles son un efectivo complemento a la infraestructura hidráulica convencional.

*Palabras Clave:* Drenaje, escorrentía, gestión del agua, infiltración, tecnologías de bajo impacto.

#### Abstract

This research focused on the design of sustainable urban drainage systems (SUDS) in the city of Tlalnepantla de Baz, State of Mexico. Its viability in public spaces and roads was analyzed. The main objective was to design and analyze those SUDS that best adapted to the existing urban infrastructure to determine their capacity to retain, infiltrate, and/or store urban runoff water for the purposes of flood mitigation and urban self-consumption. The SWMM V.5.2 program was used to model the hydrological basin. The following were defined: dimensions, thicknesses and types of filling material, slope, natural terrain and existing infrastructure. The mitigation measures manage 4.09% of the rainfall in this study in 0.74% of the surface of the intervened basin. Of this volume, 3.29% is intercepted and can be stored, while 0.8% is capable of infiltration. It is concluded that this type of sustainable measures are an effective complement to conventional hydraulic infrastructure.

*Keywords:* Drainage, runoff, water management, infiltration, low impact development.

#### 1. Introducción

A lo largo de varios años, la función del drenaje urbano ha consistido en la rápida evacuación del agua fuera de la ciudad a través del sistema de alcantarillado, llevando el agua residual de una urbe y dirigiéndola hacia un cauce natural (Castro-Fresno et al., 2005). Esta práctica ha causado problemas como inundaciones, las cuales son una

consecuencia de procesos de escorrentía como son las crecidas de los cauces naturales del agua, sumado a la ineficiencia de los sistemas de evacuación existentes. Esto proviene de un desequilibrio radical entre el volumen hídrico que se origina en superficies impermeabilizadas por la urbanización y la capacidad de evacuación que tienen los sistemas de drenaje de un lugar debido, entre otras cosas, a la

\*Autor para la correspondencia: [mendiola@uaeh.edu.mx](mailto:mendiola@uaeh.edu.mx)

Correo electrónico: [pe419768@uaeh.edu.mx](mailto:pe419768@uaeh.edu.mx) (Jorge Ramón Pérez-Hernández), [omar\\_areu@uaeh.edu.mx](mailto:omar_areu@uaeh.edu.mx) (Omar Salvador Areu-Rangel), [mendiola@uaeh.edu.mx](mailto:mendiola@uaeh.edu.mx) (Liliana Lizárraga-Mendiola).

pérdida de infiltración y la obsolescencia de la infraestructura existente (Ferrando, 2006).

Existen metodologías que ayudan a mitigar las inundaciones y promueven la imitación de los procesos naturales del agua, permitiendo que el agua se filtre e infiltre en el subsuelo. Estas medidas se conocen como “Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible” (SUDS) y son un enfoque innovador en la gestión del drenaje urbano, ya que buscan abordar los problemas de inundaciones y la degradación ambiental causada por la escorrentía de aguas pluviales en áreas urbanas (Ferrans et al., 2022).

Uno de los objetivos de los SUDS consiste en minimizar al máximo la impermeabilización del suelo en áreas urbanas, que incluyen vialidades y edificaciones. Esto contribuye a mejorar la recarga de las cuencas hidrográficas y a prevenir la acumulación excesiva de agua en un punto, lo que previene inundaciones (Castro-Fresno et al., 2005).

Los SUDS han adquirido diferentes nombres según el país donde se emplean: Mejores Prácticas de Manejo o Desarrollo de Bajo Impacto (por sus siglas en inglés BMP y LID, respectivamente) en Estados Unidos (Benedict y McMahon, 2012) y Técnicas Alternativas para la Gestión del Agua Pluvial en Francia, donde el objetivo es el mismo, promover una buena gestión del agua (IMTA, 2021).

Los sistemas de drenaje convencional han causado problemas, incluida la alteración del equilibrio hidrológico de las cuencas. Por ejemplo, en la zona metropolitana del Valle de México, las aguas que anteriormente fluían hacia el lago de Texcoco, ahora son evacuadas por cauces urbanos hasta el valle del Mezquital, en Hidalgo. Lo anterior contribuye a la disminución de la recarga del acuífero de la cuenca del Valle de México y con ello, a la desaparición del lago de Texcoco (IMTA, 2021).

En época de lluvias, la zona urbana de Tlalnepantla de Baz, Estado de México, enfrenta inundaciones en las vialidades principales y zonas bajas, donde el agua ha llegado a subir más de 15 centímetros en la vialidad Calzada de los Jinetes, afectando a automovilistas y ciudadanos (Jiménez, 2023).

Con base en lo anterior, el enfoque de esta propuesta de diseño consiste en tomar como base la normativa existente en México y en otros países, para diseñar un sistema de drenaje complementario por medio de los SUDS, que incremente la efectividad del sistema de drenaje urbano existente. De esta forma, se plantean soluciones para ayudar a disminuir las inundaciones que provoca la lluvia en las vialidades de Tlalnepantla de Baz. La zona seleccionada en este estudio comprende principalmente la Calzada de los Jinetes y sus vialidades secundarias. Las propuestas SUDS consisten en obras que almacenen e infiltren el flujo de agua en distintos puntos de su cuenca hidrográfica, donde los usos de suelo y espacios disponibles lo permiten.

### 1.1 Mitigación de inundaciones por medio de los SUDS

Existen distintos estudios donde los SUDS son el enfoque central para gestionar sistemas de drenaje pluvial más eficientes y reducir problemas por inundaciones. Tal es el caso en Ecuador, donde en un estudio sobre la mitigación de inundaciones en la Avenida Manuela Saez, se propusieron 3 escenarios para la gestión de la escorrentía: los dos primeros escenarios consistieron en cambiar el diámetro de desagüe y medir la reducción de la inundación y el tercero propuso

implementar SUDS de tipo infiltración, los cuales gestionan un volumen de 5.16 m<sup>3</sup>/s. En conjunto, el caudal de la tubería en el sistema de drenaje principal y el de los SUDS lograron gestionar 6.47% de la captación del flujo de escorrentía. Con esto se redujo 67% del volumen de inundación en esa zona de estudio (Nuñez-Guzman, 2020).

En otro caso de estudio en la ciudad de Santa Marta, Colombia, el volumen gestionado por SUDS de almacenamiento, filtración, e infiltración fue igual al 1.5%, equivalente a un volumen de escorrentía de 275.90 m<sup>3</sup>. Los autores también estimaron el volumen de agua infiltrada en el suelo equivalente a 64.54%, demostrando la capacidad de este tipo de propuestas para mitigar inundaciones y gestionar eficientemente la escorrentía urbana (Escobar-Ruiz, 2021). De acuerdo con Melgarejo-Moreno et al. (2019), en la ciudad de Alicante, España, utilizaron como SUDS principal un parque inundable con altura de 5 metros, el cual es de tipo almacenamiento e infiltración. Los autores determinaron que este parque tuvo capacidad para gestionar una escorrentía hasta de 110 000 m<sup>3</sup>; de este volumen, también se determinó que podrían almacenarse hasta 75 000 m<sup>3</sup> en tanques para el autoconsumo.

En síntesis, puede apreciarse la variedad de funciones complementarias que los SUDS son capaces de proveer al sistema de drenaje convencional, por lo que representan una alternativa atractiva para mitigar problemas de inundaciones en zonas urbanas.

## 2. Descripción del área de estudio y punto crítico

Tlalnepantla de Baz se localiza en el nororiente del Estado de México como se aprecia en la Figura 1. Se encuentra situado entre los paralelos 19°30' y 19°35' de latitud norte, los meridianos 99°05' y 99°15' de longitud oeste, a una altitud entre 2200 y 2800 metros sobre el nivel del mar (msnm) (INEGI, 2010; Gaceta Municipal del Ayuntamiento de Tlalnepantla de Baz, 2019).



Figura 1: Ubicación del municipio de Tlalnepantla de Baz.

De acuerdo con Jiménez (2023), en la zona de estudio se presentan inundaciones en el área y alrededor de la Calzada de los Jinetes, en Tlalnepantla de Baz. Esta calzada tiene una longitud total de 2753 m, un ancho de 21 m, dividido por un camellón de 7 m de ancho a lo largo de toda la calzada. A través de toda su longitud, la Calzada se comunica con distintos bulevares (aproximadamente 11), como se aprecia

en la Figura 2. Algunos de estos bulevares se destacan en la figura ya que sirven como cauces secundarios que aportan escorrentía al cauce principal (Calzada de los Jinetes), por lo que se consideraron en este estudio para proponer los SUDS.

En términos hidrológicos, la pendiente del terreno y sus vialidades contribuyen a transportar la escorrentía durante la época de lluvias hacia los puntos topográficos con menor elevación a lo largo de la Calzada (como se explica en el apartado 2.4).

Como se mencionó antes, algunos bulevares se destacan porque serán importantes, ya que estos servirán para colocar los sistemas como son los drenes franceses, parterres inundables y cunetas verdes; además, se resaltan algunas explanadas o patios donde se podrían colocar pavimentos permeables, mientras que en las zonas amplias como áreas verdes, se considera la implementación de zanjas bordo con un tanque de detención para aumentar su eficiencia de captación, como se puede apreciar en la Figura 2. La descripción de los distintos SUDS enlistados anteriormente se definen con detalle en el apartado 3.4.

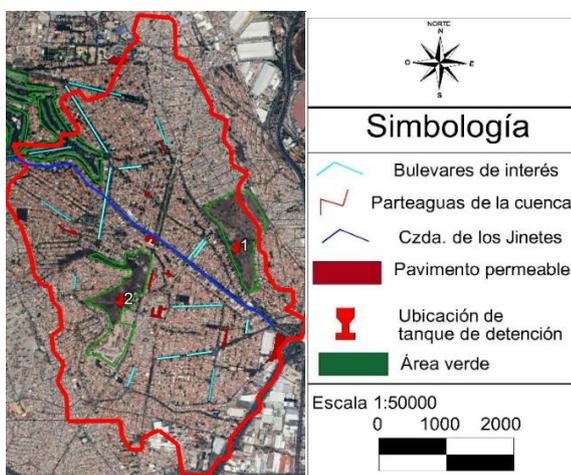


Figura 2: Área de estudio y puntos estratégicos de implementación, en Tlalnepantla de Baz (INEGI, 2019).

### 2.1. Clima

El municipio de Tlalnepantla de Baz consta de un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad (83.29%) y templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (16.71%) (CLIMA, 2020). Presenta un rango de precipitaciones de 500 – 800 mm al año y su temperatura promedio anual es de 16.5 °C y una mínima anual de 10.3 °C (CLIMA, 2020).

### 2.2. Tipos de suelo

La permeabilidad del suelo es crucial para favorecer la entrada del agua en el subsuelo. Suelos permeables permiten una mejor infiltración del agua, mientras que suelos más compactos pueden requerir enfoques diferentes, como pavimentos permeables o técnicas que fomenten la infiltración artificial (Jiménez y Joya, 2015). El tipo de suelo predominante en la zona plana es Regosol, acompañado de Litosoles y afloramientos de rocas de tepetate (Gaceta Municipal del Ayuntamiento de Tlalnepantla de Baz, 2019). En comparación con otros suelos de la misma composición, la permeabilidad promedio es de  $8.3 \times 10^{-3}$  m/d (Uson, s.f.). Se

puede destacar que el suelo Litosol (suelo rocoso) está caracterizado por tener una profundidad menor de 10 cm (Uson, s.f.).

### 2.3. Usos de suelo

La zona urbana de Tlalnepantla de Baz abarca una superficie de 6 681.34 hectáreas (Ha), lo que representa un 79.5% de la superficie total del municipio de Tlalnepantla de Baz. Un 20% de esta área corresponde a una región ecológica-florística-fisonómica, equivalente a 1 654.27 Ha. El 1% de su superficie restante se compone por una zona agrícola-pecuaria-forestal, abarcando 79.17 Ha y se sitúa en el polígono oriente del municipio como se puede apreciar en la Figura 3 (SEDATU, 2014). La zona de estudio está principalmente urbanizada (5 626 018 m<sup>2</sup>) y un 2% se considera área permeable (568 193 m<sup>2</sup> de áreas verdes), como se observa en la Figura 2.

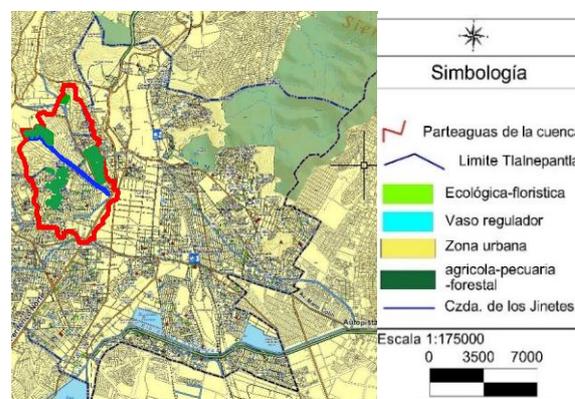


Figura 3: Usos de suelo en el área de estudio y en el municipio de Tlalnepantla de Baz (SEDATU, 2014).

### 2.4. Conformación de las cuencas

Se realizó un análisis hidrológico del comportamiento natural de los escurrimientos en la zona de estudio y se obtuvo su parteaguas usando el software Global Mapper V.19.0, así como la plataforma SIATL V.4, obteniendo la cuenca que envuelve a la vialidad en estudio. El área de la cuenca es de 6 194 211 m<sup>2</sup> y tiene una pendiente promedio de 6.5%, como se ve en la Figura 4.

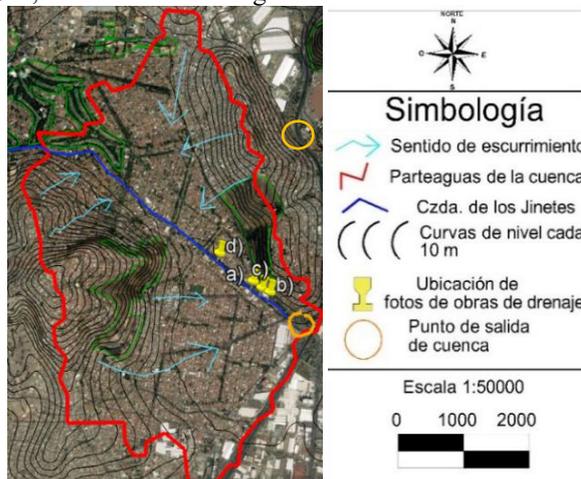


Figura 4: Delimitación de la cuenca, topografía, obras existentes y sentido del escurrimiento de la zona de estudio.

### 2.5. Ubicación de obras de drenaje existente

La disposición de la infraestructura urbana y la distribución de las áreas impermeables influyen en la ubicación y diseño de los SUDS. Es fundamental seleccionar ubicaciones estratégicas para maximizar la eficacia del sistema por medio de las propuestas de drenaje complementarias. Dado que actualmente no se cuenta con una cartografía de la localidad que describa las alcantarillas dentro de la zona urbana en estudio, se presentan algunas imágenes para identificar este tipo de estructuras, así como lugares estratégicos para proponer SUDS en sitios específicos (Figura 4 y Figura 5).



Figura 5: a) Obra de alcantarilla en buen estado, b) Obra de alcantarilla con basura, c) Obra de alcantarilla con azolve al 50%, d) Propuesta de lugar para adaptar SUDS.

### 2.6 Topografía

La disposición del terreno y su topografía pueden afectar la dirección y la velocidad del flujo de agua, lo que influye en la selección de SUDS, como zanjas de infiltración o estanques de retención (Jiménez y Joya, 2015).

La topografía de Tlalnepantla de Baz es irregular. La elevación máxima es de 2 440 m.s.n.m., mientras que la parte más baja presenta una altitud de 2 260 m.s.n.m. en el centro de Tlalnepantla. Estas mismas cotas encierran la avenida de estudio, como se puede apreciar en la Figura 4. Estas cotas representan una pendiente promedio del 6.5% con respecto a la longitud de la calzada que cruza la cuenca de la zona de estudio.

### 3. Metodología

Para desarrollar propuestas técnicas en concordancia con el objetivo de este trabajo, se recopiló información hidrológica específica del lugar de estudio por medio de un

hietograma para diferentes periodos de retorno (SCT, 2022). También, se delimitó la cuenca por medio de la plataforma SIATL V.4; mientras que el diseño de la mayoría de los SUDS se realizó por medio del software SWWM V.5.2 (CONAGUA, 2019a) y el resto fueron analizados por métodos analíticos. A través del diseño de propuestas se obtuvieron los volúmenes de escorrentía antes y después de la localización estratégica de SUDS, obteniendo su capacidad de mitigación de inundaciones.

### 3.1. Periodos de retorno

Las propuestas de drenaje sostenible deben adaptarse a las condiciones climáticas específicas de la región (Jiménez y Joya, 2015). Esto es vital, ya que las condiciones climáticas locales, incluyendo las precipitaciones, la intensidad de lluvias y la variabilidad estacional de las precipitaciones, influyen en la capacidad de gestión de los SUDS.

Para el análisis de este caso de estudio y el diseño de SUDS, fue necesario determinar los periodos de retorno para las precipitaciones. El análisis se basó en isoyetas de intensidad-duración-periodo de retorno para la República Mexicana. Estas isoyetas proporcionan información para periodos de retorno de 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años (SCT, 2022). Se optó por las isoyetas correspondientes al periodo de retorno de 10 años (TR 10), ya que, según CONAGUA (2019b), para el diseño de redes de drenaje pluvial en zonas urbanas con alta densidad, se utiliza un periodo de retorno de 10 años.

En la Tabla 1 se presenta el resumen de los escenarios de intensidades de precipitación (I, mm/h) para diferentes tiempos de concentración (TC, min).

TC	I (TR 10)
min	(mm/h)
5.00	177.00
10.00	133.85
15.00	100.28
20.00	81.71
30.00	61.22
40.00	49.88
60.00	37.37
90.00	28.00
120.00	22.81
150.00	19.46
180.00	17.09
210.00	15.32
240.00	13.93

Tabla 1: Intensidad de precipitación (mm/h) para tiempo de retorno de 10 años. Obtenido a partir de SCT (2022).

Se elaboró el hietograma, que consiste en un diagrama de barras que representa la relación de la altura de la precipitación y su intervalo de tiempo a lo largo de la duración de la tormenta (TC) (CONAGUA, 2019a). Esta información fue necesaria para ingresar los datos hidrológicos en el software SWWM V.5.2 (EPA, 2023). Se utilizó el método del bloque alterno para un tiempo de 4 horas que equivale a 240 minutos, debido a que corresponde a la mayor duración disponible en las isoyetas de la SCT (2022), para un

periodo de retorno de 10 años. Por medio del bloque alterno se obtiene la Tabla 2 (como se puede ver en el Anexo). El hietograma de precipitación se muestra en la Figura 6.

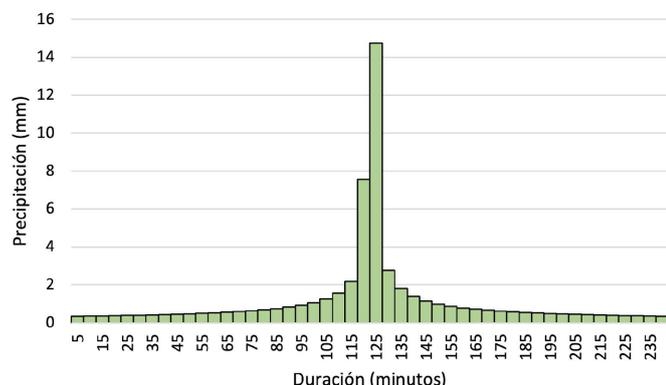


Figura 6: Hietograma para TR = 10 años.

### 3.2. Características de la cuenca

Las características de la cuenca se describen como la serie de propiedades morfológicas, geométricas de la cuenca, usos de suelo o cobertura vegetal, pendientes y dirección de flujo. Éstas se muestran en la Tabla 3.

Parámetros	Cantidades
Área total de cuenca	6 194 211 m <sup>2</sup>
Área impermeable de cuenca	5 626 018 m <sup>2</sup>
Número de curva (CN) cuenca <sup>1</sup>	98
Área permeable cuenca	568 193 m <sup>2</sup>
Cota mayor elevación	2 440 msnm
Cota menor elevación	2 260 msnm
Longitud de cuenca	2 753 m
Pendiente promedio cuenca	6.5%
Ancho cuenca	2 280 m
Coefficiente de rugosidad de Manning (N) impermeable <sup>1</sup>	0.011
N permeable <sup>1</sup>	0.150

<sup>1</sup> Nuñez-Guzman (2020)

Tabla 3: Parámetros descriptivos de la microcuenca en estudio.

El área total de la Tabla 3 representa al área de la cuenca. El área impermeable es el área total de la cuenca menos el área permeable (área verde) correspondiente, como se puede apreciar en la Figura 1. La longitud se refiere a la extensión de la avenida principal en estudio (Calzada de los Jinetes), ya que cruza toda la cuenca, por ende, dirige la mayor cantidad de agua pluvial hacia el punto de salida de la cuenca (zona con menor pendiente). El ancho de la cuenca se estima con un valor aproximado del ancho total de la cuenca, mientras que los valores de N se utilizan como el coeficiente de rugosidad de Manning (Nuñez-Guzman, 2020).

La clasificación de suelo por número de curva (CN) permite calcular la precipitación efectiva producida por una tormenta en una determinada área, que representa la cantidad de gasto que escurre superficialmente sin haberse infiltrado. En este caso de estudio, al tratarse de una zona con superficie urbana principalmente impermeable, se eligió un coeficiente de 98 (Nuñez-Guzman, 2020).

### 3.3. Cálculos hidráulicos en condiciones normales

Es necesario conocer primero el comportamiento hidráulico natural de la cuenca bajo las condiciones de urbanización actuales, partiendo de las características de esta, así como su uso de suelo, que es principalmente impermeable. Se empleó el periodo de lluvia obtenido por medio del hietograma del bloque alterno (Figura 6). Después, se ingresaron estos datos en la interfaz del software SWMM V.5.2. Este software, cuyas siglas en inglés significan *Storm Water Management Model*, fue desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental en Estados Unidos (EPA, 2023). Está planteado para la generación de diseños y análisis relacionados con lluvias combinadas con los SUDS, lo que ayuda a obtener los valores de escorrentía a drenar durante el periodo de lluvia en evaluación. A continuación, se ingresan los datos descriptivos de la cuenca (Figura 7).

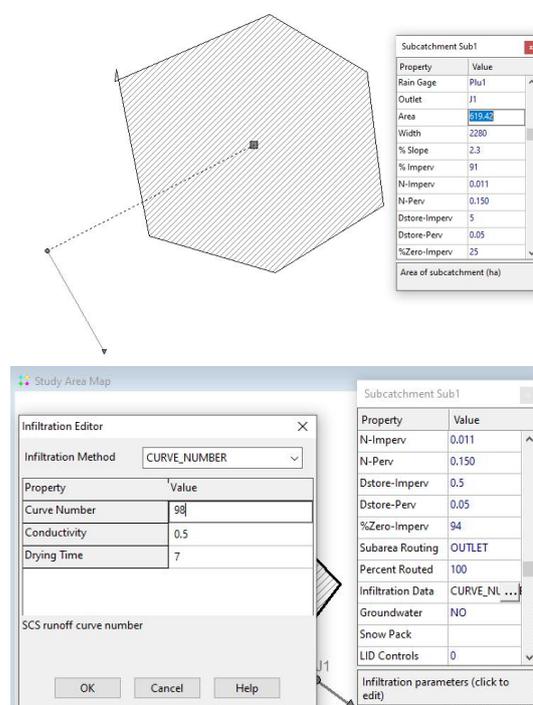
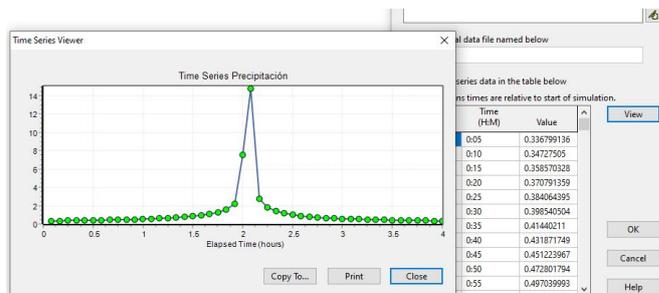


Figura 7: Introducción de datos de la cuenca en el software EPA SWMM V.5.2 (EPA, 2023).

De igual manera, se ingresan las precipitaciones que



generó el hietograma, como se puede apreciar en la Figura 8.

Figura 8: Precipitaciones y hietograma mostrado en SWMM V. 5.2 (EPA, 2023).

Posteriormente a la introducción de los datos de la cuenca y el tiempo de precipitación de 240 minutos, se obtuvieron los valores de infiltración y escurrimiento en intervalos de 5 minutos, para tener un incremento de tiempo en la simulación que muestre detalle en los cambios de infiltración y escurrimiento. El caudal máximo en la cuenca con esta precipitación ocurrió a las 2:10 horas de haber iniciado el evento de lluvia, con un gasto equivalente a 120.56 m<sup>3</sup>/s (Tabla 4, en anexo). Este primer modelo analizó las condiciones actuales de la cuenca urbanizada, solamente evaluando el sistema de drenaje convencional.

### 3.4. Modelación con SWMM V.5.2

Para el diseño de los SUDS, este estudio se basó en la localización de los posibles lugares para su adaptación, los cuales son los bulevares que concurren hacia la Calzada de los Jinetes, además de los camellones, explanadas y áreas verdes aledañas a esta (Figura 2). En la interfaz del software SWMM V.5.2 se muestran distintas opciones de SUDS que el software incluye para modelar.

En este estudio se seleccionaron como los principales SUDS: parterres inundables (también conocidos como celda de biorretención), drenes franceses y cunetas verdes; todos ellos son adaptables principalmente en camellones y áreas verdes, mientras que el pavimento permeable se propuso en las explanadas y vialidades más amplias. De acuerdo con las características de cada SUDS, se obtuvieron los parámetros del Manual de Diseño para Infraestructura Verde, el cual define los criterios a tomar en cuenta para su diseño en zonas con clima árido y semiárido, como el área de interés (IMPLAN, 2019).

Una vez seleccionados los SUDS más apropiados para mitigar la problemática del área de estudio, se introdujo la información necesaria para su diseño en el software SWMM V.5.2 (EPA, 2023), como se muestra en la Figura 9.

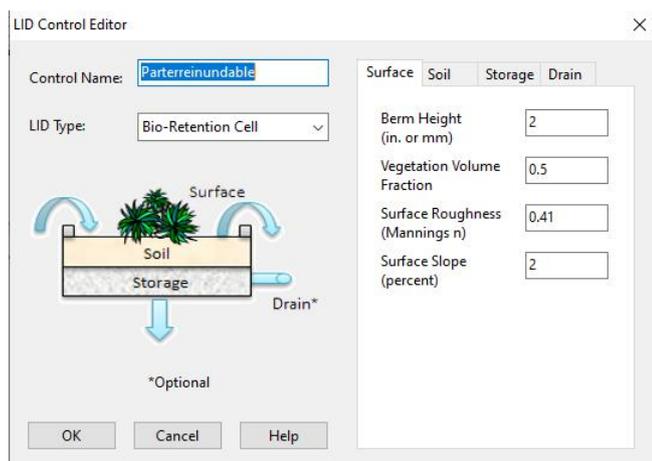


Figura 9: Introducción de datos a SWMM V.5.2. En este ejemplo se muestra un parterre inundable.

De acuerdo con IMPLAN (2019) y Núñez-Guzmán (2020), se seleccionaron los siguientes parámetros de diseño para cada SUDS (Tabla 5). Al generar e ingresar todos los parámetros requeridos en el software, se asignan las áreas de los SUDS dentro de la cuenca (Figura 10). Esta distribución se dispone a lo largo de la cuenca (Figura 11).

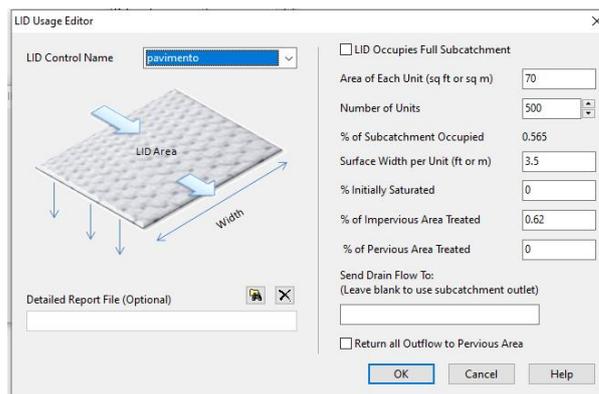


Figura 10: Área destinada para pavimento permeable dentro de la cuenca.

Criterios	Observaciones
	Parterre inundable
Superficie	1 800 m <sup>2</sup> en bulevares
Grosor	De la capa superficial contiene una capa mínima de vegetación de 2 mm
Cobertura de vegetación	Al menos el 80% de su superficie (césped o algún otro tipo de vegetación autóctona)
Coefficiente de Manning	0.41
Pendiente	2%
Dren francés	
Superficie	3 000 m <sup>2</sup> en áreas verdes y bulevares
Grosor	40 mm con relleno de gravas (3" a 3/4")
Coefficiente de Manning	0.024
Pendiente	2%
Cuneta verde	
Superficie	2 500 m <sup>2</sup> en áreas verdes y bulevares
Grosor	100 mm de capa mínima con vegetación
Cobertura de vegetación	Al menos el 90% de su superficie (césped o algún otro tipo de vegetación autóctona)
Coefficiente de Manning	0.15
Pendiente	2%
Pavimento permeable	
Superficie	35 000 m <sup>2</sup> en explanadas y vialidades
Grosor	200 mm
Coefficiente de Manning	0.011
Pendiente	2%

Tabla 5: Criterios básicos para el diseño de SUDS

Posteriormente, se ejecutó el programa, corriendo la simulación de los datos y se obtuvieron los escurrimientos de la cuenca con la implementación de propuestas SUDS, como se muestra en la Tabla 6 (en anexo).

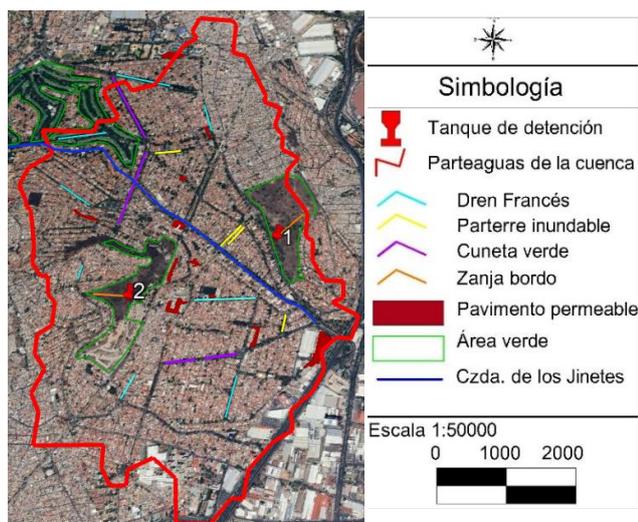


Figura 11: Localización de SUDS propuestos.

### 3.4.2. Análisis de viabilidad técnica de infraestructura hidráulica vs. SUDS

Se muestra en la Tabla 7 la diferencia del volumen de escorrentía sin y con la implementación de SUDS. En el tiempo transcurrido de dos horas con 10 minutos del evento de lluvia empleado en el modelo, se registró el caudal más grande en la cuenca para los dos escenarios evaluados.

Tiempo (hora)	Drenaje convencional (m <sup>3</sup> /s)	Después de SUDS (m <sup>3</sup> /s)
2:10:00	120.56	119.71

Tabla 7: Diferencia de caudales de escorrentía.

Estos valores representan una diferencia entre el escenario actual y el escenario propuesto, equivalente a un caudal de 0.85 m<sup>3</sup>/s. Lo anterior significa que la implementación de SUDS en la zona sería capaz de mitigar el 0.71% del volumen de escorrentía. Este porcentaje marca una pequeña diferencia en el caudal de escurrimiento, aunque genera una pauta para complementar de manera sostenible la infraestructura hidráulica existente. Desde otra perspectiva, este 0.71% no se combina en el sistema de drenaje existente, por lo que puede reducir también la presión sobre su eficiencia hidráulica durante eventos de lluvia como el considerado en este análisis.

### 3.4.3. Diseño analítico

Por otro lado, en el modelado con SWMM V.5.2 no se han considerado aún los volúmenes de los depósitos de detención y las zanjas bordo, pues no son opciones incluidas dentro del programa. Estos dos sistemas adicionales tienen la finalidad de aumentar la capacidad de retención e infiltración de los SUDS propuestos previamente. Para abordar esto, se empleó la metodología de cálculo propuesta por Codolá-Roselló

(2015) y Escobar-Ruiz (2021), utilizando un coeficiente de escorrentía de 0.9 para zonas urbanas densamente pobladas. El valor seleccionado de la permeabilidad media (K) es de 8.3x10<sup>-7</sup> m/s, así como las características de los SUDS enlistados en la Tabla 5.

Por otra parte, para obtener los parámetros de la lluvia de diseño se empleó el método Racional (Codolá-Roselló, 2015), que facilita la obtención de los caudales de diseño mediante (1):

$$Q = \frac{C \times A \times I}{360} \quad (1)$$

Donde: Q= caudal (m<sup>3</sup>/s), C= coeficiente de escorrentía (adimensional), A= área de la cuenca (km<sup>2</sup>), e I= intensidad de lluvia (mm/h).

Luego, se calcularon los volúmenes que cada uno de los SUDS podría almacenar (VA), utilizando el área del SUDS multiplicada por los espesores de los sustratos que contribuyen al almacenamiento de agua. Posteriormente, este resultado se multiplicó por su relación de vacíos o porosidad, correspondiente a los materiales de los sustratos (Escobar-Ruiz, 2021).

Además, se consideró también la instalación de tanques de detención, cuya función principal es retener el agua que procede de la escorrentía temporalmente. Esto no solamente reduce la velocidad de la escorrentía, sino que promueve un almacenamiento parcial; este volumen puede ser destinado como recurso de limpieza o para riego. Debe destacarse que se debe tener cuidado con los sedimentos, brindar mantenimiento y construir pozos auxiliares para alargar su vida útil, como se puede ver en la Figura 13c (Abellán, 2016). En las Figuras 12 y 13 se muestran sistemas urbanos de drenaje sostenible, los cuales pueden adaptarse a la infraestructura existente (Figura 12). Inclusive, los SUDS pueden diseñarse para la planeación de nuevos espacios urbanos bajo políticas de sustentabilidad y gestión de inundaciones. Estas alternativas pueden contar con mayor extensión y conectividad, permitiendo aumentar la eficiencia en mitigación de inundaciones (Figura 13).

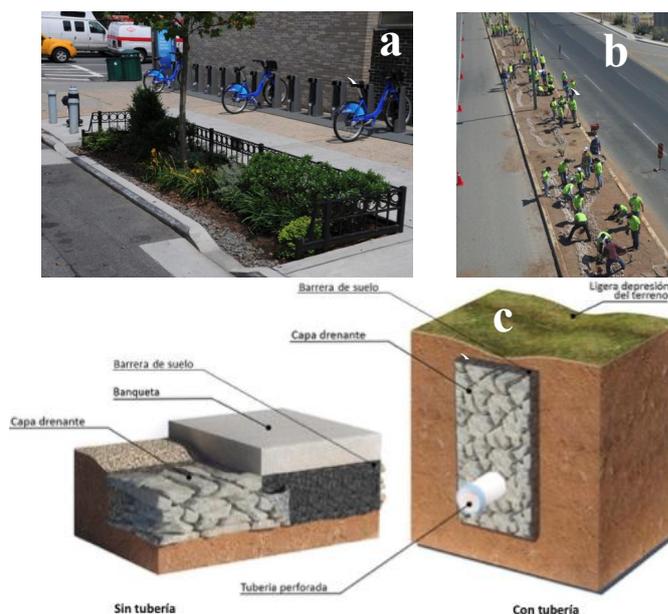


Figura 12: Jardines infiltrantes o parterres (a), Microcuencas en camellones e incorporación central de cunetas verdes (b) y Dren Francés (c). Fuente: IMPLAN (2019).

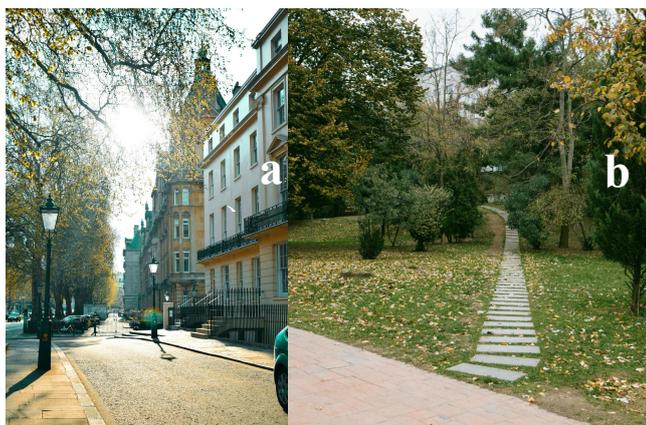


Figura 13: Pavimento permeable en zonas urbanas (a), Pavimento permeable en zonas verdes (b), Diseño esquemático de tanque de detención (c). Fuente: Aguas integrales (2021).

A continuación, se desglosan los criterios de diseño analítico empleados para cada SUDS:

a) *Parterre inundable:*

- Área: 1 800 m<sup>2</sup>
- Porosidad: 30%
- Espesor del suelo: 0.9 m (IMPLAN, 2019)

$$VA = \text{área} \times \text{espesor del suelo} \times \text{porosidad}$$

b) *Cuneta verde:*

- Área: 2 500 m<sup>2</sup>
- Espesor de capa drenante: 0.1 m
- Porosidad: 20% (Departamento Técnico de Naturaleza, 2017).

$$VA = \text{área} \times \text{espesor capa drenante} \times \text{porosidad}$$

c) *Dren francés:*

- Área = 3 000 m<sup>2</sup>

- Espesor de capa drenante= 0.5 m
- Porosidad= 80% (Departamento Técnico de Naturaleza, 2017; IMPLAN, 2019)

$$VA = \text{área} \times \text{espesor capa drenante} \times \text{porosidad}$$

d) *Pavimento permeable:*

- Área = 35 000 m<sup>2</sup>
- Espesor del sustrato= 0.2 m
- Porosidad de sustrato= 50%
- Espesor de capa drenante= 0.1 m
- Porosidad de capa drenante= 80% (Jiménez y Joya, 2015; IMPLAN, 2019).

$$VA = (\text{área} \times \text{espesor del sustrato} \times \text{porosidad sustrato}) + (\text{área} \times \text{espesor capa drenante} \times \text{porosidad capa drenante})$$

e) *Zanja-bordo para conectar al tanque 1:*

Para el planteamiento de este sistema, se requiere un lugar amplio con pendiente baja (máximo 10%) para facilitar la infiltración y sedimentación de sólidos (IMPLAN, 2019). Se buscó un lugar con estas características en la zona de estudio y, con ayuda de Google Earth V.7.3.6.9796, se obtuvo la ubicación de dos sitios idóneos, así como el perfil de elevación y la localización de los depósitos de detención propuestos (Figura 11). Al establecer un sistema conectado para aumentar su capacidad de retención de agua, las pendientes superaron el máximo permitido. Por eso, fue necesario dividir el tramo en más zanjas a lo largo de la longitud total del tramo, promoviendo así una mejor infiltración. A continuación, se define su dimensionamiento:

- Área= (324 m × 5 m) = 1 620 m<sup>2</sup>
- Porosidad= 30%
- Espesor del sustrato= 0.1 m (ya que es el mismo sustrato del suelo natural, compuesto por litosoles, Usón, s.f.)

$$VA = \text{área} \times \text{espesor sustrato} \times \text{porosidad}$$

f) *Tanque de detención 1:*

Con base en el espacio disponible para su adaptación, se propuso un tanque de 50 m x 50 m con una profundidad de 6 metros, dejando 1 metro libre para el rebose.

g) *Zanja-bordo para conectar al tanque 2:*

- Área= (242 m × 5 m) =1 210 m<sup>2</sup>
- Porosidad= 30%
- Espesor del sustrato= 0.1 m

$$VA = \text{área} \times \text{espesor sustrato} \times \text{porosidad}$$

h) *Tanque de detención 2:*

Se propuso un tanque de 60 m x 60 m con una profundidad de 6 metros, dejando 1 metro libre para el rebose. Para una mejor apreciación de la ubicación de los tanques de detención y los flujos de los escurrimientos, véase la Figura 11.

Después de calcular los volúmenes gestionados por medio de los SUDS, se sumaron los volúmenes almacenables en cada uno. Posteriormente, se calculó el volumen infiltrado, que es el producto de K por el área permeable (Tabla 8). Después de obtener el volumen infiltrado, se calculó el volumen no infiltrado, que es la diferencia entre el volumen de lluvia y el volumen infiltrado. El volumen almacenado corresponde al cálculo del volumen de los SUDS con los depósitos de detención, y finalmente, el volumen de rebose es el que resta después del almacenamiento e infiltración total de la cuenca.

**4. Resultados**

Según los resultados mostrados en la Tabla 8 (ver anexo), el volumen gestionado en la cuenca mediante los SUDS equivale al 4.76% del volumen total de la lluvia analizada en este estudio. Debe tenerse en cuenta que el área destinada para los SUDS (45 740 m<sup>2</sup>) corresponde al 0.74% del total de la cuenca (6 192 211 m<sup>2</sup>), por lo que este volumen podría aumentar si se proponen otras medidas sostenibles de intervención.

De forma individual, cada SUDS tiene una capacidad de almacenamiento que, en conjunto, representan un volumen considerable en cuanto a la gestión de la escorrentía se refiere (Tabla 9). Además, puede resumirse que el volumen acumulado que estos SUDS son capaces de interceptar equivale a 27 820.9 m<sup>3</sup> (3.83%), mientras que el volumen infiltrado a través de las áreas permeables es de 6 791.04 m<sup>3</sup> (0.93%).

Tabla 9: Volúmenes de almacenamiento de cada SUDS

SUDS	Volumen (m <sup>3</sup> )
Parterre inundable	486
Cuneta verde	50
Dren francés	1 200
Pavimento permeable	6 300
Zanja-bordo 1	48.6
Tanque de detención 1	12 500
Zanja-bordo 2	36.3
Tanque de detención 2	7 200

De estos resultados se aprecia que el volumen almacenado puede ser significativo en cuanto a problemas de escasez hídrica para la población, ya que se puede reutilizar con fines

no potables. Este volumen puede aprovecharse por medio de los dos tanques de detención, ya que equivalen a un volumen total de 19 700 m<sup>3</sup>. Esta agua recuperable puede destinarse para el riego de sembradíos, en autolavados, para lavar las calles, etc.

*4.1 Discusión*

La eficacia técnica de los SUDS se ha demostrado en distintos estudios, en los que se destaca que su capacidad de mitigación de la escorrentía está en función de la superficie urbana intervenida. Por ejemplo, Jaca-Pozzi y Angheben (2023) evaluaron SUDS a nivel domiciliario para reducir el volumen de escorrentías por medio de celdas de biorretención.

Los autores determinaron que es posible reducir hasta 18% el volumen de escorrentía para periodos de retorno de 5 años. Estos autores también mencionan que esta eficacia puede aumentarse si los SUDS se escalan a niveles de espacios públicos como plazas y jardines. En otro estudio, se demostró que los SUDS pueden mitigar hasta 45% la escorrentía urbana; además, se determinó cualitativamente su eficacia para gestionar contaminantes urbanos (Baquero-Criollo y Laverde-Aya, 2023).

Se ha demostrado que la combinación de SUDS también puede contribuir a un aumento en su eficacia hidráulica. En un estudio se emplearon propuestas tales como pavimento permeable en calzadas conectadas a una vialidad principal, mientras que en camellones se utilizaron celdas de biorretención (parterre inundable) (Cano-Salazar, 2021). Los autores encontraron que su implementación puede reducir hasta un 47% la escorrentía para periodos de retorno de 3 años.

Estos autores también recomiendan considerar la factibilidad de estas propuestas respecto al costo que representaría el aumento en el diámetro de tuberías de la infraestructura de drenaje existente, pues el volumen de escorrentía gestionado por medio de los SUDS permite considerar una alternativa adicional para el consumo de agua público (actualmente inexistente). Por otra parte, también es recomendable establecer medidas de mantenimiento o correctivas periódicamente para garantizar su eficiencia hidráulica y prolongar su vida útil (Fontaneda et al., 2012).

**5. Conclusiones y recomendaciones**

La aplicación de SUDS demostrada a través de simulaciones en el software SWMM V.5.2 y los resultados obtenidos, se revela como una estrategia eficaz para proponer medidas que ayuden a mitigar los efectos adversos de las lluvias intensas en áreas urbanas. Al captar, retener y almacenar parcialmente el agua de lluvia, los SUDS son capaces de reducir la presión sobre los sistemas de drenaje convencional, minimizando así el riesgo de inundaciones y mejorando la gestión integral de las aguas pluviales. Aunque se destina menos del 1% de la infraestructura convencional existente para su adaptación complementaria por medio de los SUDS, su efectividad se refleja de manera significativa en la reducción de la escorrentía.

Por otra parte, los resultados obtenidos indican que la implementación de SUDS en las Calzada de los Jinetes y vialidades secundarias en la ciudad de Tlalnepantla de Baz es

una estrategia viable. No solo aborda los problemas inmediatos de inundaciones, sino que también establece las bases para un desarrollo urbano más sostenible y resiliente. La combinación de enfoques técnicos, ambientales y sociales destaca la importancia de una gestión integral del agua en entornos urbanos, brindando soluciones concretas y sostenibles para mejorar la calidad de vida de la comunidad.

Es deseable realizar una planificación adecuada en la localización de los SUDS sobre las avenidas, ya que se deben cumplir con parámetros de diseño establecidos para que estos tengan una eficacia hidráulica adecuada. También, debe tenerse en cuenta que cada tipo de SUDS tiene medidas específicas; al diseñarlos en una urbe se limitan sus capacidades ya que deben adaptarse al espacio disponible para su construcción y esto disminuye su capacidad hidráulica para gestionar escorrentías.

Aunque la implementación de SUDS como zanjas de infiltración, estanques de retención y áreas verdes permeables ayuda a gestionar las aguas pluviales de manera sostenible, su eficacia podría aumentar si además se instalan pavimento permeable en vialidades de baja circulación y se aumentan los SUDS para infiltración en banquetas y jardines privados.

Es recomendable que, al instalar SUDS, se realicen inspecciones regulares y mantenimiento de la red de alcantarillado para prevenir obstrucciones y mejorar el flujo del agua. También, se recomienda el diseño y construcción de sistemas de drenaje pluvial eficientes, que permitan la rápida evacuación del agua en áreas propensas a inundaciones.

Además, conforme a las obras de drenaje seleccionadas en este estudio para su adaptación con SUDS, fue posible identificar dónde es importante la rehabilitación del sistema de drenaje actual. Por ejemplo, en la Figura 5 inciso “C”, se puede apreciar que el drenaje pluvial fue obstaculizado por la misma capa de asfalto resultado de una repavimentación, lo que no permite el desalojo efectivo de las aguas pluviales en periodo de lluvias. De igual manera, existe infraestructura que se ve afectada por residuos sólidos como basura, que impiden el funcionamiento eficiente de dichos sistemas (como se muestra en la Figura 5b).

## Referencias

- Abellán, A. (2016). Depósitos superficiales de detención: SuD Sostenible. Consultado el: 23 de septiembre del 2023 desde: <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/depositos-superficiales-de-detencion/>
- Aguas integrales, (2021). Consideraciones para sistemas de detención controlados por bombeo: Aguas integrales. 1-10 pp.
- Baquero Criollo, L. C., & Laverde Aya, J. N. (2023). Propuesta de Diseño de Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (Suds) en el Caso Urbano del Municipio de Paratebuena, Cundinamarca.
- Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2012). Green infrastructure: linking landscapes and communities. Island press.
- Cano Salazar, H. Y. (2021). Diseño de un sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) para manejo de escorrentía en la carrera 9 entre calles 108 y 112, sector Usaquén, Bogotá, Colombia (Doctoral dissertation, Pregrado Ingeniería Civil).
- Castro-Fresno, D., Rodríguez-Bayón, J., Rodríguez-Hernández, J., Ballester-Muñoz, F., (2005). Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS): INCI, 30(5), 255-260.
- CLIMA (2020). Clima Tlalnepantla de Baz-México. Consultado el 28 de agosto de 2023 desde: [https://es.climate-data.org/americas-del-norte/mexico/mexico/tlalnepantla-766169/#google\\_vignette](https://es.climate-data.org/americas-del-norte/mexico/mexico/tlalnepantla-766169/#google_vignette)
- Codolá-Roselló (2015) SUDS: Metodología de cálculo y experiencias en áreas urbanas, Proyecto o tesina de especialista, UPC Barcelonatech.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2019a). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento-Drenaje Pluvial Urbano. ISBN: 978-607-626-019-7.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2019b). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento – Datos básicos para proyectos de agua potable y alcantarillado. ISBN: 978-607-626-036-4.
- Departamento Técnico de Naturalea (2017). Sistemas urbanos de drenaje sostenible: naturaleza. 5-6 pp.
- EPA (Environmental Protection Agency) (2023). Storm Water Management Model (SWMM). Consultado el: 16 de octubre de 2023 desde: <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>.
- Escobar-Ruiz, G., (2021). Sustainable urban drainage systems: Universidad Alcalá de Henares. Máster Universitario en Hidrología.
- Ferrando, F., (2006). Sobre inundaciones y anegamientos. Flood Disasters: Revista de Urbanismo. N° 15. ISSN 0717-5051. 1-18 pp.
- Ferrans, P., Torres, M. N., Temprano, J., & Sánchez, J. P. R. (2022). Sustainable Urban Drainage System (SUDS) modeling supporting decision-making: A systematic quantitative review. Science of the Total Environment, 806, 150447.
- Fontaneda, I. Á. S., Hernández, J. R., & Fresno, D. C. (2012). Diseño y construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible (suds). Gaceta Municipal del Ayuntamiento de Tlalnepantla de Baz (2019). Atlas municipal de Riesgos 2019-2021. Número 18. Volumen 1. (26 de abril de 2019). Consultada el 26 de agosto de 2023 desde: [www.tlalnepantla.gob.mx](http://www.tlalnepantla.gob.mx).
- IMPLAN (Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo) (2019). Manual de lineamientos de diseño de infraestructura verde para municipios mexicanos. (junio de 2019). Consultado el 01 de septiembre del 2023 desde: [http://www.implanhermosillo.gob.mx/wp-content/uploads/2019/06/Manual\\_IV3.pdf](http://www.implanhermosillo.gob.mx/wp-content/uploads/2019/06/Manual_IV3.pdf).
- IMTA, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2021). Hacia una gestión de las aguas urbanas basada en la naturaleza. (21 de febrero de 2021). Consultada el 24 de agosto de 2023 desde: [doi.org/10.24850/b-imita-perspectivas-2021-06](https://doi.org/10.24850/b-imita-perspectivas-2021-06)
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010 Tlalnepantla de Baz. Consultada el 27 de agosto de 2023 desde: <https://www.inegi.org.mx>.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2019). Carta topográfica E14A29. Consultada el 07 de septiembre 2023 desde: <https://www.inegi.org.mx>
- Jaca-Pozzi, G., & Angheben, E. (2023). Diseño de un sistema de desagües urbanos sostenibles (SUDS) en un barrio del Conurbano Bonaerense. En VII Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión de la Facultad de Ingeniería (La Plata, 25 al 27 de abril de 2023).
- Jiménez, A. y Joya, J. (2015). Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) como gestión integral en la regulación y control de aguas lluvias; caso de estudio sector en la ciudad de Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 21-28 pp.
- Jiménez, R. (2023). En Tlalnepantla, fuertes lluvias provocan inundaciones en vialidades, casas y negocios. Reportaje especial publicado en EL UNIVERSAL, 06 de julio de 2023 desde: <https://www.eluniversal.com.mx/edomex/fuertes-lluvias-provocan-inundaciones-en-vialidades-casas-y-negocios-en-tlalnepantla-videos/>.
- Melgarejo-Moreno, J., Fernández-Aracil, P., Fernández-Rodríguez, H., Trapote-Jaume, A. (2019). Sistemas urbanos de drenaje sostenible. Aplicación a una zona urbana de Alicante. Universitat d’Alacant. ISBN: 978-84-1302-034-1.
- Núñez-Guzman, V. (2020). Sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS) caso de estudio Avenida Manuela Sáenz, Ambato, Ecuador: Universidad de Alcalá de Henares.
- SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes) (2022). Isoyetas de intensidad-duración-periodo de retorno para la República mexicana. (28/septiembre/2022). Consultado el 16 de octubre de 2023 desde: <https://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/isojetas/>.
- SEDATU, Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (2014). Atlas de riesgos naturales del municipio de Tlalnepantla de Baz. (diciembre de 2014). Consultado el: 28 de octubre de 2023 desde: [http://rmgir.proyectomesoamerica.org/PDFMunicipales/15104\\_Tlalnepantla.pdf](http://rmgir.proyectomesoamerica.org/PDFMunicipales/15104_Tlalnepantla.pdf).

Uson, UNISON TV (s.f.) Tesis – Características de los municipios-. Anexo 2. Consultado el 20 de octubre de 2023 desde: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/2951/Bibliograf%C3%ADa.pdf>.

**ANEXOS:**

1	2	3	4	5	6
Duración (min)	I (mm/h)	Lluvia acumulada	Lluvia (mm)	Bloque	Precipitación (mm)
5	177	14.75	14.75	1	1.00
10	130	21.67	6.92	2	1.00
15	105	26.25	4.67	3	1.50
20	88	29.33	4.58	4	3.33
30	68	34.00	4.00	5	4.00
40	56	37.33	3.67	6	4.67
60	41	41.00	3.33	7	14.75
90	30	45.00	3.08	8	6.92
120	23	46.00	1.50	9	4.58
150	19	47.50	1.00	10	3.67
180	16	48.00	1.00	11	3.08
210	14	49.00	1.00	12	1.00
240	12.5	50.00	0.50	13	1.00

Tabla 2: Cálculos de precipitaciones para 240 min (4 horas).

Horas	Infiltración mm/h	Escurrentía m <sup>3</sup> /s
0:05:00	0.34	0
0:10:00	0.31	0
0:15:00	0.28	0.07
0:20:00	0.26	0.14
0:25:00	0.24	0.22
0:30:00	0.22	0.32
0:35:00	0.21	0.43
0:40:00	0.20	0.56
0:45:00	0.18	0.70
0:50:00	0.17	0.84
0:55:00	0.16	1.00
1:00:00	0.16	1.17
1:05:00	0.15	1.35
1:10:00	0.14	1.69
1:15:00	0.14	2.22
1:20:00	0.13	2.93
1:25:00	0.13	3.81
1:30:00	0.13	4.85
1:35:00	0.12	6.07

1:40:00	0.13	7.52
1:45:00	0.13	9.27
1:50:00	0.14	11.49
1:55:00	0.16	14.52
2:00:00	0.36	19.40
2:05:00	0.34	47.52
2:10:00	0.04	120.56
2:15:00	0.02	100.5
2:20:00	0.02	81.84
2:25:00	0.01	67.19
2:30:00	0.01	55.97
2:35:00	0.01	47.33
2:40:00	0.01	40.60
2:45:00	0.01	35.28
2:50:00	0.01	31.02
2:55:00	0.01	27.57
3:00:00	0.01	24.72
3:05:00	0	22.36
3:10:00	0	20.37
3:15:00	0	18.68
3:20:00	0	17.24
3:25:00	0	15.99
3:30:00	0	14.91
3:35:00	0	13.96
3:40:00	0	13.12
3:45:00	0	12.38
3:50:00	0	11.72
3:55:00	0	11.13
4:00:00	0	10.60

Tabla 4: Infiltración y escurrentía de la cuenca (antes de SUDS).

Horas	Infiltración mm/h	Escurrentía m <sup>3</sup> /s
0:05:00	0.34	0
0:10:00	0.31	0
0:15:00	0.29	0.07
0:20:00	0.26	0.14
0:25:00	0.24	0.22
0:30:00	0.23	0.32
0:35:00	0.21	0.43
0:40:00	0.20	0.56
0:45:00	0.19	0.69
0:50:00	0.17	0.84
0:55:00	0.17	1.00
1:00:00	0.16	1.16
1:05:00	0.15	1.34
1:10:00	0.14	1.67
1:15:00	0.14	2.21
1:20:00	0.14	2.91
1:25:00	0.13	3.78
1:30:00	0.13	4.81
1:35:00	0.13	6.02
1:40:00	0.13	7.46
1:45:00	0.13	9.19
1:50:00	0.14	11.38
1:55:00	0.16	14.39
2:00:00	0.36	19.22
2:05:00	0.35	47.10
2:10:00	0.05	119.71

2:15:00	0.03	101.01	20	141.48	37818.19	27820.9	37818.19
2:20:00	0.02	80.86	30	282.96	56598.48	27820.9	56598.48
2:25:00	0.02	66.36	40	282.96	46062.13	27820.9	46062.13
2:30:00	0.02	55.24	60	565.92	68877.38	27820.9	68877.38
2:35:00	0.02	46.69	90	848.88	77198.18	27820.9	77198.18
2:40:00	0.02	40.04	120	848.88	62731.6	27820.9	62731.6
2:45:00	0.02	34.79	150	848.88	53393.83	27820.9	53393.83
2:50:00	0.01	30.59	180	848.88	46787.7	27820.9	46787.7
2:55:00	0.01	27.17	210	848.88	41854.01	27820.9	41854.01
3:00:00	0.01	24.37	240	848.88	37979.53	27820.9	37979.53
3:05:00	0.01	22.04					
3:10:00	0.01	20.08					
3:15:00	0.01	18.42					
3:20:00	0.01	16.99					
3:25:00	0.01	15.77					
3:30:00	0.01	14.70					
3:35:00	0.01	13.76					
3:40:00	0.01	12.94					
3:45:00	0.01	12.21					
3:50:00	0.01	11.56					
3:55:00	0.01	10.98					
4:00:00	0.01	10.45					
				$\Sigma=6791.04$	$\Sigma=719873.53$		$\Sigma=692052.6$

Tabla 8: Resultado de volúmenes interceptados, infiltrados y no infiltrados de la cuenca.

Tabla 6: Infiltración y escorrentía de la cuenca (después de SUDS).

TC	I (TR 10)	Q lluvia	V lluvia	Q infiltrado
min	mm/h	m³/s	m³	m³/s
5	177	274.09	82228.15	0.47
10	133.85	207.27	62182.14	0.47
15	100.28	155.29	46586.66	0.47
20	81.71	126.53	37959.67	0.47
30	61.22	94.8	56881.44	0.47
40	49.88	77.24	46345.09	0.47
60	37.37	57.87	69443.3	0.47
90	28	43.36	78047.06	0.47
120	22.81	35.32	63580.48	0.47
150	19.46	30.13	54242.71	0.47
180	17.09	26.46	47636.58	0.47
210	15.31	23.72	42702.89	0.47
240	13.93	21.57	38828.41	0.47

$$\Sigma=726664.57$$

TC	V infiltrado	V no infiltrado	V almacenado	V rebose
min	m³	m³	m³	m³
5	141.48	82086.67	27820.9	54265.77
10	141.48	62040.66	27820.9	62040.66
15	141.48	46445.18	27820.9	46445.18